TUGAS AKHIR

EVALUASI PERKERASAN LENTUR MENGGUNAKAN METODE AUSTROADS 2017 DENGAN PROGRAM CIRCLY 6.0

(Studi Kasus: Jalan Milir – Sentolo, Yogyakarta)

(*EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT USING THE AUSTROADS 2017 METHOD WITH THE CIRCLY 6.0*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Dinie Fitria Ashari

15511212

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2023

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN LENTUR MENGGUNAKAN METODE AUSTROADS 2017 DAN ANALISIS KONDISI *BONDING* DENGAN PROGRAM *CIRCLY 6.0*

(Studi Kasus: Jalan Milir – Sentolo, Yogyakarta)

(EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT USING THE AUSTROADS 2017 METHOD WITH THE CIRCLY 6.0)

Disusun oleh:

Dinie Fitria Ashari
15511212

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memdapatkan derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 6 Januari 2023

Oleh dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Miftahul Fauziah, Ph.D.	**Prayogo Afang Prayitno, M.Sc.**	**Muhamad Abdul Hadi, M.T.**
NIK: 955110103	**NIK: 205111303**	**NIK: 21511307**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan dengan tegas bahwa laporan akhir yang saya buat sebagai prasyarat penyelesaian program sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Desain Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya saya sendiri. Untuk beberapa bagian laporan proyek yang saya kutip dari karya orang lain, sumbernya ditulis dengan jelas sesuai dengan standar, kaidah dan etika penulisan artikel ilmiah. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa laporan akhir ini atau sebagiannya bukan hasil karya saya sendiri atau sebagian mengandung plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik saya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Desember 2022

Pernyataan,



Dinie Fitria Ashari
(15511212)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul "Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Austroads 2017 Dengan Program Circly 6.0 ".Tugas akhir ini dikerjakan untuk memenuhi salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Desain, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapat banyak bantuan, saran, kritik dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Subarkah, M.T. selaku pembimbing proposal dan Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang sudah memberikan bimbingan, kritik dan saran selama penyusunan Tugas Akhir,
2. Selaku Penguji I Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc.
3. Selaku Penguji II Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
4. Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang sudah memberikan ilmu dan wawasan selama perkuliahan,
6. Orangtua penulis, Bapak Achmad Jauhari dan Ibu Asiwi Tejawati, beserta saudara penulis Rheina Meuthia Ashari yang sudah memberikan dukungan baik secara moril dan materil, serta do'a yang tiada henti kepada penulis,
7. Sahabat-sahabat tercinta penulis, Alya Fadhilla Afriyani, Halida Oktrina Kusumawati, Karunia Cita Desti, terimakasih atas semangat, waktu, nasihat, dan dukungan penuh kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,

8. Teman seperkuliahan Teknik Sipil 2015, Nabila Hanief Prasetyani dan Septiana Rachmawati, yang selalu membantu, mengingatkan, menasehati, menemani penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
9. Teman-teman daring penulis Biya, Ruth, Byoo, Anastasia, Nabila, Niken, dan teman-teman lainnya yang menemani dan memberikan semangat penulis.

Penulis berharap Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Yogyakarta, Desember 2022
Penulis,



Dinie Fitria Ashari
15511212

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR		iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		iii
KATA PENGANTAR		iv
DAFTAR ISI		vi
DAFTAR TABEL		viii
DAFTAR GAMBAR		x
DAFTAR LAMPIRAN		xi
ABSTRAK		xii
ABSTRACT		xiii
BAB I PENDAHULUAN		1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	2
1.3	Tujuan Penelitian	2
1.4	Manfaat Penelitian	2
1.5	Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA		4
2.1	Perancangan Tebal Perkerasan dengan Metode *AUSTROADS*	4
2.2	Analisis Kondisi *Interface* dengan Program CIRCLY	5
BAB III LANDASAN TEORI		11
3.1	Perkerasan Jalan	11
3.2	Isotropik dan Anisotropik	13
3.3	Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)	14
3.4	Perancangan Tebal Perkerasan dengan Metode *AUSTROADS*	14
3.5	Program *CIRCLY* 6.0	22
3.6	Daya Lekat (*Bonding*)	23
BAB IV METODE PENELITIAN		24
4.1	Objek dan Subjek Penelitian	24
4.2	Pengumpulan Data	24
4.3	Pengolahan dan Analisis Data	26

4.4 Diagram Alir Penelitian 28
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 30
5.1 Perhitungan Desain Perkerasan Metode *AUSTROADS* 30
5.2 Analisis Perkerasan dengan Program *CIRCLY 6.0* 33
5.3 Analisis Kondisi *Interface* Rough dan Smooth dengan Program *CIRCLY 6.0* 39
5.4 Analisis Pemodelan Modulus dengan Aspal Tipis 48
5.5 Pembahasan 50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 53
6.1 Kesimpulan 53
6.2 Saran 53
DAFTAR PUSTAKA 55
LAMPIRAN 57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* pada Perkerasan Lentur Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0 6

Tabel 2.1 Lanjutan Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* pada Perkerasan Lentur Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0 7

Tabel 2.1 Lanjutan Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* pada Perkerasan Lentur Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0 8

Tabel 2.1 Lanjutan Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* pada Perkerasan Lentur Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0 9

Tabel 2.1 Lanjutan Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* pada Perkerasan Lentur Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0 10

Tabel 3.1 Golongan Kelas Kendaraan Menurut Metode *AUSTROADS* 21

Tabel 3.2 Nilai *Lane Distribution Factor*

Tabel 3.3 Nilai *Annual Growth Rate* 23

Tabel 3.4 Beban Sumbu yang Mengakibatkan Kerusakan Sama dengan Ban Ganda 24

Tabel 3.5 Beban Sumbu yang Mengakibatkan Kerusakan Sama dengan Ban Tunggal 25

Tabel 3.6 Jumlah Perkiraan Kelompok Gandar Kendaraan Berat Per Kendaraan Berat 25

Tabel 4.1 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan 31

Tabel 4.2 Nilai *Poisson's Ratio* Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan 31

Tabel 4.3 Data Struktur Jalan Milir – Sentolo 33

Tabel 4.3 Lanjutan Data Struktur Jalan Milir – Sentolo 34

Tabel 5.1 Data Lalu Lintas Harian Jalan Milir – Sentolo 32

Tabel 5.2 Struktur Perkerasan Lentur dengan Kondisi *Interface* dan Nilai Modulus Elastis 41
Tabel 5.3 Respon *Displacement* Arah Vertikal Z = 0 mm 41
Tabel 5.3 Lanjutan Respon *Displacement* Arah Vertikal Z = 0 Mm 42
Tabel 5.4 Respon Respon *Displacement* Arah *Horizontal* Z = 200 mm 43
Tabel 5.4 Lanjutan Respon *Displacement* Arah *Horizontal* Z = 200 mm 44
Tabel 5.5 Respon 4 Respon Respon *Displacement* Arah *Horizontal* Z = 350 mm 45
Tabel 5.6 Respon Regangan Normal Arah Vertikal Z = 0 mm 50
Tabel 5.7 Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 200 mm 50
Tabel 5.8 Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 350 mm 50
Tabel 5.9 Rekapitulasi Respon Regangan 51
Tabel 5.9 Lanjutan Rekapitulasi Respon Regangan *Displacement* 52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Komponen Perkerasan Lentur 11

Gambar 3.2 *Design Chart For Granular Pavement With Bituminous Surfacing* 21

Gambar 3.3. Diagram Alir Program *CIRCLY* 21

Gambar 4.1 Peta Lokasi Jalan Milir – Sentolo 24

Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian 30

Gambar 5.1 *Design Chart For Granular Pavement With Bituminous Surfacing* 32

Gambar 5.2 Tampilan Awal Program *CIRLY* 6.0 33

Gambar 5.3 *Panel Job Details* 34

Gambar 5.4 *Panel Job Details* 34

Gambar 5.5 *Layers* 35

Gambar 5.6 Jenis Material *Asphalt* 36

Gambar 5.7 Jenis Material *Cemented* 36

Gambar 5.8 Jenis Material *Granular* 37

Gambar 5.9 Jenis Material *Subgrade* 37

Gambar 5.10 Nilai tebal lapis tiap lapisan 38

Gambar 5.11 Skema Tebal Perkerasan 39

Gambar 5.12 Nilai CDF (*Cumulative Distribution Function*) 39

Gambar 5.13 Respon *Displacement* Arah Vertikal = 0 43

Gambar 5.14 Respon *Displacement* Arah Horizontal = 200 46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Ruas Milir-Sentolo 60

Lampiran 2 Hasil Analisis *CIRCLY 6.0* 61

Lampiran 3 Hasil Analisis *CIRCLY 6.0* dengan Beban *Traffic* 65

ABSTRAK

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta agregat sebagai lapisan bawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut memiliki kelenturan yang memberikan kenyaman berkendara. Pada perkerasan lentur memilki beberapa lapisan yang berbeda-beda. Pertama, campuran aspal beton adalah salah satu lapisan permukaan pada konstruksi perkerasan lentur jalan raya. Lapisan ini merupakan lapis aus *AC-WC* (*Asphalt Concrete - Wearing Course)* yang mengalami kontak langsung dengan beban lalu lintas. Selain itu juga *AC-WC* mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Lalu ada *AC-BC* (*Asphalt Concrete – Binder Course*), merupakan lapisan yang terletak di bawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*).

Pada penelitian ini, metode *AUSTROADS* digunakan untuk menentukan ketebalan perkerasan. Ketebalan ini nantinya akan digunakan dalam *CIRCLY 6.0* untuk menentukan pengaruh penggunaan aspal tipis pada permukaan jalan untuk memodelkan antarmuka sebagian kasar. Kondisi halus dan kasar dengan modulus elastisitas 2200 MPa, setelah itu lapisan tipis aspal dimodelkan dengan modulus elastisitas 2 MPa, 5 MPa, 100 MPa dan 1600 MPa. Asumsi yang digunakan sejauh ini untuk antarmuka (AC-WC) dan (AC-BC) benar-benar kasar. Namun dalam praktiknya, kondisi keras yang sempurna tidak tercapai karena situasi dan kondisi di lapangan.

Hasil dari penelitian ini didapatkan perhitungan tebal perkerasan yaitu lapis aspal dengan ketebalan 60 mm dan 115 mm, material semen sebesar 200 mm, dan material granular dengan sebesar 150 mm. Pada hasil analisis respon regangan dan tegangan menggunakan program *CIRCLY* 6.0 menunjukkan bahwa pada arah vertikal Z = 0 mm dan arah horizontal = 200 mm nilai maksimumnya berada di poros antar ban. Sedangkan pada arah horizontal = 350 mm nilai maksimumnya berada di luar tepi ban. Pada pemodelan aspal tipis, arah vertikal Z = 0 mm, semakin kecil nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati kasar rentangnya kecil. Pada arah horizontal pada jarak Z = 200 mm dan Z = 350 mm, penggunaan nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati kasar rentangnya besar.

Kata kunci: *Interface*, Modulus elastisitas, program *CIRCLY* 6.0, *AUSTROADS*

ABSTRACT

Flexible pavement is a pavement that uses asphalt mixture as the surface layer and aggregate as the bottom layer. So that the pavement layer has flexibility that provides driving comfort. The flexible pavement has several different layers. First, asphalt-concrete mixture is one of the surface layers in flexible pavement construction. This layer is an AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course) wear layer which is in direct contact with traffic loads. In addition, AC-WC has the smoothest texture compared to other types of Laston. Then there is AC-BC (Asphalt Concrete – Binder Course), which is a layer that is located below the wear layer (wearing course) and above the foundation layer (base course).

In this study, the AUSTROADS method was used to determine pavement thickness. This thickness will later be used in CIRCLY 6.0 to determine the effect of using thin asphalt on the road surface to model a partially rough interface. Smooth and rough conditions with a modulus of elasticity of 2200 MPa, after that the asphalt thin layer is modeled with elastic modulus of 2 MPa, 5 MPa, 100 MPa and 1600 MPa. The assumptions used so far for the (AC-WC) and (AC-BC) interfaces are really crude. However, in practice, perfect hard conditions are not achieved due to the situation and conditions on the ground.

The results of this study obtained pavement thickness calculations, namely asphalt layers with a thickness of 60 mm and 115 mm, cement material of 200 mm, and granular material of 150 mm. The results of the analysis of the strain and stress response using the CIRCLY 6.0 program show that in the vertical direction Z = 0 mm and the horizontal direction = 200 mm the maximum value is in the axle between the tires. Whereas in the horizontal direction = 350 mm the maximum value is outside the edge of the tire. In modeling thin asphalt, the vertical direction Z = 0 mm, the smaller the value of the elastic modulus the greater (1600 MPa) has interface conditions that are close to rough and the range is small. In the horizontal direction at a distance of Z = 200 mm and Z = 350 mm, the use of a larger elastic modulus value (1600 MPa) has an interface condition that is close to coarse with a large range.

***Keywords**: Interface, modulus of elasticity, program CIRCLY 6.0, AUSTROADS*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aktivitas manusia yaitu mobilisasi dari satu tempat ke tempat lain untuk memenuhi tujuan dan kebutuhan hidup baik berupa jasa maupun barang. Untuk itu, dibutuhkan akses yang memadai untuk menunjang aktivitas tersebut yaitu dengan adanya sarana dan prasarana transportasi.

Berdasarkan bahan pengikat, perkerasan dibedakan menjadi 3 yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Untuk pekerasan lentur digunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Kondisi perkerasan jalan sangat penting untuk diperhatikan untuk menilai tingkat pelayan satu ruas jalan, baik dari kondisi struktural maupun fungsional. Untuk mengetahui kondisi struktural dapat melihat dari kekuatan strukturalnya. Ada 2 macam kerusakan pada struktural jalan, yaitu *fatigue cracking* dan *permanent deformation.* Beberapa hal yang menyebabkan kerusakan tersebut yaitu diantaranya telah melewati batas kritis regangan vertikal dan regangan *horizontal* pada struktur perkerasan. Untuk itu jika akan dilakukan *overlay*, diperlukan nilai tegangan atau regangan respons perkerasan struktur perkerasan analitis untuk mengetahui tebal lapis yang harus ditambahkan.

Pada perkerasan lentur terdapat beberapa lapisan yang menunjang daya dukung perkerasan agar mampu menahan beban lalu lintas. Asumsi lain penyebab kerusakan struktural pada perkerasan selain di atas yaitu dikarenakan *interface* antar lapisan (*layer*) dianggap dalam kondisi *full bonding* kasar sempurna. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses pemodelan ataupun analisis respons struktur perkerasan. Akan tetapi pada kenyataannya di lapangan kondisi tersebut tidak dapat dicapai lantaran pengaruh suhu dan kondisi di lapangan seperti banyaknya debu, pasir ada adanya genangan air. Nyatanya kondisi yang terjadi di lapangan yaitu kasar parsial.

Maka dari itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kondisi *bonding* pada *interface* antar lapisan perkerasan. hal ini dapat dilakukan dengan memodelkan kondisi *interface* ke dalam 2 jenis yaitu: kasar (*rough*) dan halus (*smooth*). Nantinya setelah dilakukan pemodelan dengan variasa tersebut, dapat diketahui bagaimana respon tegangan, lendutan, dan regangan lapisan pada kondisi *interface rough* dan *smooth* dengan menggunakan *software*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat diuraikan adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil tebal perkerasan jika dihitung dengan Metode *AUSTROADS* 2017
2. Bagaimana respon lendutan dan regangan lapisan pada kondisi *interface rough* dan *smooth* dengan menggunakan software *CIRCLY 6.0*
3. Bagaimana respon lendutan dan regangan untuk kasar sebagian jika dimodelkan dengan lapisan aspal tipis.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari persamaanan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan masalah dapat di uraikan sebagai berikut.

1. Menghitung tebal lapis perkerasan yang dihitung menggunakan Metode *AUSTROADS* 2017
2. Mengevaluasi respon lendutan dan regangan antara kondisi *rough* dan *smooth.*
3. Mengevaluasi respon lendutan dan regangan untuk kasar sebagian jika dimodelkan dengan lapisan aspal tipis.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat adanya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui bagaimana tata cara penggunaan program *CIRCLY 6.0* untuk evaluasi perkerasan lentur.

2. Mengetahui tebal lapis perkerasan yang dihitung menggunakan Metode *AUSTROADS.*
3. Mengetahui perbedaan respon lendutan dan regangan antara kondisi *rough* dan *smooth*.
4. Mengetahui respon lendutan dan regangan untuk kasar sebagian jika dimodelkan dengan lapisan aspal tipis.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah ini dimaksudkan agar peneliti tidak menyimpang dari tujuan awal penelitian. Berikut adalah batasan masalah dalam penelitian ini.

1. Objek penelitian adalah ruas Jalan Milir – Sentolo ruas 004 (km 16+147 sampai dengan km 23+980) Yogyakarta.
2. Perhitungan tebal lapis perkerasan menggunakan metode *AUSTROADS* 2017.
3. Perhitungan respon tegangan regangan pada objek penelitian tersebut menggunakan program *CIRCLY 6.0*.
4. Perhitungan respon tegangan regangan yang dimodelkan dengan aspal tipis menggunakan asumsi modulus elastisitas dengan rentang 2 MPa – 2200 MPa.
5. Jarak *displacement* arah *horizontal* yang digunakan adalah 200 mm dan 350 mm.
6. Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data yang di dapat dari Kantor Balai Besar.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan Tebal Perkerasan dengan Metode *AUSTROADS*

Simanjuntak dan Prasetyanto (2014) mempelajari metode *AUSTROADS* untuk menentukan tebal lapis perkerasan lentur dan parameter yang digunakan untuk merancang tebal lapis perkerasan lentur. Data yang digunakan adalah data lalu lintas, data tanah, geometri jalan, umur bangunan dan tegangan vertikal. Parameter yang digunakan adalah daya dukung *subbase*, temperatur, faktor lalu lintas dan jenis material. Hasil dimensi tebal lapisan perkerasan jalan menurut metode *AUSTROADS* 1992 menghasilkan lapisan beton aspal setebal 11 cm, lapisan dasar dengan material granular, yang dibagi menjadi tiga lapisan masing-masing 12 cm, 12 cm dan 11 cm dengan modulus vertikal secara berurutan yaitu 63,572 MPa, 112,550 MPa, dan 190 MPa dan angka *possion's ratio* 0,35.

Menurut Ramadhan (2017) dalam penelitiannya tentang evaluasi perancangan tebal perkerasan jalan yang juga menggunakan metode Analisis Komponen dan metode *AUSTROADS* didukung dengan program KENPAVE pada Jalan Palbapang - Simpang Kweden STA 0+000 – STA 2+650 dan Jalan Bakulan – Barongan STA 0+000 – STA 3+198 yang bertujuan untuk memperoleh tebal perkerasan jalan dan mengevaluasi kedua hasil metode perancangan tersebut dengan program KENPAVE. Hasil dari penelitian tersebut yaitu ketebalan lapis perkerasan metode Analisa Komponen sebesar 5 cm; 10 cm; 15 cm. Sedangkan metode AUSTROADS sebesar 18 cm; 10 cm; 40 cm MPa. Perhitungan menggunakan program KENPAVE menunjukkan tebal perkerasan metode Analisa Komponen tidak mampu menahan beban rencana lalu-lintas sebesar 640000, sedangkan tebal perkerasan metode AUSTROADS mampu menahan beban rencana tersebut.

Rahmawati dkk. (2020) dalam studinya tentang evaluasi tebal perkerasan lentur akibat beban lebih, yang bertujuan untuk membandingkan desain tebal perkerasan dengan beban standar dan pengaruh kelebihan muatan kendaraan dengan studi kasus Jembatan Timbang Salam. Metode yang digunakan adalah *AUSTROADS* 2004. Hasil penelitian menunjukkan ketebalan lapisan perkerasan adalah 17,5 cm; 10 sentimeter; 25 cm. Saat dibebani dengan bahan yang sama, ketebalan penutupnya adalah 22,5 cm; 10 sentimeter; 20 cm. Kemacetan yang digunakan dalam perhitungan meliputi pelanggaran kelas II (5-15%) dan Level III (>25%).

2.2 Analisis Kondisi *Interface* dengan Program CIRCLY

Menggunakan metode *AUSTROADS* 2011, Linda dan Eri (2016) membandingkan hasil pengaruh variasi kondisi ikatan terhadap ketebalan lapisan tambah dengan studi kasus Jalan Jatibarang dan Jalan Palimanan. Hasil pengujian diperoleh pada kondisi lekat penuh – rata-rata ketebalan perkerasan maksimum dengan asumsi 3 lapis ± 10 mm, celah ± 10 mm, tanpa ikatan ± 20 - 50 mm, sedangkan asumsi 4 lapis dengan lekat penuh ± 10 - 20 mm, celah ± 20 mm dan tidak ada sambungan ± 50 mm.

Sofia dkk. (2012) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan respon *bonding* dan tegangan antara kondisi *interface* kasar dan halus. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu respon perpindahan dan tegangan pada arah horizontal menunjukkan bahwa semakin rendah nilai modulus elastisias (2 MPa) maka semakin kecil luasan pada arah tegangan seragam. Dan dalam kasus tegangan vertikal, semakin kecil modulus elastisitas, semakin besar celah pada arah tegangan yang berlawanan. Selain itu, perpindahan dan tegangan normal pada kondisi antarmuka kasar memiliki rentang nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi halus. Dalam analisis dengan *CIRCLY 6.0*, kemudian ditemukan bahwa penggunaan aspal tipis dengan modulus elastisitas antara 2 MPa hingga 1600 MPa terkadang memiliki kondisi permukaan batas yang kasar.

Tabel 2.1 Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* Pada Perkerasan Lentur Menggunak Program *CIRCLY* 6.0

Peneliti	Eri (2006)	Shofia, dkk (2012)	Simanjuntak dan Prasetyanto (2014)	Linda dan Eri (2016)	Ramadhan (2017)	Rahmawati, dkk (2020)
Judul Penelitian	Rentang Modulus Dari *Thin Layer* yang Menunjukkan Kondisi *Bonding* Antar Lapisan Beraspal	Analisis Kondisi *Interface* Antara Wearing Course Dan Binder Course Dengan Menggunakan Program Circly 5.0	Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Austroads 1992	Analisis Pengaruh Kondisi *Bonding* Pada Perencenaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Perkerasan Lentur Menggunakan Metode *AUSTROADS* (Studi Kasus: Ruas Jalan Jatibarang – Palimanan)	Evaluasi Perancangan Tebal Perkerasan Jalan Dengan Metode Analisa Komponen Dan Metode Austroads Menggunakan Program Kenpave	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Dengan Metode *AUSTROADS* Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0

Sumber: Eri (2006), Shofia, dkk (2012), Linda dan Eri (2016), Rahmawati, dkk (2020), Ramadhan (2017), Simanjuntak dan Prasetyanto (2014).

Tabel 2.2 Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* Pada Perkerasan Lentur Menggunak Program *CIRCLY* 6.0

Peneliti	Eri (2006)	Shofia, dkk (2012)	Simanjuntak dan Prasetyanto (2014)	Linda dan Eri (2016)	Ramadhan (2017)	Rahmawati, dkk (2020)
Lokasi Penelitian	-	-	-	Ruas Jalan Jatibarang – Palimanan	Studi Kasus Jalan Palbapang - Simpang Kweden STA 0+000 – STA 2+650 Dan Jalan Bakulan – Barongan STA 0+000 – STA 3+198)	Jembatan Timbang Salam
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui rentang modulus modulus kekakuan (*stiffness modulus*) sesuai dengan	Untuk mengetahui respon lendutan dan regangan antara kondisi kasar (*rough*) dan halus	Untuk mempelajari metode perencanaan tebal perkerasan lentur.	Untuk memperoleh tebal lapis tambah (*overlay*). Lalu membandingkan tebal perkerasan pada pemodelan 3 lapis dan 4 lapis pada tiap variasi kondisi *bonding*, serta	Untuk memperoleh tebal perkerasan jalan. Lalu mengevaluasi kedua hasil metode perancangan tersebut dengan program KENPAVE.	Untuk membandingkan desain tebal perkerasan menggunakan beban standar dan akibat beban berlebih kendaraan.

Sumber: Eri (2006), Shofia, dkk (2012), Linda dan Eri (2016), Rahmawati, dkk (2020), Ramadhan (2017), Simanjuntak dan Prasetyanto (2014).

Tabel 2.3 Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* Pada Perkerasan Lentur Menggunak Program *CIRCLY* 6.0

Peneliti	Eri (2006)	Shofia, dkk (2012)	Simanjuntak dan Prasetyanto (2014)	Linda dan Eri (2016)	Ramadhan (2017)	Rahmawati, dkk (2020)
	kondisi daya lekatnya (bonding).	(*smooth*) serta untuk kasar sebagian jika dimodelkan dengan lapisan aspal tipis.		mengetahui pengaruh dari tiap variasi.		Untuk membandingkan desain tebal perkerasan menggunakan beban standar dan akibat beban berlebih kendaraan
Metode Penelitian	Dengan pendekatan analitis dibantu dengan program SAP2000.	Dengan memodelkan nilai modulus elastisitas pada aspal tipis struktur perkerasan lentur dengan menginput	Metode *AUSTROADS* 1992.	Dengan pemodelan 3 lapis dan 4 lapis pada tiap variasi kondisi *bonding*.	Metode Analisa Komponen dan metode *AUSTROADS*	Metode *AUSTROADS* 2004.

Sumber: Eri (2006), Shofia, dkk (2012), Linda dan Eri (2016), Rahmawati, dkk (2020), Ramadhan (2017), Simanjuntak dan Prasetyanto (2014).

Tabel 2.4 Lanjutan Tabel 2.3 Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* Pada Perkerasan Lentur Menggunak Program *CIRCLY* 6.0

Peneliti	Eri (2006)	Shofia, dkk (2012)	Simanjuntak dan Prasetyanto (2014)	Linda dan Eri (2016)	Ramadhan (2017)	Rahmawati, dkk (2020)
		data masukan ke dalam program CIRCLY.				
Hasil Penelitian	Nilai modulus *thin layer* yang menunjukkan kondisi bonding dari *interface* tersebut yaitu sebesar 1.6 MPa untuk kondisi *bonding* lemah	Hasil analisa didapat bahwa nilai modulus elastisitas lapisan aspal tipis sebesar 5 MPa menunjukkan kondisi *interface*	Lapis permukaan menggunakan beton aspal dengan modulus 2000MPa, VB 15%, angka *posion's rasio* 0,4, dan tebal 11 cm 2. Lapis pondasi menggunakan	Hasil analisis tebal lapis tambah (*overlay*) dengan mempertimbangkan kondisi *bonding* dapat disimpulkan bahwa perencanaan *overlay* yang mempertimbangkan kondisi *bonding* (tidak full *bonding*) menghasilkan tebal	Hasil ketebalan lapis perkerasan metode Analisa Komponen masing-masing sebesar 5 cm; 10 cm; 15 cm. Sedangkan metode Austroads sebesar 18 cm; 10 cm; 40 cm. MPa. Hasil	Hasil penelitian didapatkan tebal lapis perkerasan 17,5 cm; 10 cm; 25 cm. Sedangkan untuk beban berlebih dengan material yang sama, tebal perkerasan terdiri dari 22,5 cm; 10 cm; 20 cm.

Sumber: Eri (2006), Shofia, dkk (2012), Linda dan Eri (2016), Rahmawati, dkk (2020), Ramadhan (2017), Simanjuntak dan Prasetyanto (2014).

Tabel 2.5 Lanjutan Tabel 2.4 Penelitian Tentang Analisis Kondisi *Interface* Pada Perkerasan Lentur Menggunak Program *CIRCLY* 6.0

Peneliti	Eri (2006)	Shofia, dkk (2012)	Simanjuntak dan Prasetyanto (2014)	Linda dan Eri (2016)	Ramadhan (2017)	Rahmawati, dkk (2020)
Hasil Penelitian	(*smooth*) dan 50 MPa untuk kondisi daya lekat (*bonding*) yang kuat (*rough*). Nilai modulus thin layer antara 1.6 MPa dan 50 MPa meruapakan kondisi *intermediate*.	menjadi kasar sebagian.	bahan butiran yang dibagi 3 lapisan setebal 12 cm, 12 cm, dan 11 cm.	*overlay* yang lebih tebal dibandingkan dengan kondisi *full bonding*.	perhitungan menggunakan program KENPAVE menunjukkan tebal perkerasan metode Analisa Komponen tidak mampu menahan beban rencana lalu-lintas sebesar 640000, sedangkan tebal perkerasan metode Austroads mampu menahan beban rencana tersebut.	

Sumber: Eri (2006), Shofia, dkk (2012), Linda dan Eri (2016), Rahmawati, dkk (2020), Ramadhan (2017), Simanjuntak dan Prasetyanto (2014).

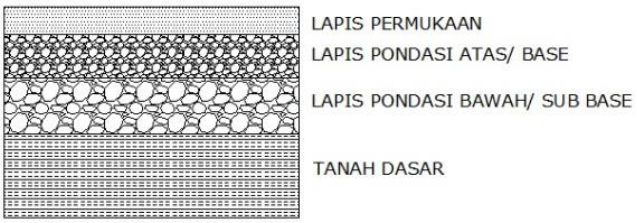
BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan yaitu lapisan yang berfungsi memberikan kenyamanan kepada pengguna transportasi. Lapisan ini terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Untuk mendapatkan kualitas atau mutu perkerasan yang sesuai yang direncanakan, maka diperlukan pengetahuan mengenai bagaimana sifat dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan tersebut (Sukirman, 2003).

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan jalan membawa dan mendistribusikan beban lalu lintas ke bawah tanah yang dipadatkan (Tenriajeng, 2002). Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987) yang dimaksud dengan perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir lapisan di bawah.

Komponen perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Komponen Perkerasan Lentur

Sumber: Bina Marga (2018)

Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing komponen perkerasan lentur.

1. Lapisan permukaan *(surface coarse)*

   Lapisan permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas.

Berikut merupakan fungsi dari lapisan permukaan.

a. Lapis perkerasan beban penahan beban roda, mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan roda kendaraan
b. Lapisan kedap air yang menahan air hujan yang jatuh agar tidak meresap dan merusak lapisan di bawahnya
c. Lapis aus (*wearing* course) yang langsung mengalami gesekan akibat roda kendaraan saat mengerem
d. Lapis-lapis yang menyebarkan beban roda kendaraan agar merata sampai ke lapis pondasi

Lapis permukaan berdasarkan fungsinya:

a. Lapis non struktural: lapis aus dan kedap air.
b. Lapis struktural: lapis yang menahan dan menyebarkan beban roda.

2. Lapis pondasi atas *(base course)*

Lapisan dasar adalah bagian perkerasan yang berada lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah atau dengan lapisan dasar jika tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis pondasi atas adalah sebagai berikut.

a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lateral dari beban roda dan beban didistribusikan ke lapisan di bawahnya,
b. Lapisan peresap untuk lapisan pondasi bawah, dan
c. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Material yang biasa digunakan untuk lapisan pondasi atas adalah material yang cukup kuat dana awet. Bahan-bahan alam yang sering digunakan yaitu seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilisasi tanah dengan semen dan kapur.

3. Lapis pondasi bawah *(sup-base coarse)*

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dengan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah adalah sebagai berikut.

a. Menyebarkan beban roda ke tanah dasar dan lapisan ini harus stabil

b. Efisiensi penggunaan material. Materi pondasi bawah lebih murah dan lapis di atasnya dapat dikurangi tebalnya
c. Lapis peresap agar air tanah tidak berkumpul di pondasi
d. Lapis pertama yaitu untuk memudahkan pekerjaan agar berjalan dengan lancar
e. Lapisan filter yaitu untuk mencegah partikel halus dari tanah dasar yang naik ke lapisan pondasi atas

4. Tanah dasar *(subgrade)*

Lapisan tanah dasar merupakan tanah asli. Permukaan tanah ini berupa tanah galian atau tanah timbunan yang sudah dipadatkan yang berguna sebagai perletakan lapisan perkerasan guna mendukung lapisan konstruksi jalan di atasnya. Kekuatan dan keawetan konstruksi jalan nantinya akan sangat bergantung pada daya dukung (CBR) dan kepadatan tanah dasarnya. Persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut.

a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas
b. Daya dukung tanah yang tidak merata, sulit ditentukan karena ada berbagai macam tanah berdasarkan sifatnya atau bisa jadi akibat kesalahan pada pelaksanaan
c. Lendutan atau lendutan balik
d. Sifat kembang susut dari tanah akibat perubahan kadar air

3.2 Isotropik dan Anisotropik

Keadaan material pada dasarnya dibagi menjadi dua kelompok, yaitu isotropik dan anisotropik. Guitom dan Henry (2002) pertama kali berpendapat bahwa material isotropik adalah sifat material yang memiliki sifat elastis yang sama pada kedua arah, vertikal dan horizontal, misalnya aspal dan semen. Kedua material anisotropik tersebut merupakan sifat material yang memiliki sifat elastis yang sama pada arah tegak lurus sumbu simetri, namun berbeda sifat pada arah sejajar sumbu simetri, seperti subsoil dan agregat granular.

3.3 Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Tebal lapis tambah atau disebut dengan *overlay* adalah lapisan tambahan yang diletakkan di atas konstruksi perkerasan yang sudah ada sebelumnya guna meningkatkan kekuatan atau daya dukung perkerasan yang sudah tidak mampu menahan beban lalu lintas. Lapisan ini dibutuhkan untuk mengurangi lendutan selama masa pelayanan.

Sebelum dilakukan *overlay* pada suatu jalan, petlu diadakan survei kelayakan strutkural dan kondisi permukaan pada konstruksi perkerasannya. Konstruksi jalan yang masa pelayanannya telah habis, berarti telah mencapai indeks permukaan akhir yang perlu diberikan tambahan lapisan yang berguna untuk mengembalikan nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, kekedapan air, dan tingkat kecepatan untuk mengalirkan air (Sukirman, 2003).

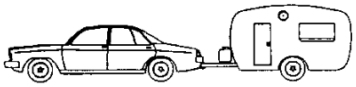
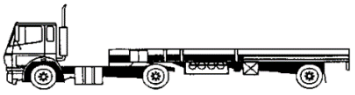
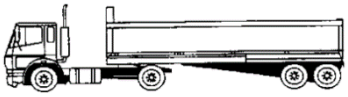
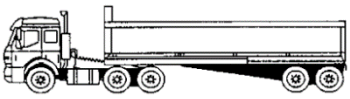
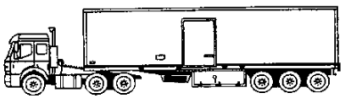
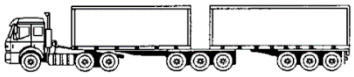
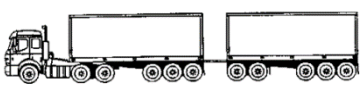
3.4 Perancangan Tebal Perkerasan dengan Metode *AUSTROADS*

Metode ini merupakan metode yang berasal dari Australia yang membahas tentang perancangan tebal perkerasan dan *overlay*. Diproduksi tahun 1987 sebagai hasil dari tinjauan dari "panduan sementara untuk desain ketebalan perkerasan" dari NAASRA (*National Association of Australian State Road Authorities*). Pada penelitian ini akan digunakan metode *AUSTROADS* 2017. Dalam metode ini ada beberapa parameter yang ditinjau adalah sebagai berikut.

1. *Design Traffic*

Perkerasan jalan harus memiliki geometri jalan yang sesuai dengan perencanaan agar kendaraan yang akan menggunakannya nanti merasa aman dan nyaman. Selain itu, lebar jalan perlu diperhatikan agar dapat menampung volume kendaraan yang sesuai dengan rencana awal. Perkerasan jalan juga harus cukup kuat untuk memikul beban lalu lintas dari beberapa jenis kendaraan seperti sepeda motor hingga kendaraan yang memiliki roda *triple*. Berikut ini merupakan penggolongan kendaraan menurut metode *AUSTROADS* yaitu dijelaskan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Golongan Kelas Kendaraan menurut Metode *AUSTROADS*

Kelas Kendaraan	Gambar	Nama Kelas
Kelas 1		*Short Vehicle*
Kelas 2		*Short Vehicle Towing*
Kelas 3		*Two Axle Truck*
Kelas 4		*Three Axle Truck*
Kelas 5		*Four Axle Truck*
Kelas 6		*Three Axle Articulated Vehicle*
Kelas 7		*Four Axle Articulated Vehicle*
Kelas 8		*Five Axle Articulated Vehicle*
Kelas 9		*Six Axle Articulated Vehicle*
Kelas 10		*B Double*
Kelas 11		*Double Road Train*
Kelas 12		*Triple Road Train*

Sumber: *AUSTROADS* (2017)

Selain itu juga ada beberapa komponen yang dibutuhkan untuk mendesain, yaitu:

a. Periode Desain: rentang waktu yang dipilih dan dipertimbangkan dengan tepat agar jalan nantinya dapat berfungsi dengan baik tanpa adanya rekonstruksi. Untuk perkerasan lentur, periode desainnya 20 - 40 tahun.

b. Nilai harian rata-rata ESA (Ni). Nilai ini nantinya akan digunakan untuk perhitungan ESA. Persamaan untuk perhitungan (Ni) dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 3.1.

$$N_i = AADT \times DF \times \%HV/100 \times LDF \quad (3.1)$$

dengan

Ni = awal kendaraan berat harian yang melintas,

AADT = *Annual Average Daily Traffic*,

DF = faktor arah, proporsi,

%HV = persen kendaraan berat, dan

LDF = faktor distribusi jalur.

Nilai LDF (*Lane Distribution Factor*) di dapatkan dari Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 *Lane Distribution Factor* (LDF)

Location	***Lanes each direction***	***Lane Distribution Factor (LDF)***		
		Left lane	***Centre lane***	***Right lane***
Rural	2 *lane*	1,00	N/A	0,50
	3 *lane*	0,95	0,65	0,30
Urban	2 *lane*	1,00	N/A	0,50
	3 *lane*	0,65	0,65	0,50

Sumber: AUSTROADS (2017)

c. Pertumbuhan Lalu-Lintas

Perhitungan pertumbuhan lalu lintas sepanjang periode desain dibutuhkan jumlah lalu-lintas total yang dapat ditentukan dengan mengalikan total *traffic* pada tahun pertama dengan faktor pertumbuhan yang telah

ditentukan *AUSTROADS*. Untuk mendapatkan nilai *Cumulative Growth Factor* (CGF) dapat menggunakan Persamaan 3.2. Berikut pula Tabel 3.7 faktor pertumbuhan *AUSTROADS*.

$$CGF = \frac{(1+0.01R)^P - 1}{0.01R} \text{ for } R > 0$$
$$= P \text{ for } R = 0 \quad (3.2)$$

dengan

CGF = faktor pertumbuhan kumulatif,

R = angka pertumbuhan tahunan (%), dan

P = periode desain (tahun).

Tabel 3.8 Nilai *Annual Growth Rate*

***Design period* (P) (*years*)**	***Annual Growth Rate* (R) (%)**							
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**6**	**9**	**10**
5	5	5.1	5.1	5.3	5.4	5.6	5.9	6.1
10	10	10.5	10.9	11.5	12.0	13.2	14.5	15.9
15	15	16.1	17.3	18.6	20.0	23.3	27.2	31.8
20	20	22.0	24.3	26.9	29.8	36.8	45.8	57.3
25	25	28.2	32.0	36.5	41.6	54.9	73.1	98.3
30	30	34.8	40.6	47.6	56.1	79.1	113.3	164.5
35	35	41..7	50.0	60.5	73.7	111.4	172.3	271.0
40	40	48.9	60.4	75.4	95.0	154.8	259.1	442.6

Sumber: *AUSTROADS* (2017)

d. Nilai Kumulatif Kendaraan Berat (*Equivalent Standard Axles* / ESA)

Untuk perhitungan ESA dengan menggunakan persamaan berikut.

$$N_{HV} = 365 \times CGF \times N_i \quad (3.3)$$

dengan

N_{HV} = ESA,

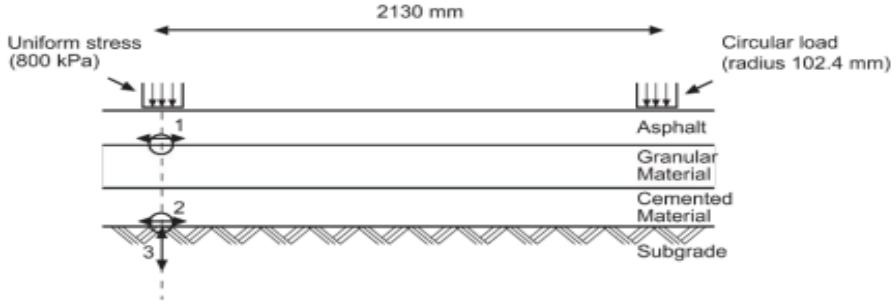
CGF = faktor pertumbuhan kumulatif, dan

N_i = awal kendaraan berat harian yang melintas.

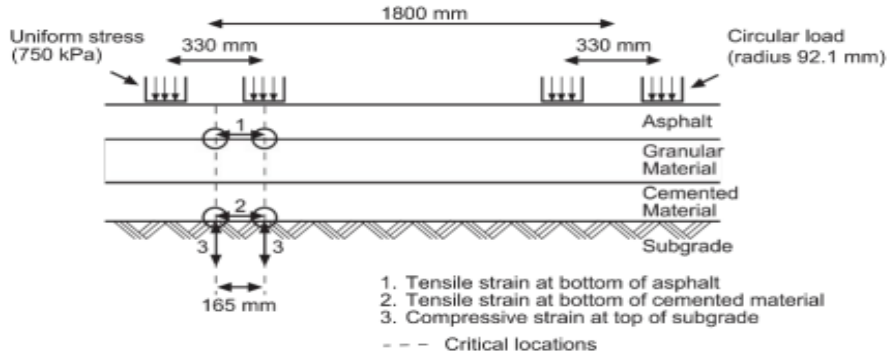
e. Pembebanan

Gaya yang bekerja pada permukaan jalan dapat dibagi menjadi dua jenis utama. Tipe pertama adalah gaya akibat beban roda (gaya vertikal), sedangkan tipe kedua adalah gaya akibat gaya pengereman (gaya horizontal) (Mincad System Pty, Ltd, 2004). Dengan ban bertekanan rendah, tekanan kontak di tengah lebih rendah daripada di tepi tambalan kontak. Di sisi lainnya pada beban tekan yang tinggi, tekanan kontak di tengah lebih tinggi daripada di tepi area kontak. Beban pada konfigurasi sumbu menyebabkan kerusakan yang sama dengan poros standar ditunjukkan pada Tabel 3.9 dan 3.10. Kemudian pada Gambar 3.1 di bawah ini merupakan uraian tentang titik tegangan kritis pada model jalan ideal dan situasi beban ideal.

Axle with Single Tire



Axle with Dual Tires



Gambar 3.1 Lokasi Kritis Regangan Dalam Model Perkerasan dan Situasi Pembebanan Yang Ideal

Sumber: AUSTROADS (2017)

Tabel 3.9 Beban Sumbu yang Mengakibatkan Kerusakan Sama dengan Ban Ganda

***Axle group type Load* (kN)**	***Axle group type Load* (kN)**
Single axle with dual tyres (SADT)	80
Tandem axle with dual tyres (TADT)	135
Triaxle with dual tyres (TRDT)	182
Quad-axle with dual tyres (QADT)	262

Sumber: *AUSTROADS* (2017)

Tabel 3.10 Beban Sumbu yang Mengakibatkan Kerusakan Sama dengan Ban Tunggal

***Axle group type Load* (kN)**	***Nominal tyre section width***	***Load* (kN)**
Single axle with dual tyres (SADT)	*Less than* 375 mm	53
	At least 375 mm *but less than* 450 mm	58
	450 mm *or more*	71
Tandem axle with dual tyres (TADT)	*Less than* 375 mm	89
	At least 375 mm *but less than* 450 mm	98
	450 mm *or more*	119
Triaxle with dual tyres (TRDT)	*Less than* 375 mm	121
	At least 375 mm *but less than* 450 mm	132
	450 mm *or more*	162
Quad-axle with dual tyres (QADT)	*Less than* 375 mm	150
	At least 375 mm *but less than* 450 mm	164
	450 mm *or more*	201

Sumber: *AUSTROADS* (2017)

f. Radius kontak ban

Kondisi pembebanan yang diambil yaitu dengan asumsi pembebanan arah vertikal. Radius kontak ban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$a = \sqrt{\frac{p}{P \; x \; \pi}} \qquad (3.4)$$

α= radius kontak ban,

p = total beban, dan

ρ = tekanan ban.

g. *Cumulative Heavy Vehicle Axle Group* (N_{DT})

Merupakan grup gandar kendaraan berat kumulatif di jalur desain selama periode desain. Untuk perhitungan N_{DT} dengan menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$N_{DT} = N_{HV} \times N_{HVAG} \quad (3.5)$$

dengan

N_{DT} = grup gandar kendaraan berat kumulatif,

N_{HV} = persen kendaraan berat, dan

N_{HVAG} = jumlah rata-rata kelompok gandar per kendaraan berat.

Nilai N_{HVAG} didapatkan dari Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Jumlah Perkiraan Kelompok Gandar Kendaraan Berat Per Kendaraan Berat

Location	**N_{HVAG}**
Rural	2,8
Urban	2,5

Sumber: *AUSTROADS* (2017)

h. *Design Equivalent Standard Axles* (DESA)

Nilai DESA didapatkan dari perhitungan dengan Persamaan 3.6 di bawah ini.

$$DESA = ESA/HVAG \times N_{DT} \quad (3.6)$$

dengan

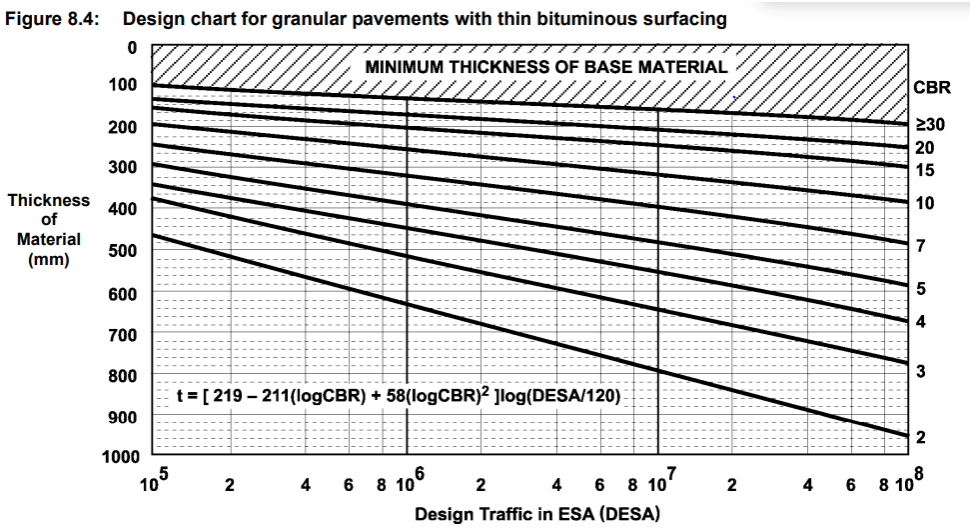
DESA = faktor arah, proporsi,

ESA = persen kendaraan berat,

H_{VAG} = kelompok kendaraan berat, dan

N_{DT} = kumulatif kelompok gandar kendaraan berat.

Setelah didapatkan nilai dari perhitungan di atas, selanjutnya adalah menetukan tebal menggunakan grafik *design chart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 *Design Chart For Granular Pavement With Bituminous Surfacing*

Sumber: *AUSTROADS* (2017)

2. Prosedur Mekanis Desain Grafis untuk Perancangan Desain Perkerasan Baru

3. Periode Desain

Misalnya, urutan lalu lintas dinyatakan sebagai jumlah sumbu standar setara (ESA).

4. Distribusi Beban Lalu-Lintas

5. Karakteristik Material

Aspal dengan nilai modulus 3000 MPa digunakan pada lapis permukaan aspal di semua kategori grafis yang ada pada perencanaan.

6. Ringkasan Parameter Input

Grafis dikembangkan menggunakan proses mekanis. Sebelum menggunakan grafis, desainer harus memastikan bahwa mereka memiliki perkiraan rencana desain yang akan digunakan.

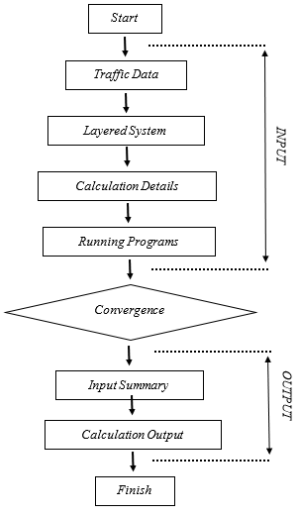
3.5 Program *CIRCLY* 6.0

Program program *CIRCLY* 6.0. Didirikan pada 1990-an dan dikembangkan oleh *Melbourne Company Mincad System Pty.Ltd*. Pada versi terbaru ini, ketebalan aspal dapat dikurangi secara signifikan pada perkerasan dengan beban lalu lintas yang lebih berat yang dirancang dengan *CIRCLY* 6.0, yang dapat diunduh dari situs resmi *https://pavement-science.com.au*. Aplikasi ini digunakan dalam mode evaluasi, yang diperbolehkan untuk tujuan pendidikan.

CIRCLY 6.0 diproduksi sesuai dengan *Australian Pavement Design Regulations* (*AUSTROADS*, 1992). Pada dasarnya program ini terbagi menjadi dua kelompok menu utama, yang pertama untuk membuat, mengedit dan memasukkan data, yang kedua untuk melakukan analisis dan grafik hasil (Mincad System Pty, Ltd, 2004).

3.5.1 Diagram Alir Program *CIRCLY 6.0*

Urutan langkah dalam menggunakan Program *CIRCLY 6.0* yaitu dimulai dari *Start* lalu memasukkan data – data yang sudah didapatkan dan sudah dihitung. Selanjutnya memilih jenis material dan memasukkan tebal dari tiap lapisan. Selanjutnya dilakukan *calculation details* dan *running program*. Lalu setelah itu didapatkan *summary* dan *calculation output*nya. Lebih jelasnya digambarkan dalam bentuk diagram alir dan dijelaskan pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3. Diagram Alir Program *CIRCLY*

Sumber: *CIRCLY User Manual* (2004)

3.6 Daya Lekat (*Bonding*)

Lemahnya daya rekat antar lapisan perkerasan aspal merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan. Cacat biasanya delaminasi lapisan *coating*. Hachiya dan Sato (1998) mengatakan bahwa hal ini disebabkan tegangan horisontal yang tinggi dan kurangnya adhesi dan ikatan pada antarmuka antar lapisan. Kruncheva, dkk. (2005) menemukan bahwa penelitian tentang efisiensi material cukup umum di bidang ini. Namun jumlah daya rekat (adhesi) dan pengaruh daya rekat terhadap umur lapisan interlayer masih kecil. Saat ini, hampir semua struktur perkerasan lentur diasumsikan memiliki daya rekat yang sangat kuat antar lapisan perkerasan, walaupun hal ini tidak diketahui pada kondisi sebenarnya dan kondisi daya rekat tersebut bervariasi dari daya rekat sangat kuat sampai tanpa daya rekat. Semua ini tergantung pada sifat material dan kualitas konstruksinya.

3.6.1 Model Matematis *Pavement Bonding*

Bond stiffness dan *bond strength* adalah dua parameter berbeda untuk bahan dengan lapisan tertentu. Kekuatan ikatan terkait dengan konsep tegangan geser maksimum yang dapat didukung oleh antarmuka antar lapisan selama keruntuhan (West et al., 2005). Tegangan geser (τ) menyatakan besarnya respon *interlayer* perkerasan yang ditimbulkan oleh gaya horizontal (F). Sedangkan kekakuan ikatan berhubungan dengan nilai antara tegangan geser dan besarnya gerakan geser pada *interface*.

3.6.2 Model Teoritis Perkerasan dengan Kondisi *Bonding*

Untuk model ini dikembangkan dengan menggunakan pendekatan elemen hingga. Metode elemen hingga adalah analisis struktural di mana kontinum digantikan oleh sejumlah elemen diskrit yang dihubungkan oleh node. Selama pemodelan, lapisan tipis dengan ketebalan kurang dari 5 mm diaplikasikan pada lapisan tengah. Kruntcheva, dkk (2005) mengatakan bahwa melalui beberapa simulasi diperoleh modulus elastisitas yang mewakili kekuatan rekat, beberapa di antaranya kurang dari 100 MPa.

BAB IV
METODE PENELITIAN

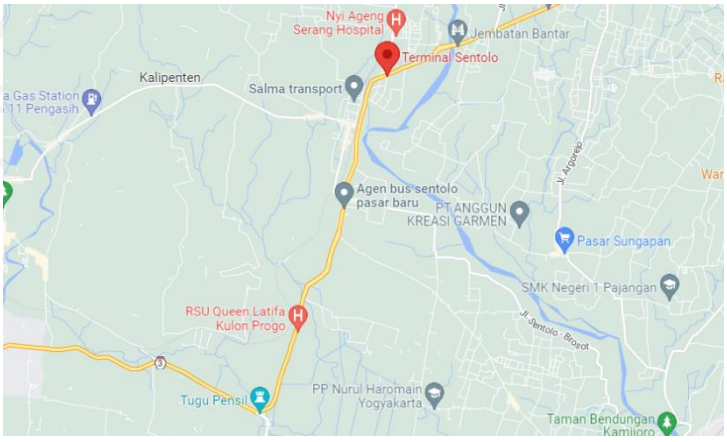
4.1 Objek dan Subjek Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan cara memodelkan lapisan-lapisan perkerasan dengan beberapa variasi kondisi *bonding* dan *interface*. Sebelumnya telah dijelaskan, bahwa penelitian ini akan menggunakan aplikasi *CIRCLY 6.0* untuk mengetahui kondisi respons regangan, tegangan, serta lendutan yang terjadi dengan variasi yang telah disebutkan di atas. Objek penelitian ini akan mengambil data dari Jalan Milir – Sentolo, D.I. Yogyakarta ruas 004 (km 16+147 sampai dengan km 23+980).

4.2 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini bersifat sekunder. Data sekunder yang digunakan adalah sumber data penelitian yang diperoleh melalui media yang dikumpulkan oleh peneliti. Informasi ini diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum, Dinas Umum Bina Marga, Provinsi Jawa Tengah berupa data sebagai berikut.

1. Peta lokasi Jalan Milir – Sentolo ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut ini. Ruas 004 dimulai dari depan Terminal Sentolo dan akhir ruasnya ada di Simpang 3 Milir.



Gambar 4.2 Peta Lokasi Jalan Milir Sentolo

Sumber: *Google Maps*

2. Data lalu lintas harian rata-rata (LHR)
3. Data material perkerasan, tebal masing-masing lapisan, dan sifat lapisan
4. Data modulus elastisitas lapis perkerasan

   Berikut ini merupakan nilai modulus elastisitas sesuai jenis bahan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
Cement-treated granural base	$1x10^6 – 2x10^6$	$7x10^6 – 14x10^6$
Cement aggregate mixture	$5x10^5 – 1x10^6$	$35x10^5 – 7x10^6$
Asphalt treated base	$7x10^4 – 45x10^4$	$49x10^5 – 3x10^6$
Asphalt concrete	$2x10^4 – 2x10^6$	$14x10^4 – 14x10^6$
Bituminous stabilizied mixture	$4x10^4 – 3x10^5$	$28x10^4 – 21x10^5$
Lime stabilizied	$2x10^4 – 7x10^4$	$14x10^4 – 49x10^4$
Unbound granural materials	$15x10^3 – 45x10^3$	$105x10^3 – 315x10^3$
Fine grained or natural subgrade materials	$3x10^3 – 4x10^4$	$21x10^3 – 28x10^4$

Sumber: Huang (2004)

5. Data *poisson's ratio*

   Nilai rasio Poisson ditunjukkan pada Tabel 4.2 berdasarkan jenis material perkerasannya.

Tabel 4.2 Nilai *Poisson's Ratio* Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Nilai μ	μ tipikal
Beton semen *Portland*	0,15 – 0,20	0,35
Campuran aspal panas	0,30 – 0,40	0,15
Material berbutir	0,30 – 0,40	0,35
Material berbutir semen	0,10 – 0,20	0,15
Tanah halus berbutir semen	0,15 – 0,35	0,25
Material distabilisasi kapur	0,10 – 0,25	0,20
Campur *fly ash*	0,10 – 0,15	0,15
Pasir lepas atau pasir lanau	0,20 – 0,40	0,30
Pasir padat	0,30 – 0,45	0,35
Tanah berbutir halus	0,30 – 0,50	0,4
Lempung lunak	0,40 – 0,50	0,45

Sumber: Huang (2004)

6. Umur rencana jalan yaitu jumlah waktu dalam tahun mulai dibukanya jalan tersebut sampai saat diperlukan perbaikan berat atau perlu untuk diberi lapis permukaan baru.
7. Jumlah pertumbuhan kendaraan adalah jumlah kendaraan yang memakai jalan tersebut dari tahun ke tahun.
8. Beban repetisi tiap bagian kendaraan
9. Faktor ekuivalen beban menyatakan kerusakan perkerasan akibat beban sumbu kendaraan yang lewat

4.3 Pengolahan dan Analisis Data

Prosedur pengolahan dan analisis data yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan data karakteristik material untuk pemodelan struktur
   a. Tebal lapis tiap perkerasan
   b. Nilai modulus elastisitas (E) tiap lapis

      Angka didapatkan dari hasil pengujian di laboratorium. Sebelumnya dilakukan pengambilan sampel pada jalan yang akan diuji yaitu dengan uji *coredrill*. Lalu setelah dilakukan pengujian dengan Alat *Marshall*. Setelah pengujian nilai modulus elastisitas

      Tegangan dan regangan yang terjadi pada benda saat pengujian *Marshall* dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 dan 4.2 sebagai berikut

$$\sigma = \frac{P}{d.t} \tag{4.1}$$

$$\varepsilon = \frac{F}{d} \tag{4.2}$$

      dengan

      σ = tegangan yang terjadi pada benda uji,

      P = beban yang bekerja,

      d = diameter benda uji,

      t = tebal/tinggi benda uji,

      ε = regangan yang terjadi pada benda uji, dan

      F = pelelehan benda uji.

c. Nilai *Poisson Ratio* tiap lapis

Angka didapatkan dari Tabel 4.2 sesuai jenis bahan perkerasan dari tiap lapisan.

2. Menganalisis data untuk desain tebal lapis perkerasan
   a. Menentukan periode waktu
   b. Menghitung lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada tahun dasar perencanaan.
   c. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas dan menghitung waktu prediksi jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun (periode tinjauan)

      Didapatkan melalui rentang waktu 5 tahun sebelumnya. Pertumbuhan lalu lintas dapat dihitung dengan menggunakan dua macam metode yaitu metode eksponensial dan metode regresi linier.
   d. Menentukan nilai ESA
   e. Menghitung nilai DESA
   f. Menentukan tipe perkerasan
   g. Menentukan seksi-seksi *subgrade* yang seragam dan daya dukung *subgrade*
3. Melakukan pengembangan variasi yaitu sebagai berikut.
   a. *Interface rough*
   b. *Interface smooth*
4. Melakukan pemodelan atau simulasi tiga lapis dengan variasi *interface rough* dan *smooth*

Jalan yang akan ditinjau memiliki 3 lapis. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.3 Data Struktur Jalan Milir – Sentolo ruas 004 (km 16+147 sampai dengan km 23+980).

Tabel 4.3 Data Struktur Jalan Milir – Sentolo ruas 004

URAIAN KONSTRUKSI		
a. Lapis Permukaan:		
Lebar	(m)	11,00
Tebal	(m)	0,04

Tabel 4.4 Lanjutan Tabel 4.3 Data Struktur Jalan Milir – Sentolo ruas 004

	Jenis		ACWC	
	Kondisi		S	
	Indeks kondisi / IRI	(m/km)	8	
b.	**Lapis Pondasi Atas:**			
	Lebar	(m)	11,00	
	Tebal	(m)	0,30	
c.	Jenis		AGG A	
d.	**Lapis Pondasi Bawah:**			
	Lebar	(m)	11,00	
	Tebal	(m)	0,45	
	Jenis		AGG B	
e.	**Median:**			
	Lebar	(m)	-	
	Tebal	(m)	-	
	Jenis		-	
	Kondisi		-	
f.	**Bahu Jalan:**		**Kiri**	**Kanan**
	Lebar	(m)	2,00	1,00
	Tebal	(m)	0,10	0,10
	Jenis		AGG B	AGG B
	Posisi		Datar	Datar
	Kondisi		S	S
g.	**Trotoar:**		-	
	Lebar	(m)	-	
	Tebal	(m)	-	
	Jenis		-	
	Kondisi			

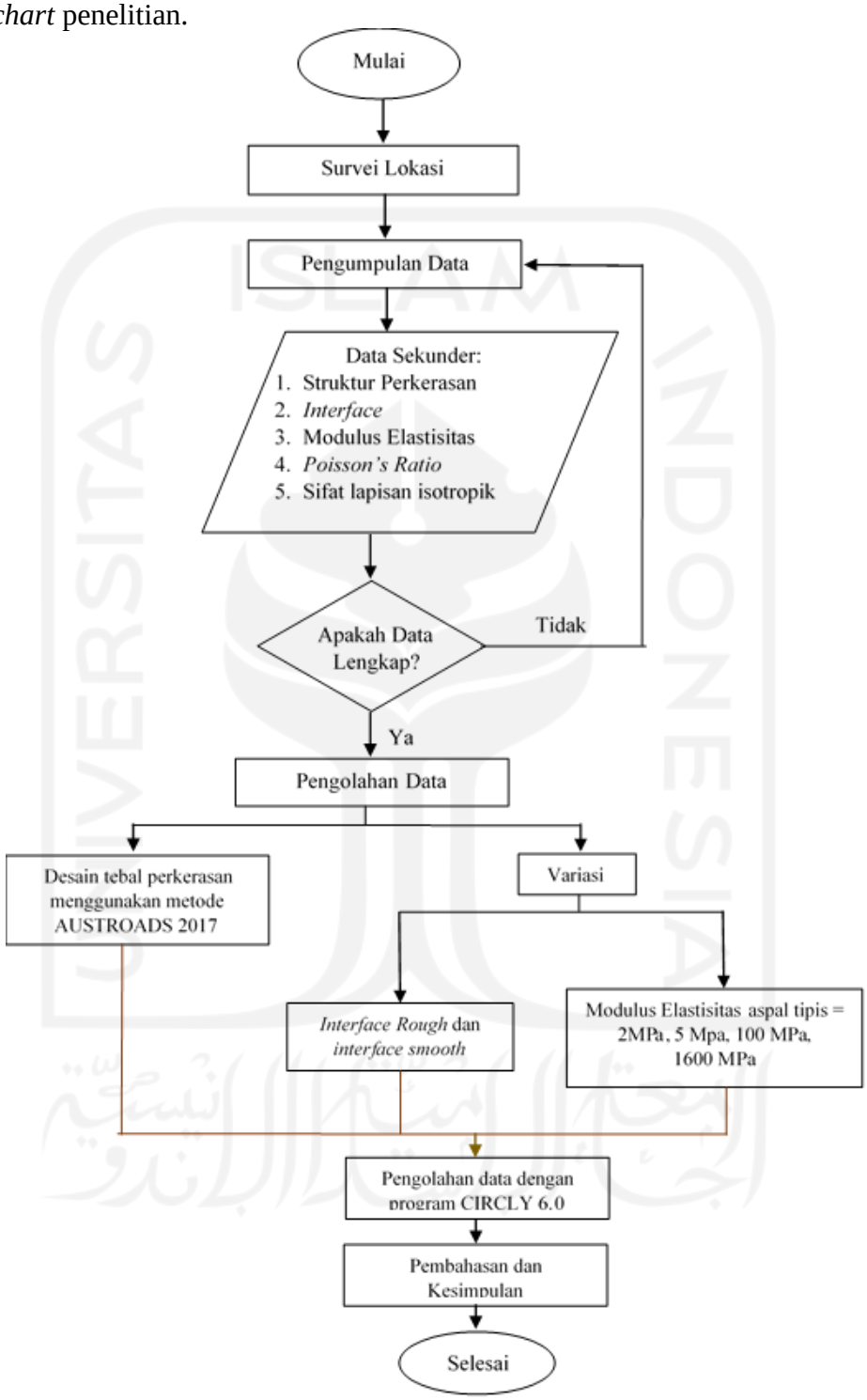
Sumber: P2JN Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (2014)

5. Menganalisis respons regangan dan lendutan pada variasi *interface rough* dan *smooth*.

4.4 Diagram Alir Penelitian

Sebelum melakukan suatu penelitian, hal yang harus dilakukan yaitu mengumpulkan data – data yang, karena penelitian tidak dapat dilaksanakan jika tidak ada data yang mendukung untuk penelitian. Tahapan selanjutnya melakukan pengolahan data sesuai parameter yang ada dengan Program CIRCLY 6.0. Proses

penelitian untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2 yang disajikan dalam *flowchart* penelitian.



Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Desain Perkerasan Metode *AUSTROADS*

5.1.1 Lalu Lintas Harian Rata – Rata

Data berikut yang digunakan yaitu lalu-intas harian rata–rata tahunan (AADT = *Annual Average Daily Traffic*). Data pada Tabel 5.1 di bawah ini merupakan data lalu lintas harian pada ruas Jalan Milir-Sentolo yang didapat dari laporan satuan kerja pengawas dan perencanaan jalan nasional D.I. Yogyakarta tahun 2019. Nilai AADT yang didapatkan yaitu 41016.

Tabel 5.1 Data Lalu Lintas Harian Jalan Milir-Sentolo

No.	Jenis Kendaraan	LHR 2019 (kend/hari)
1	Motor	27677
2	Minibus, opelet, kombi (utilitas 1)	8086
3	Pick up, mikro truk, mobil hantaran (utilitas 2)	294
4	Bus Kecil	1477
5	Bus Besar	446
6	Truk Ringan 2 AS	630
7	Truk Berat 2 AS	371
8	Truk Berat 3 AS	1140
9	Truk Gandeng 4 AS	420
10	Truk Semi Trailer	128
11	Truk semi trailer golongan 7c	166
12	Kendaraan tidak bermotor	181

Sumber: P2JN (2019)

5.1.2 Periode Desain

Jalan Milir – Sentolo ruas 004 di desain menggunakan jenis perkerasan lentur dan elemen perkerasan aspal. Maka dari itu umur rencana yang digunakan adalah 20 tahun.

5.1.3 Penentuan Nilai N_i

Untuk menentukan nilai ini, dibutuhkan nilai AADT, DF, %HV, dan LDF. Dikarenakan ruas jalan yang dimiliki oleh Milir-Sentolo yaitu 2 lajur setiap arah, maka untuk DF (*direction factor)* senilai 0,5. Sedangkan untuk nilai LDF (*Lane Distribution Factor*) didapatkan dari Tabel faktor distribusi arah pada Tabel di bawah ini, yaitu sebesar 1.00 (diambil nilai yang paling besar). Perhitungan niali N_i dengan menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$\%HV = \frac{\text{Jumlah total kendaraan berat}}{\text{AADT}} x100\%$$

$$= \frac{3852}{\text{AADT}} x100\%$$

$$= 8{,}49\%$$

$$N_i = \text{AADT x DF x} \frac{\%HV}{100} \text{ x LDF}$$

$$= 41016 \text{ x } 0{,}5 \text{ x } \frac{8{,}49}{100} \text{ x } 1$$

$$= 1062{,}2841$$

5.1.4 Perhitungan Pertumbuhan Lalu Lintas

Dengan periode desain selama 20 tahun dan jalan tersebut termasuk pada kelas arteri di daerah Jawa, maka nilai pertumbuhan lalu lintas sebesar 4,8% yang diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I. Yogyakarta. Pertumbuhan lalu lintas ini membutuhkan total *traffic* tahun pertama dengan faktor pertumbuhan yang telah ditentukan *AUSTROADS* pada Tabel 3.6. Berikut perhitungan pertumbuhan lalu lintas menggunakan Persamaan 3.2.

$$CGF = \frac{(1+0.01R)^P - 1}{0.01R}$$

$$= \frac{(1+0.01x4{,}8)^{20} - 1}{0.01x4{,}8}$$

$$= 32{,}3759\%$$

5.1.5 Perhitungan Nilai ESA

Dengan asumsi volume lalu lintas di bawah kapasitas selama periode desain, kendaraan berat kumulatif melintasi jalur desain selama periode desain dihitung dengan Persamaan 3.3.

$$ESA = 365 \text{ x } CGF \text{ x } N_i$$

= 365 x 32,3759 x 1062,2841

= 12553227,3845

= 1,25 x 10^6

5.1.6 Perhitungan Kumulatif Kendaraan Gandar (N_{DT})

Telah didapatkan nilai ESA yaitu sebesar 1,25 x 10^6. Untuk nilai N_{HVAG}, sesuai dengan Tabel 3.7, Jalan Milir – Sentolo ruas 004 (km 16+147 sampai dengan km 23+980) termasuk dalam jalan *urban* yaitu jalan perkotaan. Maka dari itu nilai yang digunakan adalah 2,8. Untuk perhitungan nilai N_{DT} menggunakan Persamaan 3.4.

N_{DT} = N_{HV} x N_{HVAG}

= 1,25 x 10^6 x 2,8

= 3,5 x 10^6

5.1.7 Perhitungan *Design Number ESA of Traffic Loading* (DESA)

Setelah mendapat kan hasil ESA di atas. Berikut ini DESA dengan menggunakan Persamaan 3.5.

DESA = ESA/HVAG x N_{DT}

= (1,25 x 10^6 / 2,8) x 3,5 x 10^6

= 446.428,571 x 3.500.000

= 1.562.500.000.000

= 1,56 x 10^{12}

5.1.8 Menentukan Tebal Perkerasan

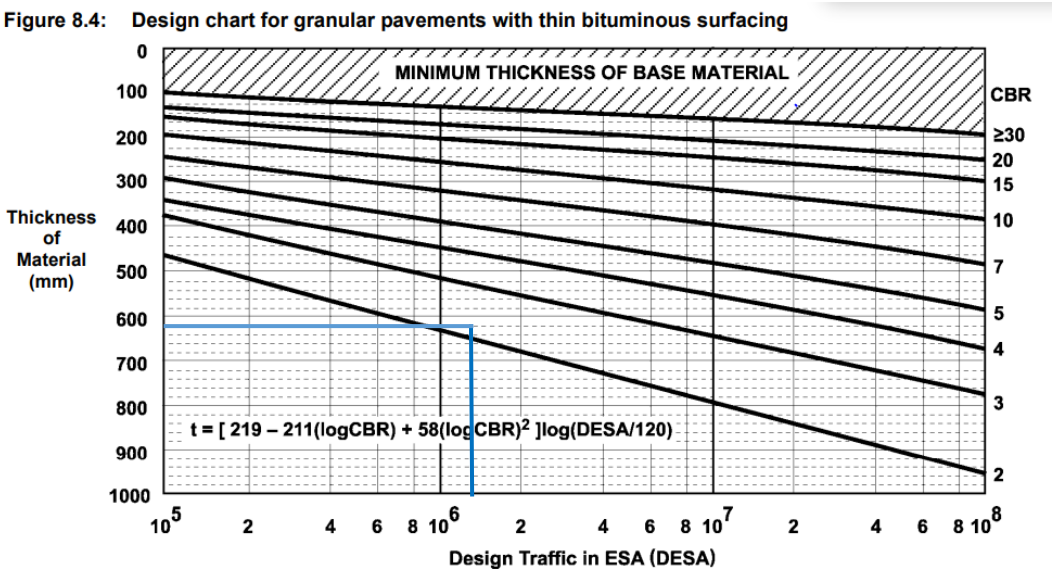
Nilai – nilai yang sudah didapatkan dalam perhitungan di atas dapat ditentukan tipe perkerasan yang digunakan. Nilai CBR yang digunakan 4,83%. diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I. Yogyakarta. Untuk menghitung lapis perkerasan, digunakan *design chart* pada Gambar 5.1.

D1 = Lapis aspal 2200 MPa dengan ketebalan 60 mm

D2 = Lapis aspal 2500 MPa dengan ketebalan 115 mm

D3 = Material semen 5000 MPa dengan ketebalan 200 mm

D4 = Material granular 300 MPa dengan ketebalan 150 mm



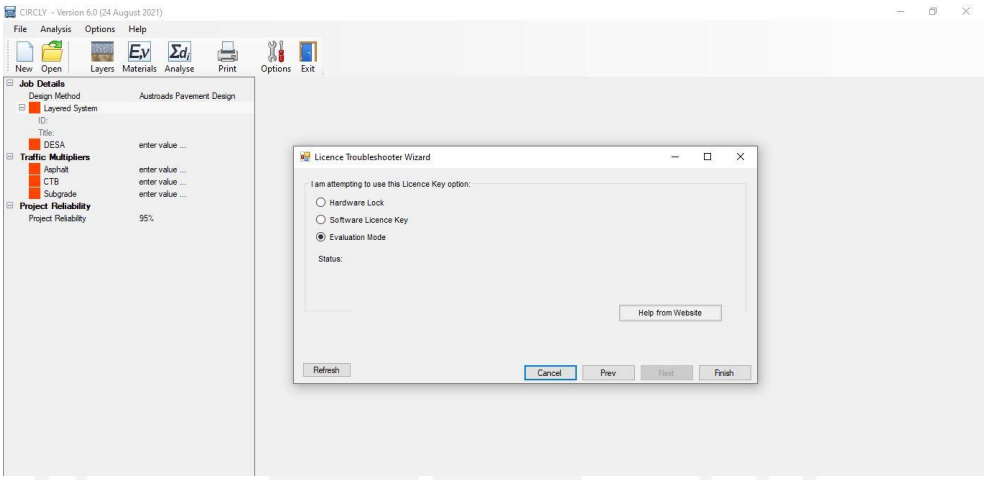
Gambar 5.1 *Design Chart For Granular Pavement With Bituminous Surfacing*

Sumber: AUSTROADS (2017)

5.2 Analisis Perkerasan dengan Program *CIRCLY 6.0*

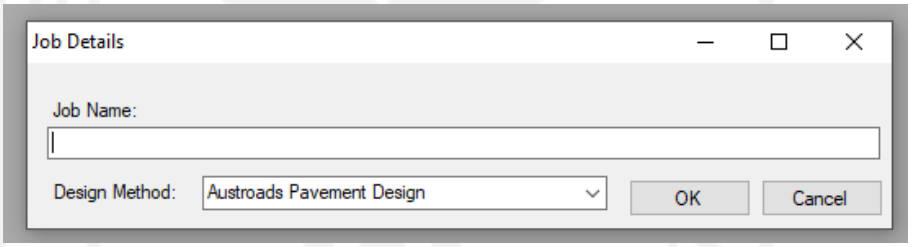
Setelah didapatkan hasil tebal perkerasan dengan perhitungan metode *AUSTROADS*, hasil tersebut dievaluasi menggunakan program *CIRCLY 6.0*. Data pendukung atau parameter yang dibutuhkan untuk menjalankan program *CIRCLY 6.0* dimasukkan ke dimasukan dan diolah sehingga dihasilkan nilai regangan dan lendutan. Berikut ini langkah-langkahnya.

a. Saat program *CIRCLY 6.0* dibuka, pertama kali akan muncul tampilan seperti pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 di bawah. Kemudian memilih menu *Evaluation Mode* lalu mengklik tombol *Finish*.



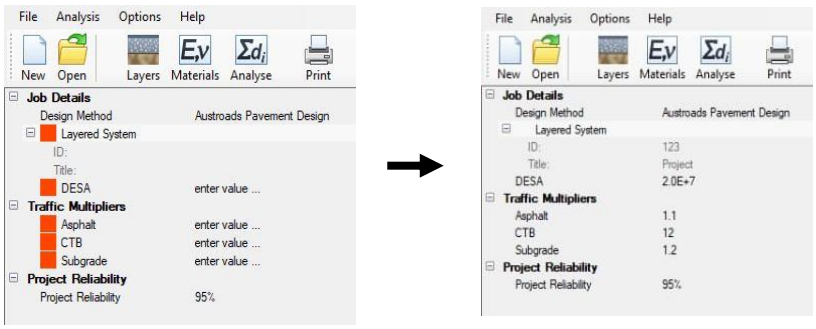
Gambar 5.2 Tampilan Awal Program *CIRLY 6.0*

b. Mengklik tombol *New* pada *Menu Bar*, lalu akan muncul tampilan seperti pada Gambar 5.3 di bawah ini. Lalu mengisi *Job Name*.



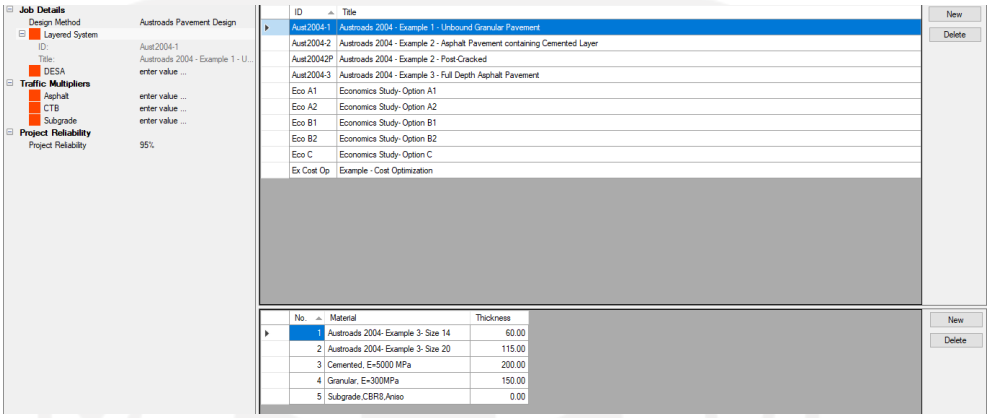
Gambar 5.3 Panel *Job Details*

c. Pada panel sebelah kiri, ada rincian *Job Details*, input nilai DESA, *Traffic Multipliers* (Asphalt, CTB, subgrade), serta nilai *Project Reliabilty* berdasarkan hasil analisis dengan metode *AUSTROADS* seperti pada Gambar 5.4 di bawah ini.



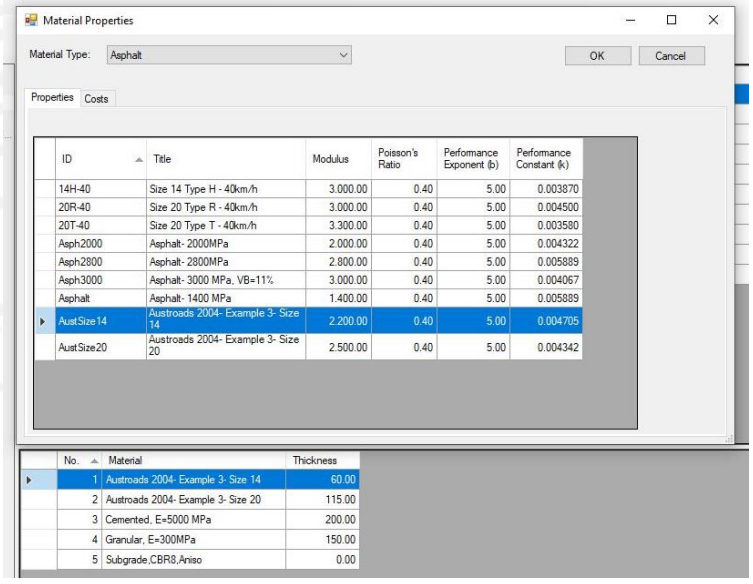
Gambar 5.4 Panel *Job Details*

d. Kemudian mengklik menu *Layers* pada *Menu Bar*. Nantinya akan muncul tampilan seperti seperti pada Gambar 5.5 di bawah ini. Lalu memilih jenis material yang digunakan sesuai dengan perhitungan manual dengan metode *AUSTROADS*.

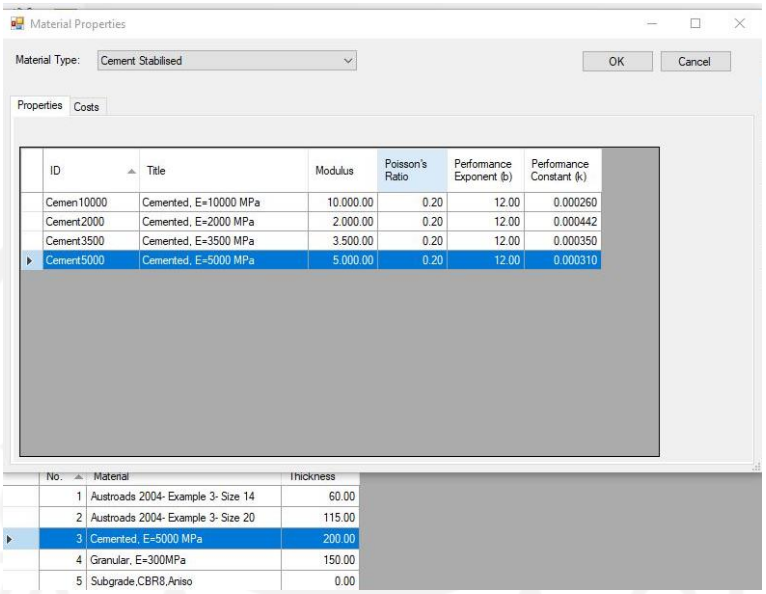


Gambar 5.5 *Layers*

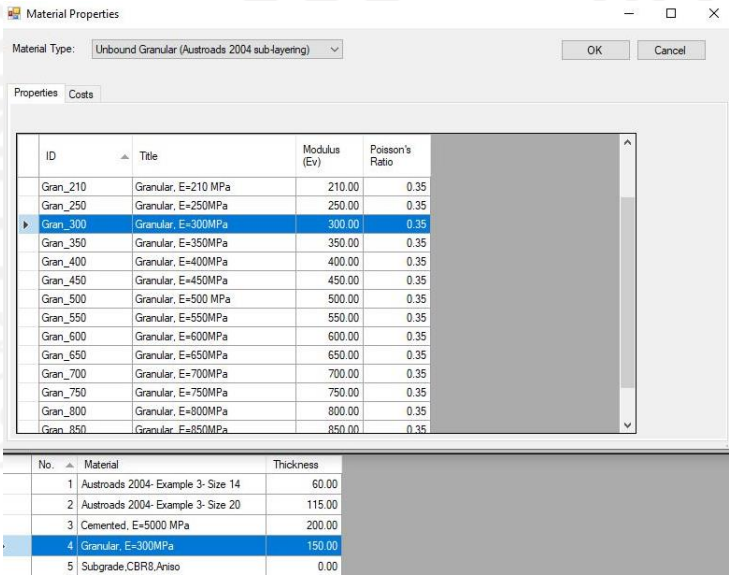
Berikut ini rincian pemilihan jenis material pada menu *Layers*. Ditunjukkan pada Gambar 5.6, Gambar 5.7, Gambar 5.8, dan Gambar 5.9.



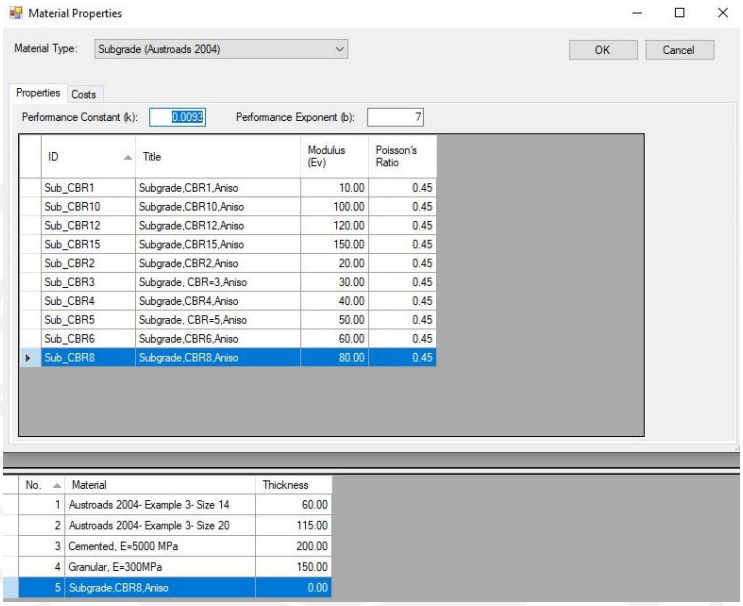
Gambar 5.6 Jenis Material *Asphalt*



Gambar 5.7 Jenis Material *Cemented*

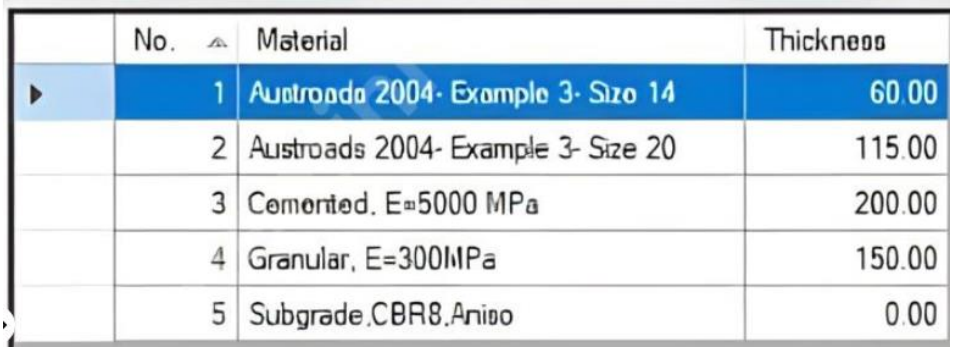


Gambar 5.8 Jenis Material *Granular*



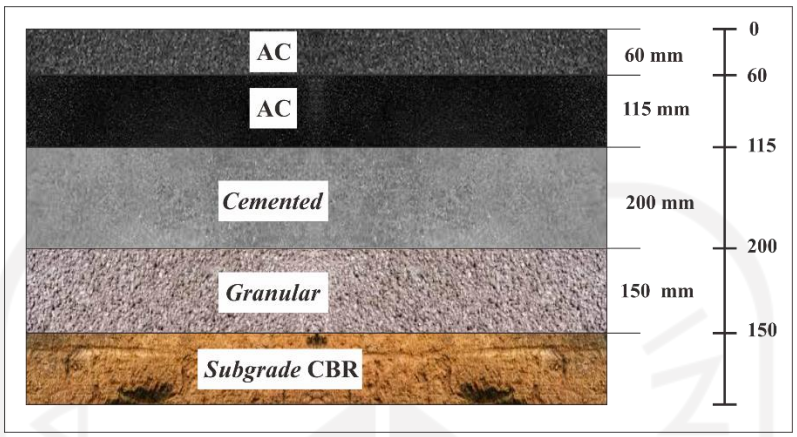
Gambar 5.9 Jenis Material *Subgrade*

e. Setelah itu memasukkan nilai tebal lapis sesuai perhitungan manual yang didapatkan sebelumnya seperti Gambar 5.10 serta skema tebal perkerasan yang ditunjukan pada Gambar 5.11.



No.	Material	Thickness
1	Austroads 2004- Example 3- Size 14	60.00
2	Austroads 2004- Example 3- Size 20	115.00
3	Cemented, E=5000 MPa	200.00
4	Granular, E=300MPa	150.00
5	Subgrade,CBR8,Aniso	0.00

Gambar 5.10 Nilai Tebal Lapis Tiap Lapisan



Gambar 5.11 Skema Tebal Perkerasan

f. Mengklik menu *Analyze* untuk mengetahui nilai *Cumulative Damage Factor* (CDF). Apabila nilai CDF yang muncul berwarna merah, maka desain perkerasan belum aman. Maka dari itu diperlukan perhitungan ulang sampai desain perkerasan aman. Berikut tampilan menu seperti pada Gambar 5.12 di bawah ini

No.	ID	Title	Current Thickness	CDF
1	AustSize14	Austroads 2004-Example 3- Size 1	60.00	1.10E-02
2	AustSize20	Austroads 2004-Example 3- Size 2	115.00	1.39E-02
3	Cement2000	Cemented, E=2000 MPa	175.00	4.71E-06
4	Gran_200	Granular, E=200MPa	150.00	
5	Sub_CBR5	Subgrade, CBR=5,Aniso	0.00	4.28E-01

Gambar 5.12 Nilai *CDF (Cumulative Distribution Function)*

Output dari analisis tersebut merupakan nilai *Cumulative Damage Factor* (CDF). Dari output tersebut dapat diketahui apakah desain tebal perkerasan yang dibuat mampu atau tidak menahan beban yang diijinkan. Didapatkan nilai CDF sebesar 0,011 untuk lapis aspal, 0,000471 untuk lapis pondasi bawah.

Berdasarkan hasil running dari program *CIRCLY 6.0*, dapat diketahui bahwa desain lapis perkerasan tersebut sudah memenuhi standar dan aman untuk digunakan. Hal ini karena nilai CDF ≤1, baik untuk beban standar atau beban berlebih.

5.3 Analisis Kondisi *Interface* Rough dan Smooth dengan Program *CIRCLY 6.0*

Dalam analisis ini titik yang analisis yaitu pada jarak antara -165 sampai 165 dengan koordinat titik X = 0 berada di antara ban kendaraan.

a. Menentukan radius kontak ban

Menurut *AUSTROADS*, beban as pada roda tunggal mempunyai nilai 53 KN, sehingga beban setengah as adalah 26,5 KN (p). Dengan mengambil asumsi tegangan kontak 700 KPa (P) dengan bidang kontak berbentuk lingkaran, maka jari-jarinya (a) adalah:

Radius kontak ban ditentukan dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$a = \sqrt{\frac{p}{P\ x\ \pi}} \qquad (3.4)$$

$$a = \sqrt{\frac{p}{P\ x\ \pi}}\ x\ 1000$$

$$a = \sqrt{\frac{26{,}5}{700\ x\ \pi}}\ x\ 1000$$

$$= 109{,}77 \approx 110\ mm$$

Didapat nilai radius 110 mm, nilai ini akan di*input* sebagai data untuk radius kontak ban pada program *CIRCLY*.

b. Setelah daerah yang akan dianalisis dan radius kontak ban sudah ditentukan, langkah selanjutnya mengasumsikan *interface* diantara *wearing course* dan *binder course* dengan nilai modulus elastisitas pada aspal tipis sebesar 2000 Mpa ke dalam kondisi *rough* dan *smooth*. Berikut

merupakan Tabel struktur perkerasan lentur pada lapisan aspal tipis dengan kondisi *interface* dan nilai modulus elastis.

Tabel 5.2 Struktur Perkerasan Lentur dengan Kondisi *Interface* Dan Nilai Modulus Elastis

No	Jenis Lapisan	Modulus Elastsitas	*Poisson's Ratio*	*Interface*
1	A*sphalt*	2200	0,4	*Rough and Smooth*
2	*Asphalt*	2500	0,4	*Rough*
3	Cemented	2000	0,2	*Rough*
4	*Granular*	300	0,35	*Rough*
5	*Subgarde*	80	0,45	*Rough*

c. Respon *Displacement* Arah Vertikal Z = 0 mm (Muka *Wearing Course*)
Hasil yang dikeluarkan oleh program *CIRCLY 6.0* untuk respon *displacement* arah vertikal Z = 0 mm dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Respon *Displacement* Arah Vertikal Z = 0 Mm

No	*Coordinate X*	*Displacement* arah vertikal Z = 0 mm	
		Interface rough	*Interface smooth*
1	-250,60	-0,5509	-0,6238
2	-240,60	-0,5364	-0,6243
3	-230,60	-0,5391	-0,6257
4	-220,60	-0,5401	-0,6264
5	-210,60	-0,5391	-0,6273
6	-200,60	-0,5447	-0,6285
7	-190,60	-0,5435	-0,6291
8	-180,60	-0,5445	-0,6304
9	-170,60	-0,5456	-0,6312
10	-160,60	-0,5466	-0,6326
11	-150,60	-0,5477	-0,6307
12	-140,60	-0,5488	-0,6031
13	-130,60	-0,5498	-0,6484
14	-120,60	-0,5355	-0,6421
15	-110,60	-0,5519	-0,6233
16	-100,60	-0,5530	-0,6289
17	-90,60	-0,5541	-0,6281
18	-80,60	-0,5551	-0,6112

19	-70,60	-0,5562	-0,6278
20	-60,60	-0,5572	-0,6213

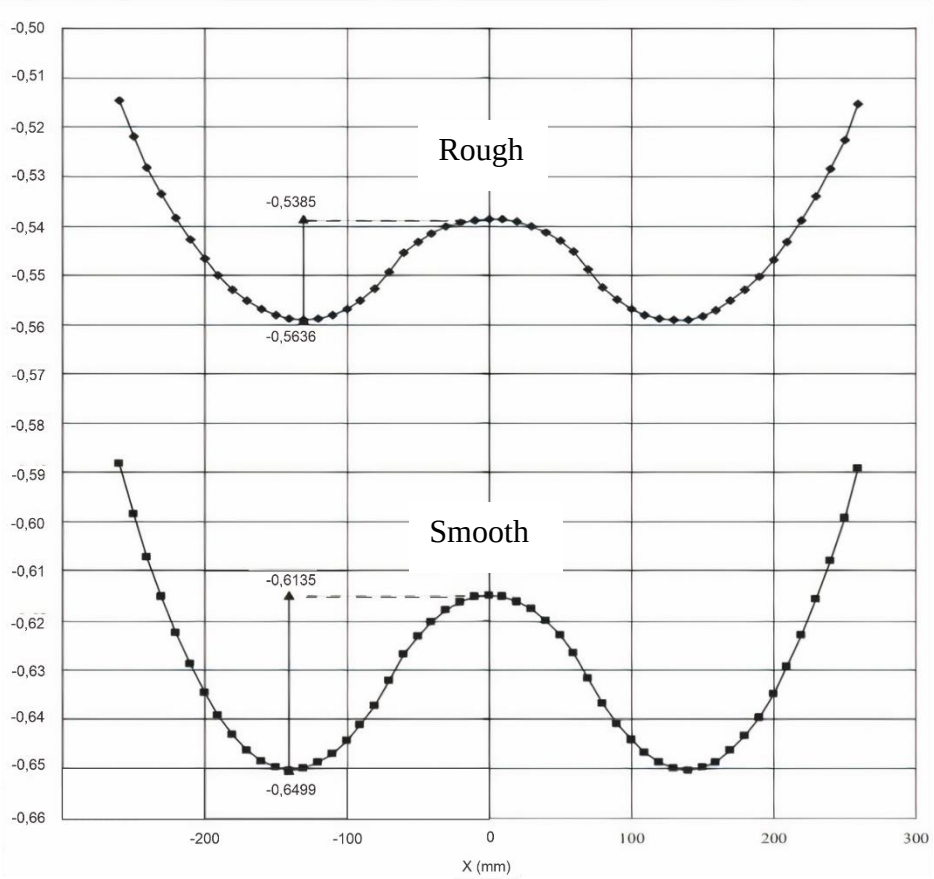
Tabel 5.3 Lanjutan Respon *Displacement* Arah Vertikal Z = 0 Mm

No	*Coordinate X*	*Displacement* arah vertikal Z = 0 mm	
		Interface rough	*Interface smooth*
21	-50,60	-0,5583	-0,6439
22	-40,60	-0,5594	-0,6391
23	-30,60	-0,5604	-0,6299
24	-20,60	-0,5615	-0,6244
25	-10,60	-0,5625	-0,6341
26	0, 61	-0,5685	-0,6499
27	9,87	-0,5647	-0,6441
28	19,87	-0,5653	-0,6375
29	29,87	-0,5665	-0,6123
30	39,87	-0,5674	-0,6456
31	49,87	-0,5684	-0,6283
32	59,87	-0,5694	-0,6395
33	69,87	-0,5503	-0,6441
34	79,87	-0,5515	-0,6375
35	89,87	-0,5525	-0,6123
36	99,87	-0,5536	-0,6456
37	109,87	-0,5547	-0,6283
38	119,87	-0,5558	-0,6395
39	129,87	-0,5569	-0,6328
40	139,87	-0,5580	-0,6323
41	149,87	-0,5591	-0,6318
42	159,87	-0,5602	-0,6313
43	169,87	-0,5612	-0,6308
44	179,87	-0,5623	-0,6303
45	189,87	-0,5634	-0,6299
46	199,87	-0,5645	-0,6294
47	209,87	-0,5656	-0,6289
48	219,87	-0,5667	-0,6284
49	229,87	-0,5678	-0,6279
50	239,87	-0,5689	-0,6274

51	249,87	-0,5700	-0,6269
52	259,87	-0,5711	-0,6264

Dari Tabel 5.3 di atas dapat dilihat bahwa nilai maksimum perpindahan vertikal pada kondisi *interface rough* adalah Y = -0,5385 mm, yaitu pada koordinat X = -120,60 mm, dan nilai minimumnya adalah Y = -0,5636 mm, yaitu pada sumbu cincin antara. Pada kondisi *interface smooth*, nilai perpindahan terbesar adalah Y = -0,6031 mm pada koordinat X = -140,60 mm dan nilai terkecil adalah Y = -0,6499 mm, yaitu pada sumbu antar ban.

Adapun nilai jangkauan gerak pada arah vertikal diperoleh dari nilai minimum Y dikurangi nilai maksimum Y pada setiap keadaan. *Interface rough* adalah 0,033 mm sedangkan daerah transisi pada *interface smooth* adalah 0,0468 mm. Grafik yang sesuai ditunjukkan pada Gambar 5.13 di bawah ini.



Gambar 5.13 Respon *Displacement* Arah Vertikal = 0

d. Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 100 mm (*Interface* antara *Binder Course* dan *Unbound Granular*)

Hasil yang dikeluarkan oleh program *CIRCLY 6.0* untuk respon *displacement* arah vertikal Z = 200 mm dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.4 Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 200 Mm

No	*Coordinate X*	*Displacement* arah vertikal Z = 200 mm	
		Interface rough	*Interface smooth*
1	-250,60	-0,0035336	-0,0003465
2	-240,60	-0,0036560	-0,0003492
3	-230,60	-0,0033128	-0,0004404
4	-220,60	-0,0034280	-0,0004726
5	-210,60	-0,0031696	-0,0005196
6	-200,60	-0,0030592	-0,0005665
7	-190,60	-0,0029488	-0,0006135
8	-180,60	-0,0028384	-0,0006604
9	-170,60	-0,0027218	-0,0007074
10	-160,60	-0,0009791	-0,0003587
11	-150,60	-0,0010734	-0,0002544
12	-140,60	-0,0012435	-0,0002257
13	-130,60	-0,0004978	-0,0004821
14	-120,60	-0,0004985	-0,0003391
15	-110,60	-0,0005625	-0,0002413
16	-100,60	-0,0007632	-0,0001857
17	-90,60	-0,0008167	-0,0004004
18	-80,60	-0,0001465	-0,0004208
19	-70,60	-0,0001485	-0,0004412
20	-60,60	-0,0001491	-0,0004617
21	-50,60	-0,0001525	-0,0005482
22	-40,60	-0,0001545	-0,0005025
23	-30,60	-0,0001565	-0,0005229
24	-20,60	-0,0001585	-0,0005434

25	-10,60	-0,0001605	-0,0005638

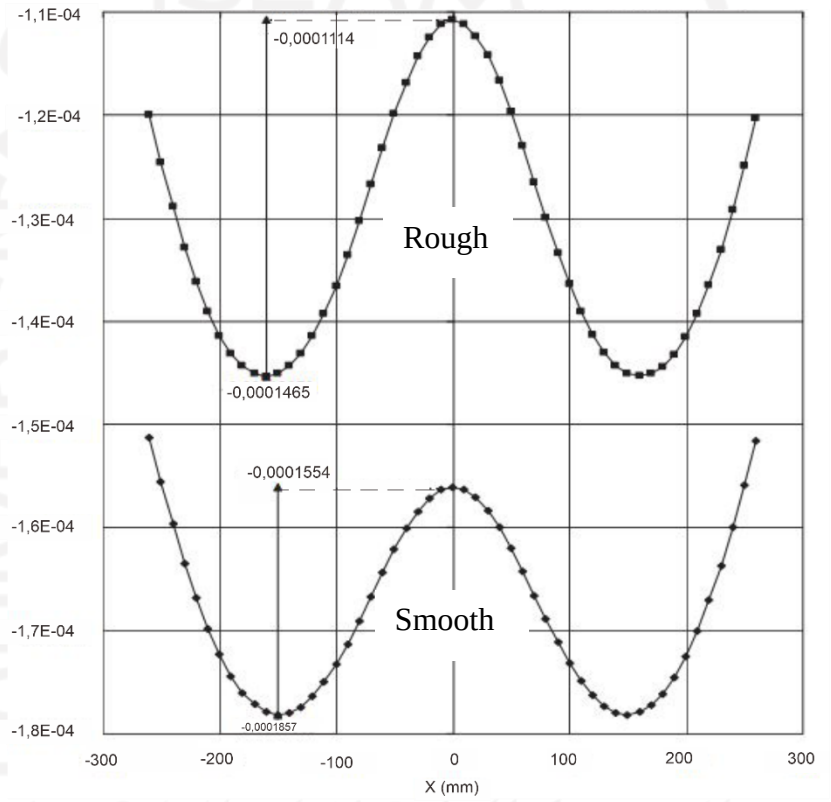
Tabel 5.4 Lanjutan Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 200 Mm

26	0, 61	-0,0001114	-0,0001554
27	9,87	-0,0002054	-0,0006046
28	19,87	-0,0006747	-0,0006251
29	29,87	-0,0001913	-0,0006455
30	39,87	-0,0001845	-0,0006659
31	49,87	-0,0004899	-0,0006863
32	59,87	-0,0005785	-0,0004978
33	69,87	-0,0007278	-0,0005600
34	79,87	-0,0008755	-0,0005386
35	89,87	-0,0010232	-0,0005173
36	99,87	-0,0011709	-0,0004959
37	109,87	-0,0013186	-0,0004745
38	119,87	-0,0014663	-0,0004532
39	129,87	-0,0016140	-0,0004318
40	139,87	-0,0017617	-0,0004104
41	149,87	-0,0019094	-0,0003891
42	159,87	-0,0020571	-0,0003677
43	169,87	-0,0022048	-0,0003464
44	179,87	-0,0023525	-0,0003250
45	189,87	-0,0025002	-0,0003036
46	199,87	-0,0026479	-0,0002823
47	209,87	-0,0027956	-0,0002609
48	219,87	-0,0029433	-0,0002395
49	229,87	-0,0030910	-0,0002182
50	239,87	-0,0032387	-0,0001968
51	249,87	-0,0033864	-0,0001754
52	259,87	-0,0035341	-0,0001541

Dari Tabel 5.4 di atas terlihat nilai perpindahan mendatar Z = 200 mm, nilai maksimum pada *interface rough* adalah Y = -0.0001465 mm, yaitu pada koordinat X = 80.6 mm, dan nilai minimum adalah Y = - 0,0001114 mm, yaitu pada sumbu diantara ban. Pada kondisi *interface smooth* nilai *displacement* terbesar adalah Y =

-0.0001857 mm pada koordinat X = 100.60 mm dan nilai terkecil Y = -0.0001554 mm yang terletak pada sumbu antar ban.

Adapun nilai jangkauan gerak pada arah vertikal diperoleh dari nilai minimum Y dikurangi nilai maksimum Y pada setiap keadaan. *interface rough* adalah 0,000035 mm sedangkan daerah transisi pada *interface smooth* adalah 0,0000303 mm. Grafik respon ditunjukkan pada gambar 5.14 di bawah ini.



Gambar 5.14 Respon *Displacement* Arah Horizontal = 200

e. Respon Regangan Normal Arah Vertikal Z = 350 mm (*Interface* antara *Binder Course* dan *Subgrade*)

   Hasil yang dikeluarkan oleh program *CIRCLY 6.0* untuk respon *displacement* arah vertikal Z = 350 mm dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.5 Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 350 mm

No	*Coordinate X*	*Displacement* arah vertikal Z = 350 mm	
		Interface rough	*Interface smooth*
1	-250,60	-0,0005948	-0,0005926
2	-240,60	-0,0005365	-0,0005587
3	-230,60	-0,0004734	-0,0005692
4	-220,60	-0,0004103	-0,0005211
5	-210,60	-0,0005472	-0,0005121
6	-200,60	-0,0004841	-0,0004264
7	-190,60	-0,0004621	-0,0004741
8	-180,60	-0,0004579	-0,0004557
9	-170,60	-0,0004686	-0,0004364
10	-160,60	-0,0005317	-0,0004188
11	-150,60	-0,0004424	-0,0005712
12	-140,60	-0,0005595	-0,0004844
13	-130,60	-0,0004638	-0,0002489
14	-120,60	-0,0004793	-0,0005429
15	-110,60	-0,0005162	-0,0005247
16	-100,60	-0,0004531	-0,0002365
17	-90,60	-0,0004055	-0,0005867
18	-80,60	-0,0003476	-0,0004656
19	-70,60	-0,0002922	-0,0005687
20	-60,60	-0,0002369	-0,0004733
21	-50,60	-0,0001815	-0,0004878
22	-40,60	-0,0001262	-0,0004235
23	-30,60	-0,0004506	-0,0005169
24	-20,60	-0,0004531	-0,0002315
25	-10,60	-0,0004269	-0,0003460
26	0, 61	-0,0004055	-0,0002365
27	9,87	-0,0004206	-0,0004526
28	19,87	-0,0004331	-0,0005115
29	29,87	-0,0004469	-0,0004616
30	39,87	-0,0004581	-0,0005738
31	49,87	-0,0004706	-0,0004546
32	59,87	-0,0004831	-0,0004897

33	69,87	-0,0004956	-0,0004862

Tabel 5.5 Lanjutan Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 350 mm

34	79,87	-0,0005081	-0,0004827
35	89,87	-0,0005206	-0,0004792
36	99,87	-0,0005331	-0,0004757
37	109,87	-0,0005456	-0,0004722
38	119,87	-0,0005581	-0,0004687
39	129,87	-0,0005706	-0,0004652
40	139,87	-0,0005831	-0,0004617
41	149,87	-0,0005635	-0,0004582
42	159,87	-0,0005514	-0,0004547
43	169,87	-0,0005757	-0,0004512
44	179,87	-0,0005762	-0,0004477
45	189,87	-0,0005712	-0,0004442
46	199,87	-0,0005782	-0,0004407
47	209,87	-0,0005797	-0,0004372
48	219,87	-0,0005802	-0,0004337
49	229,87	-0,0005912	-0,0004302
50	239,87	-0,0005822	-0,0004267
51	249,87	-0,0005936	-0,0004232
52	259,87	-0,0005943	-0,0005924

Dari Tabel 5.5 di atas dapat diketahui nilai minimum *displacement* arah horizontal Z = 350 mm pada kondisi *interface rough* yaitu Y = - 0,0005948 mm yang berada pada koordinat X = 260,60 mm dan nilai maksimum sebesar Y = 0,0001262 mm yang berada di luar tepi ban. Untuk kondisi *interface smooth*, nilai *displacement* minimumnya sebesar Y = - 0,0005926 mm pada koordinat X = 260,60 mm dan nilai maksimum sebesar Y = - 0,0002315 mm yang berada di luar tepi ban.

Sedangkan untuk nilai rentang *displacement* arah vertical didapatkan dari nilai minimum Y dikurangi nilai maksimum Y pada tiap kondisi. Kondisi

interface rough didapatkan yaitu sebesar 0,0004686 mm, sedangkan untuk rentang *displacement* pada kondisi *interface smooth* sebesar 0,0003611 mm.

5.4 Analisis Pemodelan Modulus dengan Aspal Tipis

a. Respon *displacement* arah vertikal pada Z = 0 Setelah Memodelkan Nilai Modulus Elastisitas Pada Lapisan Aspal Tipis

Berikut ini merupakan hasil pemodelan nilai modulus elastisitas pada lapisan aspal tipis untuk mengetahui kondisi *interface* sebagian. Hasil pemodelan terdapat pada Tabel 5.6 di bawah ini.

Tabel 5.6 Respon *Displacement* Arah Vertikal Z = 0 Mm

Kondisi *Bonding*	Modulus Elastisitas	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Rentang (mm)
Rough	2200	-0,5418	-0,5029	0,0452
Rough	2	-0,5587	-0,5941	0,0354
Rough	5	-0,5621	-0,6229	0,0608
Rough	100	-0,5923	-0,6344	0,0421
Rough	1600	-0,6573	-0,6877	0,0304
Smooth	2200	-0,0631	-0,6499	0,0468

Dapat diketahui dari Tabel 5.6 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 -0,5621 mm dan nilai minimum -0,6229 mm sehingga rentang *displacement* arah vertikal yang terjadi adalah 0,0608 mm.

b. Respon regangan normal arah *horizontal* pada Z = 100 Setelah Memodelkan Nilai Modulus Elastisitas Pada Lapisan Aspal Tipis

Berikut ini merupakan hasil pemodelan nilai modulus elastisitas pada lapisan aspal tipis untuk mengetahui kondisi *interface* sebagian. Hasil pemodelan terdapat pada Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7 Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 100 Mm

Kondisi *Bonding*	Modulus Elastisitas	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Rentang (mm)
Rough	2200	-0,0001245	-0,0009475	0,000823
Rough	2	-0,0001469	-0,0009949	0,000848
Rough	5	-0,00002574	-0,00042174	0,000458
Rough	100	-0,0005921	-0,0010051	0,000413
Rough	1600	-0,0001774	-0,0006354	0,000396
Smooth	2200	-0,00003565	-0,0007068	0,0006711

Dapat diketahui dari Tabel 5.7 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 -0,00002574 mm dan nilai minimum -0,00042174 mm sehingga rentang *displacement* arah vertikal yang terjadi adalah 0,000458 mm.

c. Respon regangan normal arah *horizontal* pada Z = 350 Setelah Memodelkan Nilai Modulus Elastisitas Pada Lapisan Aspal Tipis

   Berikut ini merupakan hasil pemodelan nilai modulus elastisitas pada lapisan aspal tipis untuk mengetahui kondisi *interface* sebagian. Hasil pemodelan terdapat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Respon Regangan Normal Arah *Horizontal* Z = 350 Mm

Kondisi *Bonding*	Modulus Elastisitas	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Rentang (mm)
Rough	2200	-0,0004055	-0,0005948	0,0001893
Rough	2	-0,0000897	-0,0002379	0,000148
Rough	5	-0,000367	-0,0011254	0,000758
Rough	100	-0,0000412	-0,0005231	0,000481
Rough	1600	-0,000169	-0,0011041	0,0009351
Smooth	2200	-0,00023650	-0,0005926	0,0003561

Dapat diketahui dari Tabel 5.8 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 -0,000367 mm dan nilai minimum -0,0011254 mm sehingga rentang *displacement* arah vertikal yang terjadi adalah 0,0007584 mm.

5.5 Pembahasan

Dari hasil perhitungan tebal perkerasan meggunakan metode *AUSTROADS* didapatkan 4 lapisan yaitu terdiri dari lapis aspal dengan ketebalan 60 mm dan 115 mm, lalu material semen sebesar 200 mm, dan material granular dengan sebesar 150 mm. Dibandingkan dengan tebal eksisting yang hanya memiliki 3 lapisan dengan ketebalan itu 80 mm, 300 mm, dan *subgrade* 400 mm. Dilihat dari jumlah lapisan dan tebalnya, perhitungan tebal dengan metode *AUSTROADS* akan memakan biaya lebih mahal sedikit.

Serta untuk hasil evaluasi ketebalan jalan dengan program *CIRCLY* 6.0 menunjukkan konstruksi permukaan jalan yang dibuat dengan metode *AUSTROADS* untuk beban standar aman untuk digunakan. Ditandai dengan *Cumulative Damage Factor* (CDF) ≤1. Hal ini menunjukkan bahwa Jalan Milir – Sentolo Ruas 004 (km 16+147 sampai dengan km 23+980) mampu menahan beban standar yang diijiinkan.

Selanjutnya untuk analisis respons regangan dan lendutan pada Jalan Milir – Sentolo pada penelitian ini dilakukan pada 2 arah *displacement*, yaitu arah vertikal dan arah horizontal dengan 2 rentang yang berbeda. Diketahui bahwa untuk arah vertikal dan pada arah horizontal dengan Z = 200 mm, nilai minimumnya ada di koordinat pada poros antar ban yaitu X = 0,61. Tetapi untuk arah horizontal dengan Z = 350 mm, nilai maksimumya berada di luar tepi ban. Hal ini menunjukkan bahwa regangan dan lendutan yang terjadi pada *interface* antar lapisan nilai maksimum nya akan semakin besar jika lapisan tersebut memiliki kontak langsung dengan ban kendaraan. Dibuktikan dengan nilai maksimum *displacement* arah vertikal lebih

besar dibanding dengan arah horzintal. Untuk arah horizontal Z = 350 mm yaitu lapisan antara *binder course* dan *subgrade* nilai maksimumnya berada di luar area rentang ban kendaraan. Pada Tabel 5.9 di bawah ini ditunjukkan hasil rekapitulasi dari ketiga respon tegangan dengan *displacement* arah dan jarak yang berbeda.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Respon Regangan *Displacement*

	Interface Rough				*Interface Smooth*			
	Nilai Min	Posisi	Nilai Maks	Posisi	Nilai Min	Posisi	Nilai Maks	Posisi
Displacement Arah Vertikal = 0	-0,5636	Di poros antar ban	-0,5355	X= 120,60	-0,6499	Di poros antar ban X = 0,61	-0,6031	X = 140,60
Displace-ment Arah Horizontal = 200	-0,0001114	Di poros antar ban, X = 0,61	-0,0001465	X = 80,60	-0,0001554	Di poros antar ban X = 0,61	-0,0001857	X = 100,60
Displace-ment Arah Horizontal = 350	-0,0005948	Di tepi luar ban / X = 250,60	-0,0001262	Di poros antar ban, X = 0,61	-0,0005926	Di tepi luar ban / X = 250,60	-0,0002315	Di poros antar ban X = 0,61

Selanjutnya yaitu evaluasi *interface* kasar sebagian dilakukan dengan memodelkan nilai modulus elastisitas pada aspal tipis struktur perkerasan lentur dengan meng*input* data masukan berupa *traffic data, layered system, calculation detail* dan running program. Analisis regangan normal pada asumsi pemodelan aspal tipis ini menggunakan modulus elastisitas 2 Mpa, 5 Mpa, 100 Mpa, 1600 Mpa, dan 2200 MPa.

Pada regangan normal arah vertikal Z = 0 mm, penggunaan nilai modulus elastisitas yang lebih kecil (2 Mpa) pemodelan aspal tipis memiliki kondisi *interface* yang mendekati halus dan memiliki rentang yang besar. Lalu untuk nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati kasar rentangnya kecil. Kemudian pemodelan aspal tipis pada arah horizontal pada jarak Z = 200 mm dan Z = 350 mm, penggunaan nilai modulus

elastisitas yang lebih kecil (2 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati halus dan memiliki rentang yang lebih besar. Untuk nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati kasar rentangnya besar.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Ditinjau dari hasil analisis perkerasan jalan yang dilakukan dengan menggunakan program komputer *CIRCLY* untuk sistem 4 lapisan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Didapatkan hasil perhitungan tebal perkerasan dengan metode *AUSTROADS* yaitu lapis aspal dengan ketebalan 60 mm dan 115 mm, material semen sebesar 200 mm, dan material granular dengan sebesar 150 mm.
2. Pada hasil analisis respon regangan dan tegangan menggunakan program *CIRCLY* 6.0 menunjukkan bahwa pada arah vertikal Z = 0 mm dan arah horizontal = 200 mm nilai maksimumnya berada di poros antar ban. Sedangkan pada arah horizontal = 350 mm nilai maksimumnya berada di luar tepi ban.
3. Pada pemodelan aspal tipis, arah vertikal Z = 0 mm, semakin kecil nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati kasar rentangnya kecil. Pada arah horizontal pada jarak Z = 200 mm dan Z = 350 mm, penggunaan nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600 Mpa) memiliki kondisi *interface* yang mendekati kasar rentangnya besar. Untuk respon tegangan normal pada arah horizontal, didapatkan bahwa semakin kecil nilai modulus elastisitas, gap yang dihasilkan semakin kecil dan beban cenderung lebih merata.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapat pada penelitian ini, bisa diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dibutuhkan perhitungan perbandingan *interface rough, intermediate,* dan *smooth* untuk mendapatkan respon hasil tegangan dan regangan yang lebih mendetail.
2. Perlu diadakannya studi lanjutan dengan menggunakan program CIRCLY untuk menganalisis struktur perkerasan lentur dengan arah pembebanan *horizontal*.
3. Perlu adanya studi lanjutan mengenai pemodelan dengan aspal tipis agar kedepannya dapat mengetahui lebih detail tentang respon regangan dan lendutan yang terjadi serta mengetahui lebih detail *interface* sebagian.

DAFTAR PUSTAKA

AUSTROADS. 2010. *Guide to Pavement Technology Part 2 : Pavement structural design.* Sydney :Australian Road Research Board.

AUSTROADS. 2011. *Guide to Pavement Technology Part 5 : Pavement evaluation and treatment design*. Sydney : Australian Road Research Board.

Aisyah, Linda dan S.H., Eri. 2016. Analisis Pengaruh Kondisi *Bonding* Pada Perencenaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Perkerasan Lentur Menggunakan Metode *AUSTROADS* (Studi Kasus: Ruas Jalan Jatibarang – Palimanan). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta: 2459-9727.

Huang, Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Pearson Education. United States of America. USA.

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.

Kruntcheva, M. R., Collop, A.C, Thom, N.H. 2005. Effect of Bond Condition On Flexible Pavement Performance. *Journal of Transportation Engineering ASCE*. Vol. 18 No.3 HH 467-471.

Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1. Petunjuk Umum Departemen Pekerjaan Umum. 1987.

Manto Guitom, Tiopan Hendry., 2002. Analisis Perkerasan Lentur Untuk Kondisi Isotropik dan Anisotropik Menggunakan Program *CIRCLY* 4. *Tesis*. (Diterbitkan). Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.

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

Ramadhan, R.Muhammad Ernadi. 2017. Evaluasi Perancangan Tebal Perkerasan Jalan Dengan Metode Analisa Komponen Dan Metode *AUSTROADS* Menggunakan Program *Kenpave* (Studi Kasus Jalan Palbapang - Simpang Kweden Sta 0+000 – Sta 2+650) Dan Jalan Bakulan – Barongan Sta 0+000 – Sta 3+198). *Tugas Akhir*. (Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Rahmawati, Anita., Iqbal, Muhammad., Adly, Emil. 2020. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Dengan Metode *AUSTROADS* Menggunakan Program *CIRCLY* 6.0. Vol. 16 No. 2. Hal. 127–138. (http://dinarek.unsoed.ac.id. Diakses 10 Juli 2022).

Simanjuntak dan Prasetyanto. 2014. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode *AUSTROADS* 1992. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional No.x I Vol.xx. Agustus 2014. Yogyakarta.

Eri S.H. 2006. Rentang Modulus Dari *Thin Layer* yang Menunjukkan Kondisi *Bonding* Antar Lapisan Beraspal. Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. Vol.13 No. 4 Oktober 2006. Bandung.

Shofia M.H, S.H., Eri, Syaiful. 2012. Analisis Kondisi *Interface* dan *Wearing Course* dan *Binder Course*. *Jurnal Rekaya Sipil*. Vol. 1 No. 2: 13-27. Bogor.

Sukirman, S. 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Nova. Bandung.

Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Granit. Jakarta.

Tenriajeng, A.T. 2002. Rekayasa Jalan Raya-2. Gunadarma. Jakarta.

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.*

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Milir-Sentolo

BINA MARGA
INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM
CENTRAL DATABASE 2017

TRAFFIC SUMMARY REPORT
DI Yogyakarta [26] 10-Jan-2018

Link / Traffic Post	AADT MBT	AADT Total	Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle	Car	Util 1	Util 2	Small Bus	Large Bus	Truck 2x a)	Truck 2x b)	Truck 3x a)	Truck 3x b)	Truck 3x c)	No Mot Traf	Survey Year
							Veh 1	Veh 2	Veh 3	Veh 4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh 8	
001 - KARANG NONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN											Status: N/A								
A001	7,366	18,354	69.89	6.76	17.66	5.69	10,612	4,077	338	733	137	361	364	937	273	59	87	376	2017
002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES											Status: N/A								
A002	13,905	30,481	80.89	8.82	7.45	2.84	15,974	5,955	4,389	904	294	932	311	725	263	57	75	602	2017
00211 K - JLN. CHUDORI (WATES)											Status: N/A								
A00211	8,957	39,485	65.66	8.41	20.39	5.55	30,145	2,889	1,879	1,113	123	630	307	1,519	241	111	145	383	2017
003 - BTS. KOTA WATES - MILIR											Status: N/A								
A003	12,164	39,785	68.77	7.97	16.82	6.45	26,433	5,044	1,458	1,863	349	620	533	1,513	321	229	234	1,188	2017
00311 K - JLN. KOL. SUGIYONO (WATES)											Status: N/A								
A00311	12,712	37,868	70.53	9.50	12.69	7.28	24,417	3,274	4,680	1,012	582	626	622	991	474	254	197	739	2017
004 - MILIR - SENTOLO											Status: N/A								
A004	13,158	41,016	74.91	8.18	11.48	5.43	27,677	8,086	294	1,477	446	630	371	1,140	420	128	166	181	2017
005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN											Status: N/A								
A005	15,566	53,781	72.72	7.60	13.47	6.21	37,213	5,944	3,827	1,548	569	614	768	1,329	417	329	221	1,002	2017
006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA											Status: N/A								
A006	15,169	58,991	77.03	7.09	11.35	4.53	43,519	10,000	303	1,382	362	714	408	1,313	408	103	176	303	2017
00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A00611	14,420	105,528	92.74	3.33	3.73	0.20	90,020	12,006	490	877	177	303	275	263	23	0	6	1,088	2017
00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A00711	33,079	84,696	88.59	5.82	4.43	1.16	50,743	23,822	1,454	4,028	676	1,250	395	1,070	283	43	58	874	2017
008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN											Status: N/K1								
A008	9,794	48,941	76.67	5.76	15.72	1.85	38,593	4,528	1,284	1,697	276	288	365	1,175	128	19	34	554	2017
009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL											Status: N/K1								
A009	8,463	38,537	78.32	3.80	16.86	1.02	30,065	5,375	79	1,174	224	98	233	1,194	55	1	30	9	2017
010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING											Status: N/K1								
A010	7,712	25,401	77.94	5.37	14.91	1.78	17,671	5,116	140	755	138	276	207	943	115	6	16	18	2017
011 - GADING - GLEDAG											Status: N/K1								
A011	7,498	30,198	82.81	5.20	10.88	1.11	22,434	4,620	678	911	245	145	250	566	59	0	24	266	2017
012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSARI)											Status: N/K1								
A012	11,189	44,388	77.51	3.37	17.26	1.86	32,916	1,776	4,908	1,989	210	167	591	1,340	155	15	38	283	2017
013 - LINGKAR SELATAN WONOSARI											Status: N/K1								
A013	2,835	7,571	81.90	4.73	12.17	1.20	4,589	1,858	98	366	87	47	76	269	25	4	5	147	2017
014 - BTS. KOTA WONOSARI - NGEPOSARI - PACUCAK - BEDOYO - DUWET											Status: N/K1								
A014	11,521	45,160	76.67	3.71	17.34	2.27	33,306	1,817	4,984	2,032	234	194	620	1,378	189	22	51	333	2017

Lampiran 2 Hasil Analisis *CIRCLY 6.0*

CIRCLY - Version 6.0

Job Title: project jalan

Damage Factor Calculation

Assumed number of damage pulses per movement:
Combined pulse for gear (i.e. ignore NROWS)

Traffic Spectrum Details:

Load No.	Load ID	Movements
1	ESA750-Full	1.56E+12

Details of Load Groups:

Load No.	Load ID	Load Category	Load Type	Radius	Pressure/ Ref. stress	Exponent
1	ESA750-Full	ESA750-Full	Vertical Force	92.1	0.75	0.00

Load Locations:

Location No.	Load ID	Gear No.	X	Y	Scaling Factor	Theta
1	ESA750-Full	1	-165.0	0.0	1.00E+00	0.00
2	ESA750-Full	1	165.0	0.0	1.00E+00	0.00
3	ESA750-Full	1	1635.0	0.0	1.00E+00	0.00
4	ESA750-Full	1	1965.0	0.0	1.00E+00	0.00

Layout of result points on horizontal plane:
Xmin: 0 Xmax: 165 Xdel: 165
Y: 0

Details of Layered System:

ID: PJ Title: Project Jalan

Layer No.	Lower i/face	Material ID	Isotropy	Modulus (or Ev)	P.Ratio (or vvh)	F	Eh	vh
1	rough	AustSize14	Iso.	2.20E+03	0.40			
2	rough	AustSize20	Iso.	2.50E+03	0.40			
3	rough	Cement2000	Iso.	2.00E+03	0.20			
4	rough	Gran_200	Aniso.	2.00E+02	0.35	1.48E+02	1.00E+02	0.35
5	rough	Sub_CBR5	Aniso.	5.00E+01	0.45	3.45E+01	2.50E+01	0.45

Performance Relationships:

Layer No.	Location	Material ID	Component	Perform. Constant	Perform. Exponent	Traffic Multiplier
1	bottom	AustSize14	ETH	0.004705	5.000	1.100
2	bottom	AustSize20	ETH	0.004342	5.000	1.100
3	bottom	Cement2000	ETH	0.000442	12.000	12.000
5	top	Sub_CBR5	EZZ	0.009300	7.000	1.500

Reliability Factors:
Project Reliability: Austroads 95%

Layer No.	Reliability Factor	Material Type
1	1.00	Asphalt
2	1.00	Asphalt
3	1.00	Cement Stabilised
5	1.00	Subgrade (Austroads 2004)

Details of Layers to be sublayered:
Layer no. 4: Austroads (2004) sublayering

sults:

Layer No.	Thickness	Material ID	Load ID		Critical Strain	CDF
1	60.00	AustSize14	ESA750-Full		-4.31E-05	1.10E+02
2	115.00	AustSize20	ESA750-Full		-4.17E-05	1.39E+02
3	175.00	Cement2000	ESA750-Full		-1.24E-04	4.71E+06
4	150.00	Gran_200		n/a		n/a
5	0.00	Sub_CBR5	ESA750-Full		2.72E-04	4.28E+01

project jalan

Austroads 2004- Example 3- Size 14
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.11016E+03	-0.43059E-04

Maximum of total damage= 110.1615

Austroads 2004- Example 3- Size 20
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.13950E+03	-0.41658E-04

Maximum of total damage= 139.4966

Cemented, E=2000 MPa
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.47068E+07	-0.12447E-03

Maximum of total damage= 4706797.

Subgrade, CBR=5,Aniso
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.42772E+02	0.27194E-03

Maximum of total damage= 42.77226

```
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                              Program- CIRCLY                              *
*                                                                           *
*                                                                           *
*                     Version- 6.0 (24 February 2021)                       *
*                                                                           *
*            (C) Copyright MINCAD Systems Pty. Ltd., Australia 2021.        *
*                                                                           *
*              LAYERS BLOCK WORKSPACE      (MLYBLK)...  125000              *
*              COORDINATES BLOCK WORKSPACE (MCOORD)...    5000              *
*                                                                           *
*              CONVERGENCE TOLERANCE          (EPS)... 1.0E-02             *
*              MINIMUM INTEGRATION RANGE   (RKUPMN)... 2.0E+00             *
*              MAXIMUM INTEGRATION RANGE   (RKNMTR)... 1.0E+01             *
*              MAXIMUM EXPONENTIAL FN. ARG.(EXPMAX)... 2.0E+01             *
*              MAXIMUM NODES IN QUADRATURE (MXKNOD)...     127             *
*                                                                           *
*****************************************************************************
```

0DETAILS OF LAYERED SYSTEM
0NUMBER OF LAYERS..... 5
0

LAYER INTERFACE	TYPE	ELASTIC CONSTANTS			THICKNESS
0 1 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2200E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00		0.6000E+02
0 2 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2500E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00		0.1150E+03
0 3 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2000E+04	POISSONS RATIO = 0.2000E+00		0.1750E+03
0 4 ROUGH	CROSS-ANISOTROPIC	EH = 0.1000E+03	EV = 0.2000E+03	F = 0.1481E+03	0.1500E+03
		VVH= 0.3500E+00	VH = 0.3500E+00		
0 5	CROSS-ANISOTROPIC	EH = 0.2500E+02	EV = 0.5000E+02	F = 0.3448E+02	INFINITE
		VVH= 0.4500E+00	VH = 0.4500E+00		

0DETAILS OF LOADS Equivalent Single Axle (press=0.75 MPa)- Full Axle (Austroads 2004)
0NUMBER OF LOAD GROUPS..... 1
0NUMBER OF NON-DEFAULT LOAD LOCATIONS.... 4

0 LOAD GROUP NO.	LOAD TYPE	RADIUS	REFERENCE STRESS	AVERAGE STRESS	LOAD/MOMENT PER LOCATION	POWER
1	(1) VERTICAL FORCE	0.9210E+02	0.7500E+00	0.7500E+00	0.1999E+05	0.0000E+00

NON-DEFAULT LOAD LOCATION DATA

LOAD GROUP NO.	X	Y	THETA (DEGREES)	SCALING FACTOR
1	-0.1650E+03	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01
1	0.1650E+03	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01
1	0.1635E+04	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01
1	0.1965E+04	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01

SOLUTION METHOD DETAILS
GAUSSIAN QUADRATURE USED FOR HANKEL TRANSFORM INTEGRATION.
0

LAYER INTERFACE	TYPE	ELASTIC CONSTANTS		THICKNESS
0 1 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2200E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00	0.6000E+02
0 2 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2500E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00	0.1150E+03

```
0    3          ISOTROPIC              MODULUS = 0.2000E+04    POISSONS RATIO = 0.2000E+00          0.1750E+03
ROUGH
0    4          CROSS-ANISOTROPIC      EH = 0.5743E+02   EV = 0.1149E+03   F  = 0.8509E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                       VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    5          CROSS-ANISOTROPIC      EH = 0.4863E+02   EV = 0.9727E+02   F  = 0.7205E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                       VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    6          CROSS-ANISOTROPIC      EH = 0.4118E+02   EV = 0.8236E+02   F  = 0.6101E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                       VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    7          CROSS-ANISOTROPIC      EH = 0.3487E+02   EV = 0.6974E+02   F  = 0.5166E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                       VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    8          CROSS-ANISOTROPIC      EH = 0.2952E+02   EV = 0.5905E+02   F  = 0.4374E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                       VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    9          CROSS-ANISOTROPIC      EH = 0.2500E+02   EV = 0.5000E+02   F  = 0.3448E+02           INFINITE
                                       VVH= 0.4500E+00   VH = 0.4500E+00
0INTEGRATION RANGE.....................      3.78
1
                                                                                    ESA750-Full

                ▯   ▯                                 Hè▯                                          ▯
              ▯                                     R   R   R   R   R   R          6     # 0$$$CALEND: DAY OF THE YEAR
INPUT = $   ▯
    ▯  IS OUT OF RANGE.   7                 January  February March    April    May      June     July     August
Septem
 berOctober  November December     Sunday   Monday   Tuesday  WednesdayThursday Friday   Saturday
 6   $   ▯        7   6   $   ▯    ▯   7          6   H ▯  $   ▯        H ▯  7   6   H ▯  $   ▯        H ▯
$   ▯        7   6   H ▯  $   ▯        7
     €   ▯                              ▯       €   ▯                   ÿÿ  ▯   x   ▯
▯ ▯
  6   *  ▯▯   ▯   7   6   *  ▯▯
```

POINT NO.	COORDINATES X	Y	Z	L	DISPLACEMENTS UX	UY	UZ
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6000E+02	1	-0.9753E-02	-0.9894E-09	-0.5348E+00
0 2	0.1650E+03	0.0000E+00	0.6000E+02	1	-0.4813E-02	-0.9444E-09	-0.5596E+00
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.2725E-03	0.2315E-09	-0.5360E+00
0 4	0.1650E+03	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.1884E-02	-0.6866E-11	-0.5456E+00
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3500E+03	3	0.1411E-01	0.2073E-08	-0.5275E+00
0 6	0.1650E+03	0.0000E+00	0.3500E+03	3	0.2361E-02	0.1417E-08	-0.5346E+00
0 7	0.0000E+00	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.2212E-01	0.2840E-08	-0.4943E+00
0 8	0.1650E+03	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.8333E-02	0.2185E-08	-0.5025E+00

POINT NO.	COORDINATES X	Y	Z	L	NORMAL STRAINS XX	YY	ZZ	SHEAR STRAINS XZ	YZ	XY
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6000E+02	1	0.9258E-04	0.2448E-04	-0.7078E-04	-0.4653E-06	-0.3809E-11	0.2468E-11
0 2	0.1650E+03	0.0000E+00	0.6000E+02	1	-0.4306E-04	-0.2647E-04	0.1939E-03	0.1009E-04	-0.6853E-13	-0.1164E-11
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1750E+03	2	0.8942E-05	-0.3526E-04	0.3495E-04	-0.8141E-06	-0.3785E-11	0.1973E-11
0 4	0.1650E+03	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.2963E-04	-0.4166E-04	0.8355E-04	0.1890E-04	-0.1168E-12	0.1080E-12
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.7156E-04	-0.1245E-03	0.5758E-04	-0.5042E-06	-0.1873E-12	0.3192E-11
0 6	0.1650E+03	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.6791E-04	-0.1202E-03	0.5551E-04	0.9649E-06	-0.5379E-13	0.2047E-11
0 7	0.0000E+00	0.0000E+00	0.5000E+03	9	-0.8732E-04	-0.1381E-03	0.2719E-03	-0.2523E-04	-0.5095E-11	0.3502E-11
0 8	0.1650E+03	0.0000E+00	0.5000E+03	9	-0.7618E-04	-0.1349E-03	0.2622E-03	0.1396E-04	-0.2637E-11	0.2939E-11

POINT NO.	COORDINATES X	Y	Z	L	NORMAL STRESSES XX	YY	ZZ	SHEAR STRESSES XZ	YZ	XY
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6000E+02	1	0.2909E+00	0.1839E+00	0.3422E-01	-0.7311E-03	-0.5985E-08	0.3878E-08
0 2	0.1650E+03	0.0000E+00	0.6000E+02	1	0.3233E+00	0.3494E+00	0.6958E+00	0.1585E-01	-0.1077E-09	-0.1830E-08
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1750E+03	2	0.4678E-01	-0.3216E-01	0.9321E-01	-0.1454E-02	-0.6759E-08	0.3524E-08
0 4	0.1650E+03	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.9117E-02	-0.3060E-01	0.1930E+00	0.3374E-01	-0.2086E-09	0.1929E-09
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.1962E+00	-0.2844E+00	0.1904E-01	-0.8404E-03	-0.3122E-09	0.5319E-08
0 6	0.1650E+03	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.1868E+00	-0.2740E+00	0.1884E-01	0.1608E-02	-0.8965E-10	0.3412E-08
0 7	0.0000E+00	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.1133E-02	0.2580E-03	0.1422E-01	-0.8700E-03	-0.1757E-09	0.6038E-10
0 8	0.1650E+03	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.1402E-02	0.3897E-03	0.1392E-01	0.4815E-03	-0.9094E-10	0.5068E-10

Lampiran 3 Hasil Analisis *CIRCLY 6.0* dengan beban dan *traffic*

CIRCLY - Version 6.0

Job Title: project jalan

Damage Factor Calculation

Assumed number of damage pulses per movement:
Combined pulse for gear (i.e. ignore NROWS)

Traffic Spectrum Details:

ID: 2004-1 Title: Austroads 2004 - Example 1 - Unbound Granular Pavement

Load No.	Load ID	Movements
1	ESA75-Full	5.00E+06

Details of Load Groups:

Load No.	Load ID	Load Category	Load Type	Radius	Pressure/ Ref. stress	Exponent
1	ESA75-Full	ESA750-Full	Vertical Force	92.1	0.75	0.00

Load Locations:

Location No.	Load ID	Gear No.	X	Y	Scaling Factor	Theta
1	ESA75-Full	1	-165.0	10.0	1.00E+00	0.00
2	ESA75-Full	1	165.0	0.0	1.00E+00	0.00
3	ESA75-Full	1	1635.0	0.0	1.00E+00	0.00
4	ESA75-Full	1	1965.0	0.0	1.00E+00	0.00

Layout of result points on horizontal plane:
Xmin: 0 Xmax: 165 Xdel: 165
Y: 0

Details of Layered System:

ID: PJ Title: Project Jalan

Layer No.	Lower i/face	Material ID	Isotropy	Modulus (or Ev)	P.Ratio (or vvh)	F	Eh	vh
1	rough	AustSize14	Iso.	2.20E+03	0.40			
2	rough	AustSize20	Iso.	2.50E+03	0.40			
3	rough	Cement2000	Iso.	2.00E+03	0.20			
4	rough	Gran_200	Aniso.	2.00E+02	0.35	1.48E+02	1.00E+02	0.35
5	rough	Sub_CBR5	Aniso.	5.00E+01	0.45	3.45E+01	2.50E+01	0.45

Performance Relationships:

Layer No.	Location	Material ID	Component	Perform. Constant	Perform. Exponent	Traffic Multiplier
1	bottom	AustSize14	ETH	0.004705	5.000	1.000
2	bottom	AustSize20	ETH	0.004342	5.000	1.000
3	bottom	Cement2000	ETH	0.000442	12.000	1.000
5	top	Sub_CBR5	EZZ	0.009300	7.000	1.000

Reliability Factors: Not Used.

Details of Layers to be sublayered:
Layer no. 4: Austroads (2004) sublayering

Results:

Layer No.	Thickness	Material ID	Load ID		Critical Strain	CDF
1	60.00	AustSize14	ESA75-Full		-4.31E-05	3.21E-04
2	115.00	AustSize20	ESA75-Full		-4.16E-05	4.06E-04
3	175.00	Cement2000	ESA75-Full		-1.24E-04	1.25E+00
4	150.00	Gran_200		n/a		n/a
5	0.00	Sub_CBR5	ESA75-Full		2.72E-04	9.13E-05

project jalan

Austroads 2004- Example 3- Size 14
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.32139E-03	-0.43070E-04

Maximum of total damage= 3.2138560E-04

Austroads 2004- Example 3- Size 20
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.40573E-03	-0.41643E-04

Maximum of total damage= 4.0573473E-04

Cemented, E=2000 MPa
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.12463E+01	-0.12438E-03

Maximum of total damage= 1.246261

Subgrade, CBR=5,Aniso
Maximum damage values for each vehicle type

Vehicle Type	Damage Factor	Critical Strain
ESA750-Full	.91259E-04	0.27188E-03

Maximum of total damage= 9.1259462E-05

```
*****************************************************************************
*                                                                           *
*                              Program- CIRCLY                              *
*                                                                           *
*                                                                           *
*                     Version- 6.0 (24 February 2021)                       *
*                                                                           *
*            (C) Copyright MINCAD Systems Pty. Ltd., Australia 2021.        *
*                                                                           *
*              LAYERS BLOCK WORKSPACE      (MLYBLK)...  125000              *
*              COORDINATES BLOCK WORKSPACE (MCOORD)...    5000              *
*                                                                           *
*              CONVERGENCE TOLERANCE          (EPS)... 1.0E-02             *
*              MINIMUM INTEGRATION RANGE   (RKUPMN)... 2.0E+00             *
*              MAXIMUM INTEGRATION RANGE   (RKNMTR)... 1.0E+01             *
*              MAXIMUM EXPONENTIAL FN. ARG.(EXPMAX)... 2.0E+01             *
*              MAXIMUM NODES IN QUADRATURE (MXKNOD)...     127             *
*                                                                           *
*****************************************************************************
```

0DETAILS OF LAYERED SYSTEM
0NUMBER OF LAYERS..... 5
0

LAYER INTERFACE	TYPE	ELASTIC CONSTANTS			THICKNESS
0 1 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2200E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00		0.6000E+02
0 2 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2500E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00		0.1150E+03
0 3 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2000E+04	POISSONS RATIO = 0.2000E+00		0.1750E+03
0 4 ROUGH	CROSS-ANISOTROPIC	EH = 0.1000E+03	EV = 0.2000E+03	F = 0.1481E+03	0.1500E+03
		VVH= 0.3500E+00	VH = 0.3500E+00		
0 5	CROSS-ANISOTROPIC	EH = 0.2500E+02	EV = 0.5000E+02	F = 0.3448E+02	INFINITE
		VVH= 0.4500E+00	VH = 0.4500E+00		

0DETAILS OF LOADS Equivalent Single Axle (press=0.75 MPa)- Full Axle (Austroads 2004)
0NUMBER OF LOAD GROUPS..... 1
0NUMBER OF NON-DEFAULT LOAD LOCATIONS.... 4

0 LOAD GROUP NO.	LOAD TYPE	RADIUS	REFERENCE STRESS	AVERAGE STRESS	LOAD/MOMENT PER LOCATION	POWER
1	(1) VERTICAL FORCE	0.9210E+02	0.7500E+00	0.7500E+00	0.1999E+05	0.0000E+00

NON-DEFAULT LOAD LOCATION DATA

LOAD GROUP NO.	X	Y	THETA (DEGREES)	SCALING FACTOR
1	-0.1650E+03	0.1000E+02	0.000	0.1000E+01
1	0.1650E+03	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01
1	0.1635E+04	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01
1	0.1965E+04	0.0000E+00	0.000	0.1000E+01

SOLUTION METHOD DETAILS
GAUSSIAN QUADRATURE USED FOR HANKEL TRANSFORM INTEGRATION.
0

LAYER INTERFACE	TYPE	ELASTIC CONSTANTS			THICKNESS
0 1 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2200E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00		0.6000E+02
0 2 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2500E+04	POISSONS RATIO = 0.4000E+00		0.1150E+03
0 3 ROUGH	ISOTROPIC	MODULUS = 0.2000E+04	POISSONS RATIO = 0.2000E+00		0.1750E+03
0 4 ROUGH	CROSS-ANISOTROPIC	EH = 0.5743E+02	EV = 0.1149E+03	F = 0.8509E+02	0.3000E+02
		VVH= 0.3500E+00	VH = 0.3500E+00		
0 5	CROSS-ANISOTROPIC	EH = 0.4863E+02	EV = 0.9727E+02	F = 0.7205E+02	0.3000E+02

```
ROUGH
                                        VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    6          CROSS-ANISOTROPIC       EH = 0.4118E+02   EV = 0.8236E+02   F  = 0.6101E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                        VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    7          CROSS-ANISOTROPIC       EH = 0.3487E+02   EV = 0.6974E+02   F  = 0.5166E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                        VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    8          CROSS-ANISOTROPIC       EH = 0.2952E+02   EV = 0.5905E+02   F  = 0.4374E+02          0.3000E+02
ROUGH
                                        VVH= 0.3500E+00   VH = 0.3500E+00
0    9          CROSS-ANISOTROPIC       EH = 0.2500E+02   EV = 0.5000E+02   F  = 0.3448E+02           INFINITE
                                        VVH= 0.4500E+00   VH = 0.4500E+00
0INTEGRATION RANGE.....................      3.78
1
                                                                                          ESA750-Full

                 ▯   ▯                                 Hë▯                                          ▯
                ▯                                    R   R    R    R    R    R           6     # 0$$$CALEND: DAY OF THE
 YEAR INPUT = $   ▯
      ▯  IS OUT OF RANGE.   7                 January  February March    April    May      June     July
 August   Septem
  berOctober  November December      Sunday    Monday   Tuesday  WednesdayThursday Friday   Saturday
  6   $   ▯        7   6   $   ▯   ▯   7          6    H ▯ $   ▯       H ▯ 7   6   H ▯ $   ▯       H ▯ $   ▯
     7   6   H ▯ $   ▯       7
        €   ▯                          ▯       €   ▯                   ÿÿ ▯   x   ▯
 ▯ ▯
    6   *  ▯▯   ▯   7   6   *  ▯▯
```

POINT NO.	COORDINATES X	Y	Z	L	DISPLACEMENTS UX	UY	UZ
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6000E+02	1	-0.9741E-02	-0.9552E-04	-0.5348E+00
0 2	0.1650E+03	0.0000E+00	0.6000E+02	1	-0.4814E-02	-0.1815E-03	-0.5595E+00
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.2660E-03	0.1766E-03	-0.5359E+00
0 4	0.1650E+03	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.1883E-02	0.5467E-04	-0.5455E+00
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3500E+03	3	0.1411E-01	0.5820E-03	-0.5275E+00
0 6	0.1650E+03	0.0000E+00	0.3500E+03	3	0.2365E-02	0.4194E-03	-0.5346E+00
0 7	0.0000E+00	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.2213E-01	0.6275E-03	-0.4943E+00
0 8	0.1650E+03	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.8337E-02	0.5049E-03	-0.5025E+00

POINT STRAINS NO.	COORDINATES X	Y	Z	L	NORMAL STRAINS XX	YY	ZZ	SHEAR XZ	YZ	XY
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6000E+02	1	0.9236E-04	0.2469E-04	-0.7085E-04	-0.7977E-06	-0.2592E-05	-0.2399E-05
0 2	0.1650E+03	0.0000E+00	0.6000E+02	1	-0.4307E-04	-0.2647E-04	0.1940E-03	0.1007E-04	-0.3290E-06	0.9935E-07
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1750E+03	2	0.8907E-05	-0.3514E-04	0.3485E-04	-0.9360E-06	-0.2567E-05	-0.1306E-05
0 4	0.1650E+03	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.2964E-04	-0.4164E-04	0.8355E-04	0.1887E-04	-0.6124E-06	-0.3265E-06
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.7155E-04	-0.1244E-03	0.5755E-04	-0.5062E-06	-0.9920E-07	-0.9927E-06
0 6	0.1650E+03	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.6792E-04	-0.1202E-03	0.5550E-04	0.9638E-06	-0.4785E-07	-0.8745E-06
0 7	0.0000E+00	0.0000E+00	0.5000E+03	9	-0.8731E-04	-0.1380E-03	0.2719E-03	-0.2525E-04	-0.2002E-05	-0.6484E-06
0 8	0.1650E+03	0.0000E+00	0.5000E+03	9	-0.7618E-04	-0.1348E-03	0.2622E-03	0.1395E-04	-0.1337E-05	-0.7597E-06

POINT STRESSES NO.	COORDINATES X	Y	Z	L	NORMAL STRESSES XX	YY	ZZ	SHEAR XZ	YZ	XY
0 1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6000E+02	1	0.2903E+00	0.1840E+00	0.3388E-01	-0.1254E-02	-0.4073E-02	-0.3770E-02
0 2	0.1650E+03	0.0000E+00	0.6000E+02	1	0.3233E+00	0.3494E+00	0.6958E+00	0.1583E-01	-0.5170E-03	0.1561E-03
0 3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1750E+03	2	0.4666E-01	-0.3199E-01	0.9299E-01	-0.1672E-02	-0.4584E-02	-0.2333E-02
0 4	0.1650E+03	0.0000E+00	0.1750E+03	2	-0.9146E-02	-0.3058E-01	0.1930E+00	0.3370E-01	-0.1094E-02	-0.5831E-03
0 5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.1961E+00	-0.2842E+00	0.1903E-01	-0.8436E-03	-0.1653E-03	-0.1655E-02
0 6	0.1650E+03	0.0000E+00	0.3500E+03	3	-0.1869E+00	-0.2739E+00	0.1884E-01	0.1606E-02	-0.7975E-04	-0.1458E-02
0 7	0.0000E+00	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.1133E-02	0.2591E-03	0.1422E-01	-0.8707E-03	-0.6902E-04	-0.1118E-04
0 8	0.1650E+03	0.0000E+00	0.5000E+03	9	0.1402E-02	0.3903E-03	0.1391E-01	0.4809E-03	-0.4609E-04	-0.1310E-04

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA