

TUGAS AKHIR

**EVALUASI TEBAL PERKERASAN LENTUR DENGAN
METODE BINA MARGA 2013 DAN METODE
MEKANISTIK-EMPIRIK MENGGUNAKAN
PROGRAM *KENPAVE*
PADA RUAS JALAN JOGJA–SOLO
(*EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT THICKNESS
BY USING BINA MARGA 2013 METHODS AND
MECHANISTIC-EMPIRIC METHODS BY USING
KENPAVE PROGRAM ON JOGJA–SOLO ROADS*)**

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



**Riska Intan Ramadhani
13.511.285**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI TEBAL PERKERASAN LENTUR DENGAN
METODE BINA MARGA 2013 DAN METODE
MEKANISTIK-EMPIRIK MENGGUNAKAN
PROGRAM *KENPAVE*
PADA RUAS JALAN JOGJA-SOLO
(*EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT THICKNESS
BY USING BINA MARGA 2013 METHODS AND
MECHANISTIC-EMPIRIC METHODS BY USING
KENPAVE PROGRAM ON JOGJA-SOLO ROADS*)**

Disusun oleh

Riska Intan Ramadhani
13.511.285

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji



Pembimbing

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 955110103

Penguji I

Ir. Subarkah., M.T.
NIK: 865110101

Penguji II

Berlian Kushari, S.T., M.Eng
NIK: 015110101

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 95110103

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Prrogram Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 5 Maret 2018
Yang membuat pernyataan,



Riska Intan Ramadhani
(13511285)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program KENPAVE pada Ruas Jalan Jogja-Solo*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan dan masukan-masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak dan Ibu Dosen Penguji, yang juga telah memberikan banyak masukan terhadap Tugas Akhir ini.
3. Bapak Berlian Kushari, S.T., M.Eng. selaku *Reviewer*, yang telah memberikan masukan-masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
5. Orangtua penulis, Bapak Budiman dan Ibu Nurchasanah, serta saudara penulis, Adhi Setia Fatahillah, Desty Umayyah Andriani, dan Miftah Arfadina Fitri yang telah memberikan dukungan terbesar, motivasi, semangat, serta do'a yang tidak pernah putus kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terimakasih atas kasih sayang dan segala hal yang berpengaruh besar terhadap kehidupan penulis selama ini.
6. Sahabat-sahabat penulis, Damar Wulandari, Nurul Annisa, Annisa Octaria Aminy, Putri Anggarini dan Dillah Nurfathiyah Mufti. Terimakasih atas

dukungan, kerjasama, dan bantuan-bantuan selama masa perkuliahan sampai penyelesaian Tugas Akhir ini.

7. Saudara seperkuliahan Teknik Sipil 2013, Anisa Pradnya, Astrid Nourmalita dan 13 others yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terimakasih atas bantuan, dukungan dan kerjasama dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Kakak-kakak yang banyak membantu selama masa perkuliahan dan penyelesaian Tugas Akhir ini, Widya Wulandari., S.T dan Rajulun Karim., S.T.
9. Teman spesial penulis, Fany Agriansyah R, terima kasih untuk segala dukungan, bantuan serta semangatnya, terima kasih untuk kalimat-kalimat serta nasihat-nasihat yang membangun kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Maret 2018

Riska Intan Ramadhani
13511285

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2013	5
2.2. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program <i>KENPAVE</i>	6
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2013	10

3.1.1.	Pemilihan Struktur Perkerasan	12
3.1.2.	Desain Pondasi Jalan	12
3.1.3.	Desain Tebal Perkerasan	13
3.2.	Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris	16
3.3.	Program <i>KENPAVE</i>	18
3.3.1.	Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan	19
3.3.2.	Program <i>KENLAYER</i>	23
3.3.3.	Pemodelan Kerusakan	25
BAB IV METODE PENELITIAN		28
4.1.	Pengumpulan Data	28
4.2.	Pengolahan dan Analisis Data	28
4.2.1.	Program <i>KENPAVE</i>	30
4.3.	Bagan Alir Penelitian	33
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		34
5.1.	Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2013	34
5.1.1.	Kondisi Lalu Lintas	34
5.1.2.	Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan	36
5.2.	Desain Tebal Perkerasan dengan Program <i>KENPAVE</i>	40
5.3.	Alternatif Tebal Lapis Perkerasan	49
5.4.	Pembahasan	52
5.4.1.	Tebal Perkerasan yang Diperoleh Menggunakan Bina Marga 2013	53
5.4.2.	Tegangan dan Regangan yang Terjadi (Kontrol dengan <i>KENPAVE</i>)	53
5.4.3.	Alternatif Desain Menggunakan Program <i>KENPAVE</i>	54

5.4.4. Perbandingan Metode Bina Marga 2013 dengan Metode Mekanistik-Empiris	55
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	65
6.1. Kesimpulan	65
6.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	10
Tabel 3.2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain	11
Tabel 3.3 Pemilihan Jenis Perkerasan	12
Tabel 3.4 Perkiraan Nilai <i>CBR</i> Tanah Dasar	13
Tabel 3.5 Desain Tebal Perkerasan Lentur	14
Tabel 3.6 Desain Tebal Perkerasan Lentur Alternatif	14
Tabel 3.7 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan	20
Tabel 3.8 Nilai <i>Poisson Ratio</i>	21
Tabel 3.9 Analisa Struktur Perkerasan	22
Tabel 5.1 Data Lalu Lintas Ruas Jalan Janti–Prambanan	34
Tabel 5.2 Data Lalu Lintas Rata-rata Ruas Jalan Jogja–Solo	34
Tabel 5.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)	35
Tabel 5.4 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana	36
Tabel 5.5 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan	37
Tabel 5.6 Desain Tebal Perkerasan Lentur yang Digunakan	38
Tabel 5.7 Rekap Parameter Tiap Lapis Perkerasan	39
Tabel 5.8 Data yang Dibutuhkan untuk <i>Input</i> ke Program <i>KENPAVE</i>	40
Tabel 5.9 Data <i>Input General</i>	41
Tabel 5.10 Data <i>Input Zcoord</i>	43
Tabel 5.11 Nilai <i>Vertical Strain</i> dan <i>Tangential Strain</i>	47
Tabel 5.12 Analisa Beban Lalu Lintas	49
Tabel 5.13 Rekapitulasi Alternatif Tebal Perkerasan	50
Tabel 5.14 <i>Vertical Strain</i> dan <i>Tangential Strain</i> pada Tebal Perencanaan	50
Tabel 5.15 Regangan pada Jenis Kerusakan	51
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban	52
Tabel 5.17 Perbandingan Parameter Desain	57
Tabel 5.18 Perbandingan Hasil Desain	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Prosedur Desain Metode Bina Marga 2013	15
Gambar 3.2	<i>Multi layered elastic system</i>	17
Gambar 3.3	Tampilan Awal Program <i>KENPAVE</i>	19
Gambar 3.4	Tampilan Layar <i>LAYERINP</i>	23
Gambar 3.5	Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia	24
Gambar 3.6	Prosedur Desain dengan Program <i>KENPAVE</i>	25
Gambar 4.1	Tampilan Menu <i>General</i>	30
Gambar 4.2	Tampilan Data <i>Input</i> pada Menu <i>Zcoord</i>	31
Gambar 4.3	Tampilan Data <i>Input</i> pada Menu <i>Layer</i>	31
Gambar 4.4	Tampilan Data <i>Input</i> pada Menu <i>Moduli</i>	32
Gambar 4.5	Tampilan Data <i>Input</i> pada Menu <i>Load</i>	32
Gambar 4.6	Bagan Alir Penelitian	33
Gambar 5.1	Tebal Perkerasan Lentur	39
Gambar 5.2	Tampilan Menu <i>LAYERINP</i>	41
Gambar 5.3	Data <i>Input</i> pada Menu <i>General</i>	42
Gambar 5.4	Titik Kerusakan yang Ditinjau	43
Gambar 5.5	Data <i>Input</i> pada Menu <i>Zcoord</i>	44
Gambar 5.6	Data <i>Input</i> pada Menu <i>Layer</i>	44
Gambar 5.7	Data <i>Input</i> pada Menu <i>Moduli</i>	45
Gambar 5.8	Data <i>Input</i> pada Menu <i>Load</i>	46
Gambar 5.9	Data <i>Input</i> pada Menu <i>NR or NPT</i>	47
Gambar 5.10	Regangan pada Jenis Kerusakan	51
Gambar 5.11	Konfigurasi Roda pada Tipikal Kendaraan Semi Trailer	57
Gambar 5.12	Prosedur Desain Bina Marga 2013	59
Gambar 5.13	Prosedur Desain Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program <i>KENPAVE</i>	60
Gambar 5.14	Alternatif Desain Tebal Perkerasan	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Lalu Lintas Ruas Janti-Prambanan	67
Lampiran 2	Data Pengujian <i>CBR</i>	68

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

STA	= Stasiun
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AC-WC	= <i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i> (Lapis permukaan)
AC-BC	= <i>Asphalt Concrete-Binder Course</i> (Lapis pondasi)
cm	= Sentimeter
m	= Meter
kg	= Kilogram
CTB	= <i>Cement Treated Base</i>
ESAL	= <i>Equivalent Standard Axle Load</i> (Ekuivalen Sumbu Tunggal Standar)
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
R	= Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
i	= Tingkat pertumbuhan tahunan (%)
UR	= Umur Rencana (tahun)
CESAL	= <i>Cumulative Equivalent Single Axle Load</i>
LHRT	= Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan
ESA	= <i>Equivalent Standard Axle</i>
VDF	= <i>Vehicle Damage Factor</i>
E	= Modulus Elastisitas (kPa)
μ	= Angka <i>Poisson's Ratio</i>
τ	= Tegangan geser
σ	= Tegangan normal
P	= Beban terpusat roda
kPa	= Kilo Pascal
Psi	= <i>Pound Per Square Inch</i> (Pon per inci persegi)
Inch	= Inci
Lbs	= <i>Pound</i> (Pon)

q	= Tekanan beban (kPa/Psi)
d	= Jarak antar roda ganda
ϵ_t	= Regangan tarik horisontal
ϵ_c	= Regangan tekan vertikal
N_f	= Jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol <i>fatigue cracking</i>
N_d	=Jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol <i>rutting</i> dan <i>permanent deformation</i>
TM	= <i>Traffic Multiplier</i>

ABSTRAK

Ruas Jalan Jogja-Solo termasuk Jalan Nasional dan berfungsi sebagai jalan arteri dengan panjang jalan ± 60 km dan merupakan bagian dari jalur segitiga emas JOGLOSEMAR. Dalam rangka meningkatkan dan mengembangkan kualitas jalan, maka perlu dilakukan pendekatan perencanaan dan desain perkerasan jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mendesain ulang tebal perkerasan lentur jalan Jogja-Solo dengan menggunakan dua metode yaitu metode empirik dan mekanistik-empirik. Metode empirik yang digunakan adalah metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik menggunakan Program *KENPAVE*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui tebal perkerasan berdasarkan Bina Marga 2013, mengetahui tegangan dan regangan yang dihasilkan oleh *KENPAVE* dan untuk mengetahui perbandingan konsep, parameter *input*, prosedur dan hasil tebal menurut kedua metode tersebut.

Perencanaan ini dilakukan pada ruas Jalan Nasional Jogja-Solo atau Ruas Janti-Prambanan. Pengumpulan data berupa data sekunder diperoleh dari kantor Bina Marga DIY pada tahun 2016. Pada penelitian ini tebal perkerasan direncanakan menggunakan metode empirik dengan Bina Marga 2013 yang dilakukan melalui prosedur yang telah disajikan pada Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013. Perencanaan selanjutnya menggunakan metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE* dengan menambahkan tiga alternatif tebal desain dari tebal perencanaan Bina Marga 2013 yang dikontrol oleh program *KENPAVE* untuk mengetahui tebal desain yang aman dan memenuhi syarat.

Analisis awal untuk perencanaan tebal perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2013 diperoleh hasil tebal perkerasan dengan lapis permukaan *AC-WC* sebesar 4 cm, *AC-BC* sebesar 15,5 cm, lapis pondasi atas menggunakan *CTB* sebesar 15 cm dan lapis pondasi bawah menggunakan LPA kelas A sebesar 15 cm. Dari desain tebal Bina Marga 2013 dikontrol menggunakan program *KENPAVE* dinyatakan aman dan mampu menahan beban sampai umur rencana. Dari ke empat desain yang dikontrol menggunakan program *KENPAVE* diperoleh tebal minimum yang aman dan dapat menahan beban selama umur rencana 20 tahun dengan tebal *surface* 20 cm, *base* 8 cm dan *sub base* 10 cm. Prediksi urutan kerusakan yang terjadi dari semua alternatif berdasarkan regangan yang terjadi adalah *rutting*, *fatigue cracking* kemudian *permanent deformation*. Perbedaan dari kedua metode tersebut berdasarkan konsep adalah pada metode Bina Marga 2013 hanya mengikuti panduan dari MDPJ No. 02/M/BM/2013 sedangkan pada program *KENPAVE* memperhitungkan tekanan ban, luas kontak area jarak ban, dan tebal lapis perkerasan. Berdasarkan prosedur, metode Bina Marga 2013 dapat digunakan secara praktis. Namun, akan lebih baik juga dikontrol menggunakan program *KENPAVE* karena dapat mengetahui keamanan desain dan kerusakan apa yang akan terjadi.

Kata kunci: Bina Marga 2013, Mekanistik-Empirik, *KENPAVE*, Perbandingan

ABSTRACT

Jogja-Solo Road's segment is a National Road and serves as arterial road with a road length about 60 km and is part of the golden triangle JOGLOSEMAR. In order to improve and develop road quality, it is necessary to approach the planning and design of pavement. This research was conducted to redesign the thickness of flexible pavement on Jogja-Solo road using two methods namely empirical and mechanistic-empirical method. The empirical method used is the Bina Marga 2013 method and the empirical-mechanical method using the KENPAVE Program. This research also aims to know the thickness of pavement based on Bina Marga 2013, knowing the stress and strain produced by KENPAVE and to know the comparison of concepts, input parameters, procedures, and thick results according to both methods.

Planning was done on the Jogja-Solo National Road or Janti-Prambanan Segment. Data collection is secondary data obtained from Bina Marga DIY office in 2016. In this research, pavement thickness is planned to use empirical method with Bina Marga 2013 which is done through the procedure which has been presented in Road Pavement Design Manual No. 02/M/BM/2013. Subsequent planning uses a mechanistic-empirical method using the KENPAVE program by adding three thick design alternatives from Bina Marga 2013 thickness controlled by the KENPAVE program to find out a safe and qualified design thickness.

Early planning analysis for pavement thickness planning using method 2013 was obtained with thickness of pavement with AC-WC surface layer of 4 cm, AC-BC of 15.5 cm, upper layer using CTB of 15 cm and bottom layer using LPA class A by 15 cm. From the thick design of Bina Marga 2013 controlled using the KENPAVE program is declared safe and able to withstand the load until the age of the plan. Of the four designs controlled using the KENPAVE program obtained a minimum thickness that is safe and can withstand loads during the life of the plan with a surface thickness of 20 cm, base 8 cm and sub base 10 cm. Predicted sequences damage that occurs from all alternatives based on the strain that occurs is rutting, fatigue cracking and permanent deformation. The difference between the two methods based on the concept is on the method of 2013 only following the guidance of MDPJ no. 02/M/BM/2013 while the KENPAVE program takes into account tire pressure, contact area of tire spacing, and pavement layer thickness. Based on the procedure, the Bina Marga 2013 method can be used practically. However, it would be better to be controlled using the KENPAVE program as it can know the design's security and what kind of damage will occur.

Keywords: *Bina Marga 2013, Mechanism-Empirical, KENPAVE, Comparison*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Jaringan jalan raya merupakan bagian penting dalam sektor perhubungan khususnya dalam prasarana transportasi darat untuk keseimbangan barang dan jasa. Keberadaan dan kondisi jalan raya yang baik sangat diperlukan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan transportasi darat guna menjangkau daerah terpencil dengan waktu yang singkat. Untuk dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada penggunaan jalan, maka konstruksi perkerasan jalan harus tersedianya jalan yang selalu rata dan konstruksi yang kuat.

Ruas Jalan Jogja-Solo termasuk Jalan Nasional dan berfungsi sebagai jalan arteri, panjang jalan ± 60 km merupakan bagian dari jalur segitiga emas JOGLOSEMAR (Jogja-Solo-Semarang). Secara umum dapat dikatakan sebagian besar jalan dalam kondisi mulus. Namun juga ditemui kondisi jalan yang bergelombang dan berlubang di beberapa titik. Mengingat Jalan Nasional Jogja-Solo adalah jalan penting yang menghubungkan antara kota Jogja dan kota Solo dengan arus lalu lintas yang tinggi dan beban lalu lintas yang besar, harus diimbangi dengan kondisi perkerasan jalan yang baik. Namun pada kenyataannya masih banyak dijumpai kerusakan pada permukaan Jalan Nasional Jogja-Solo yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna jalan sehingga diperlukan evaluasi terhadap kondisi jalan secara berkala untuk menentukan jenis pemeliharaan dan perawatan jalan yang tepat.

Dalam rangka meningkatkan dan mengembangkan kinerja jalan untuk pelaksanaan kegiatan pekerjaan konstruksi jalan guna menjamin kualitas perkerasan jalan, maka diperlukan pendekatan perencanaan dan desain perkerasan jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mendesain ulang tebal perkerasan lentur pada Jalan Nasional Jogja-Solo. Perhitungan tebal lapis perkerasan dengan

menggunakan metode analisa komponen Bina Marga tahun 2013 dan menggunakan program komputer *KENPAVE*.

Aji, dkk (2015) menyatakan “Bina Marga 2013 lebih baik karena lebih sedikit menggunakan asumsi-asumsi yang digunakan sebagai parameter desain”. Namun, berbeda dari pendapat Aris, dkk (2015) yang menyatakan bahwa “Bina Marga 2013 memiliki parameter desain yang sudah terencana sesuai dengan bagan desain sehingga, kurang memberikan kebebasan pada perencanaan untuk mendesain tebal perkerasan jalan”. Dari beberapa hasil penelitian yang telah ditelusuri, didapatkan tebal desain perkerasan menggunakan Bina Marga 2013 cenderung lebih tebal dari beberapa metode empiris seperti *AASHTO* 1993, Pt. T-01-2002-B, dan Bina Marga No. 001/BT/2010.

Dari perbedaan pendapat tersebut maka dalam penelitian ini digunakan metode mekanistik-empiris dengan metode empiris sebagai pendukung untuk mengetahui hasil desain dan parameter input yang tersedia pada Bina Marga 2013 menggunakan Program *KENPAVE*. Dalam penelitian ini program *KENPAVE* digunakan untuk mengetahui nilai tegangan, regangan dan lendutan yang terjadi pada jalan akibat beban lalu lintas. Program *KENPAVE* adalah program yang dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang P.E *Profesor Emeritus* dari *Civil Engineering University of Kentucky*.

KENPAVE sendiri merupakan program analisis untuk perkerasan yang berdasarkan pada metode mekanistik. Program *KENPAVE* memiliki keunggulan dari program lain diantaranya adalah program ini lebih *user friendly* dan dapat menganalisis perkerasan sampai 19 lapisan (Huang, 2004). Metode ini dipilih untuk mempermudah analisis dan untuk membandingkan hasil perhitungan dari kedua metode tersebut dengan menghitung ulang desain perkerasan baru menggunakan Bina Marga 2013 dan program *KENPAVE*.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Berapa tebal lapis perkerasan Jalan Jogja–Solo jika dihitung dengan metode Bina Marga 2013?

2. Berapa nilai tegangan dan regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas menggunakan program *KENPAVE*?
3. Berapa tebal lapis perkerasan Jalan Jogja–Solo jika dihitung dengan program *KENPAVE*?
4. Bagaimana perbandingan kedua metode dilihat dari konsep, parameter *input*, prosedur, dan hasil tebal lapisnya?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui tebal lapis perkerasan Jalan Jogja–Solo dari metode Bina Marga 2013.
2. Mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas.
3. Mengetahui tebal lapis perkerasan Jalan Jogja–Solo dari program *KENPAVE*.
4. Mengetahui perbandingan kedua metode dilihat dari konsep, parameter *input*, prosedur dan hasil tebal lapisnya.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat adanya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah alternatif pemilihan metode baru menghitung tebal perkerasan jalan.
2. Menambah pengetahuan informasi tentang metode baru analisis perkerasan menggunakan Bina Marga 2013.
3. Menambah pengetahuan tentang perhitungan tegangan dan regangan jalan dengan program *KENPAVE*.
4. Secara praktis dapat menjadi masukan pertimbangan kepada instansi terkait khususnya Satker Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah Provinsi DIY. Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional V Direktorat Jendral Bina Marga selaku pengelola pemeliharaan jalan nasional dalam merumuskan teknik dan pola penanganan kegiatan pemeliharaan jalan Jogja–Solo di Kabupaten Sleman.

1.5. Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang akan dibahas berdasarkan masalah yang ada adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian adalah ruas Jalan Nasional Jogja–Solo.
2. Perhitungan tebal perkerasan lentur jalan menggunakan metode Bina Marga 2013.
3. Perhitungan tegangan dan regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas di atasnya dengan program *KENPAVE*.
4. Data yang digunakan dalam analisis menggunakan data sekunder yang diperoleh dari kantor Bina Marga DIY pada tahun 2016.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2013

Alfianti dan Mahardi (2017) meneliti tentang analisis perbandingan perencanaan tebal lapis tambah dengan metode manual desain perkerasan Bina Marga 2013 dan *AASHTO* 1993 pada Ruas Jalan Kalianak Osowilangun, Kecamatan Benowo, Surabaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan perencanaan lapis tambah dan kebutuhan biaya lapis tambah metode Bina Marga 2013 dan *AASHTO* 1993 ruas jalan Kalianak Osowilangun. Pada STA 0+000 – 4+800 metode Bina Marga 2013 diperoleh ketebalan *AC-WC* sebesar 7 cm dan *AC-BC* sebesar 8 cm, sedangkan dengan metode *AASHTO* 1993 diperoleh ketebalan *AC-WC* sebesar 6 cm. Pada STA 4+900-11+400 metode Bina Marga 2013 diperoleh ketebalan *AC-WC* sebesar 7 cm dan *AC-BC* sebesar 6 cm, sedangkan dengan metode *AASHTO* 1993 diperoleh ketebalan *AC-WC* sebesar 6 cm.

Martedi (2013) meneliti tentang metode pelaksanaan lapis *overlay* pada proyek rehabilitasi minor Jalan Yogyakarta–Piyungan dengan Bina Marga 2013. Penelitian ini membandingkan pelaksanaan dalam proyek rehabilitasi minor Jalan Wonosari segmen Yogyakarta-Piyungan dengan perencanaan secara teori dengan metode Bina Marga 2013. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa terdapat perbedaan antara perencanaan dengan pelaksanaan yaitu dalam hal pemilihan penanganan kerusakan jalan. Dari hasil perhitungan menyatakan bahwa perbaikan kerusakan berupa rekonstruksi perkerasan dengan lapisan agregat kelas A 15 cm, agregat B 15 cm, *AC-BC* 4cm dan *AC-WC* 3 cm. Sedangkan dalam lapangan berupa *overlaynon* pengerjaan, durasi yang dibutuhkan dan anggaran yang tersedia.

Listyaningrum (2014) meneliti tentang perbandingan perencanaan tebal perkerasan lentur menggunakan Metode Analisis Komponen SKBI 1987 dengan

Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 serta perhitungan rencana anggaran biaya dan *time schedule*. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan perbandingan perencanaan tebal perkerasan jalan raya menggunakan Metode Analisis Komponen SKBI Tahun 1987 dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2013 Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga serta menghitung rencana anggaran biaya dan *time schedule* dari masing-masing hasil perencanaan tebal perkerasan. Dari hasil perhitungan berdasarkan Metode Analisis Komponen SKBI 1987 didapatkan hasil total tebal lapis perkerasan lentur yang dibutuhkan sebesar 75 cm. Untuk lapis permukaan digunakan *Laston MS 590 kg* yaitu 10 cm, untuk lapis pondasi atas digunakan batu pecah kelas A dengan tebal 20 cm dan untuk lapis pondasi bawah digunakan kelas B dengan tebal 45 cm. Sedangkan total tebal perkerasan yang dibutuhkan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 sebesar 47,5 cm. Untuk lapisan permukaan digunakan *Laston MS 590 kg* yaitu 17,5 cm, untuk lapis pondasi atas digunakan *Cement Treated Base (CTB)* dengan tebal 15 cm dan untuk lapis pondasi bawah digunakan batu pecah kelas A dengan tebal 15 cm. Sehingga total tebal lapis tambahan (*overlay*) perkerasan lentur yang dibutuhkan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 sebesar 20 cm.

2.2. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE

Dinata (2017) mengevaluasi tebal perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 1987, *AASHTO* 1993 dan menggunakan program *KENPAVE* pada Jalan Karangmojo-Semin Sta. 0+000 sampai Sta. 4+500. Pada penelitian ini didapatkan respon tegangan dan regangan maksimum penyebab *fatigue cracking* sebesar 0,000408 dan *rutting* sebesar 0,00138 dengan analisa tebal perkerasan dengan metode Bina Marga 1987 dan penyebab *fatigue cracking* sebesar 0,000322 dan *rutting* sebesar 0,00134 dengan analisa tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993. Tebal perkerasan lentur yang direncanakan dengan kedua metode tersebut menghasilkan jumlah repetisi beban dengan beban lalu lintas rencana $2,0 \times 10^6$ *ESAL* lebih besar dari jumlah repetisi beban rencana, sehingga jalan tersebut akan mengalami kemungkinan kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* sebelum umur rencana habis jika tidak dilakukan pemeliharaan yang baik.

Fadhlan (2013) melakukan penelitian tentang evaluasi perencanaan tebal perkerasan metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan menggunakan program *KENPAVE*. Penelitian ini menggunakan variasi pada beban lalu lintas rencana dan variasi *CBR* tanah dasar. Dari hasil evaluasi didapat bahwa jumlah repetisi beban yang dihasilkan tebal perkerasan yang direncanakan dengan metode empiris Bina Marga sangat dipengaruhi oleh ketebalan setiap lapisan perkerasan, semakin tebal lapisan perkerasan semakin besar jumlah repetisi beban, karena pada metode mekanistik program *KENPAVE* tebal perkerasan sangat mempengaruhi jumlah repetisi beban.

Perbandingan penelitian terdahulu tentang bina marga 2013 dan program *KENPAVE* disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Martedi (2013)	Listyaningrum (2014)	Alfianti dan Marhadi (2017)	Fadhlan (2013)	Dinata (2017)	Ramadhani (2017)
Judul Penelitian	Metode Pelaksanaan Lapis <i>Overlay</i> Pada Proyek Rehabilitas Minor Jalan Yogyakarta-Piyungan dengan Bina Marga 2013	Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisis Komponen SKBI 1987 dengan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 serta Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dan <i>Time Schedule</i>	Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Tambah dengan Metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2013 dan <i>AASHTO</i> 1993 pada Ruas Jalan Kalianak Osowilangun, Kec. Benowo, Surabaya	Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan Menggunakan Program <i>KENPAVE</i>	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 1987, <i>AASHTO</i> 1993 dan Menggunakan Program <i>KENPAVE</i> Pada Jalan Karangmojo-Semin Sta. 0+000 sampai Sta. 4+500	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik-Empiris pada Ruas Jalan Jogja-Solo
Tujuan Penelitian	Membandingkan pelaksanaan proyek rehabilitas minor dengan perencanaan menggunakan Bina Marga 2013	Membandingkan perencanaan tebal perkerasan jalan menggunakan SKBI 1987, Bina Marga 2013 serta menghitung RAB dan <i>Time Schedule</i>	Membandingkan perencanaan lapis tambah dan kebutuhan biaya menggunakan Bina Marga 2013 dan <i>AASHTO</i> 1993	Mengevaluasi tebal perkerasan dengan Bina Marga Pt T-01-2002-B dan Program <i>KENPAVE</i>	Mengevaluasi tebal perkerasan menggunakan Bina Marga 1987, <i>AASHTO</i> 1993 dan Program <i>KENPAVE</i>	Mengevaluasi tebal lapis perkerasan menggunakan Bina Marga 2013 dan metode mekanis empiris
Lokasi Penelitian	Yogyakarta - Piyungan	Sentolo-Pengasih-Waduk Sermo	Jalan Kalianak Osowilangun, Surabaya		Jalan Karangmojo-Semin	Jalan Jogja - Solo

Sumber : Martedi (2013), Listyaningrum (2014), Alfianti dan Marhadi (2017), Fadhlan (2013), Dinata (2017)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Martedi (2013)	Listyaningrum (2014)	Alfianti dan Marhadi (2017)	Fadhlan (2013)	Dinata (2017)	Ramadhani (2017)
Metode Penelitian	Bina Marga 2013	SKBI 1987 dan Bina Marga 2013	AASHTO 1993 dan Bina Marga 2013	Bina Marga Pt T-01-2002-B dan <i>KENPAVE</i>	Bina Marga 1987, AASHTO 1993 dan <i>KENPAVE</i>	Bina Marga 2013 dan mekanis empiris
Hasil Penelitian	Lapisan agregat kelas A 15 cm, agregat B 15 cm dan AC-BC 4cm, AC-WC 3cm	Total tebal lapis menurut SKBI 1987 sebesar 75cm dan 47,5cm menurut MDPJ 2013 serta tebal <i>overlay</i> 20 cm	AC-WC 7cm dan AC-BC 8cm menurut Bina Marga 2013. AC-WC 6cm menurut AASHTO 1993	Semakin tebal lapisan perkerasan semakin besar jumlah repetisi beban	<i>Fatigue cracking</i> 0,000408 dan <i>rutting</i> 0,00138 berdasarkan BM 1987. <i>Fatigue cracking</i> 0,000322 dan <i>rutting</i> 0,00134 untuk AASHTO 1993	

Sumber : Martedi (2013), Listyaningrum (2014), Alfianti dan Marhadi (2017), Fadhlan (2013), Dinata (2017)

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2013

Dalam perencanaan tebal lapisan perkerasan perlu adanya umur rencana jalan tersebut masih dapat dipakai. Umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai diperlukan perbaikan berat atau diberi lapis permukaan yang baru. Umur rencana perkerasan jalan barudapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jalan perkerasan	Elemen perkerasan	Umur rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir dan <i>CTB</i>	20
	Pondasi jalan	40
	Semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diizinkan sering ditinggalkan akibat pelapisan ulang, misal: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan	
	<i>Cement treated based</i>	
Perkerasan kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen dan pondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen	Minimum 10

Sumber : Bina Marga (2013)

Dalam mendesain suatu tebal lapis perkerasan lentur maka dibutuhkan data-data sebagai berikut.

1. Data lalu lintas seperti volume lalu lintas, lalu lintas harian rata-rata (LHRT), jenis kendaraan.
2. Faktor pertumbuhan lalu lintas, didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid, bila tidak ada maka Tabel 3.2 digunakan sebagai nilai minimum.

Tabel 3.2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain

	2011–2020	>2021–2030
Arteri dan perkotaan (%)	5	4
Kolektor rural (%)	3,5	2,5
Jalan desa (%)	1	1

Sumber : Bina Marga (2013)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \quad (3.1)$$

dengan :

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,

i = Tingkat pertumbuhan tahunan (%), dan

UR = Umur rencana (tahun).

3. Faktor ekuivalen beban, beban sumbu standar dan beban sumbu standar kumulatif. Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan dengan Persamaan (3.2) dan (3.3) berikut.

$$ESA = \sum_{\text{jenis kendaraan}} LRHT \times VDF \quad (3.2)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R \quad (3.3)$$

dengan :

ESA = Lintasan sumbu standar ekuivalen (*equivalent standard axle*) untuk 1 (satu) hari,

LRHT = Lintas harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu,

CESA = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana,

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas.

4. Material yang dipakai dilihat dari jenis material yang digunakan sebelumnya pada jalan tersebut.

5. Tipe perkerasan, pemilihan tipe perkerasan ditentukan sesuai estimasi lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan.

3.1.1. Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi sesuai estimasi lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Desain	ESA 20 tahun (juta) (pangkat 4 kecuali disebutkan lain)				
		0-0.5	0.1-4	4-10	10-30	>30
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	4			2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (desa dan daerah perkotaan)	4A		1.2			
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (pangkat 5)	3				2	
AC dengan CTB (pangkat 5)	3			2		
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5)	3A			1.2		
AC atau HRS tipis diatas lapis pondasi berbutir	3		1.2			
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau bantuan asli	Gambar 6	3	3			
Lapis Pondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1			
Perkerasan tanpa penutup	Gambar 6	1				

Sumber: Bina Marga (2013)

3.1.2. Desain Pondasi Jalan

Penetapan nilai kekuatan tanah dasar yang akurat dan desain pondasi yang tepat merupakan persyaratan utama untuk mendapatkan desain perkerasan yang baik. Kerusakan perkerasan banyak terjadi selama musim hujan. Kecuali jika tanah dasar dipadatkan seperti tanah asli pada daerah tanah lunak, maka daya dukung tanah dasar desain hendaknya didapat dengan perendaman selama 4 hari, dengan nilai *CBR* pada 95% kepadatan kering maksimum atau menggunakan

Bagan Desain 1. Pada Tabel 3.4 berikut adalah perkiraan nilai *CBR* tanah dasar menurut Bina Marga 2013 pada Bagan Desain 1.

Tabel 3.4 Perkiraan Nilai *CBR* Tanah Dasar

Jenis tanah	Posisi muka air	LHRT <2000			LHRT ≥ 2000		
		1	2	3	4	5	6
Lempung subur	Posisi	Semua galian kecuali terindikasi lain seperti kasus 3 dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli	Galian di zona iklim 1 dan semua timbunan dengan drainase sempurna (m ≥ 1) dan FSL > 1000 mm di atas muka tanah asli	Semua galian kecuali terindikasi lain seperti kasus 3 dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000mm di atas muka tanah asli	Galian di zona iklim 1 dan semua timbunan dengan drainase sempurna (m ≥ 1) dan FSL > 1000 mm diatas muka tanah asli		
Lempung kelanauan		4	4,3	5	4,5	4,8	5,5
Lempung kepasiran	20	4	4,3	5	4,5	5	6
	10	4	4,3	5	4,5	5	6
Lanau		1	1,3	2	1	1,3	2

Sumber : Bina Marga (2013)

Ada 4 kondisi lapangan yang mungkin terjadi dan harus dipertimbangkan dalam prosedur desain pondasi jalan antara lain sebagai berikut.

1. Kondisi tanah normal
2. Kondisi tanah dasar langsung di atas timbunan rendah (kurang dari 3 m) diatas tanah lunak aluvial jenuh
3. Kasus yang sama dengan kondisi 2 namun tanah lunak aluvial dalam kondisi kering
4. Tanah dasar di atas timbunan di atas tanah gambut

3.1.3. Desain Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan untuk perkerasan lentur dihitung berdasarkan nilai *CESAL* umur rencana kemudian tebal struktur perkerasan menggunakan Bagan Desain 3 pada Bina Marga 2013. Pada Tabel 3.5 dapat dilihat desain tebal perkerasan lentur. Pada Tabel 3.6 adalah desain untuk desain tebal perkerasan lentur berdasarkan Bagan Desain 3A pada Bina Marga 2013.

Tabel 3.5 Desain Tebal Perkerasan Lentur

		STRUKTUR PERKERASAN							
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
		Lihat desain 5 & 6				Lihat Bagan Desain 4 untuk opsi lebih murah			
	Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun korelasi di lajur desain (pangkat 5) (10^6 CESA ₅)	< 0,5	0,5-2	2-4	4-30	30-50	50-100	100-200	200-500
	Jenis permukaan berpegang	HRS, SS atau penmac	HRS (6)		AC _c atau AC _f	AC _c			
	Jenis lapis pondasi atas dan pondasi bawah	Lapis pondasi berbutir A			Cement Treated Base (CTB)				
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
	HRS WC	30	30	30					
	HRS Base	35	35	35					
	AC WC				40	40	40	50	50
Lapis beraspal	AC BC				135	155	185	220	280
CTB atau LPA kelas A	CTB				150	150	150	150	150
	LPA kelas A				150	250	250	150	150
	LPA kelas A, LPA kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10%	150	125	125					

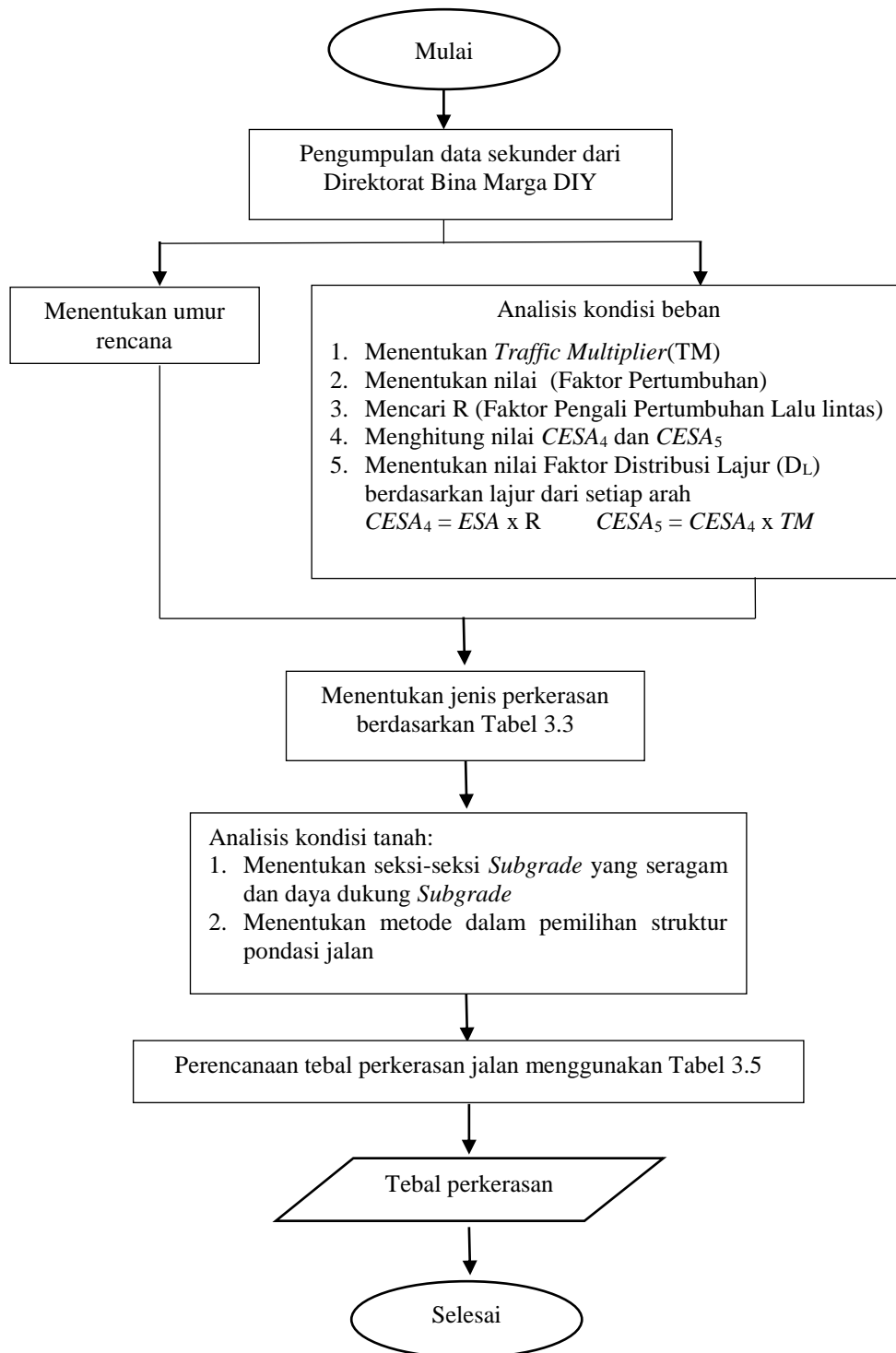
Sumber : Bina Marga (2013)

Tabel 3.6 Desain Tebal Perkerasan Lentur Alternatif

	STRUKTUR PERKERASAN			
	FF1	FF2	FF3	FF4
	ESA ₅ (juta) untuk UR 20 th di lajur desain			
	0.8	1	2	5
TEBAL LAPIS PERKERASAN (mm)				
AC WC	50	40	40	40
AC BC lapis 1	0	60	60	60
AC BC lapis 2/ AC base	0	0	80	60
AC BC lapis 3/ AC base	0	0	0	75
LPA kelas A lapis 1	150	150	150	150
LPA kelas A lapis 2/ LPA kelas B	150	150	150	150
LPA kelas A, LPA kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10%	150	150	0	0

Sumber : Bina Marga (2013)

Prosedur Desain Metode Bina Marga 2013 untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1Prosedur Desain Metode Bina Marga 2013

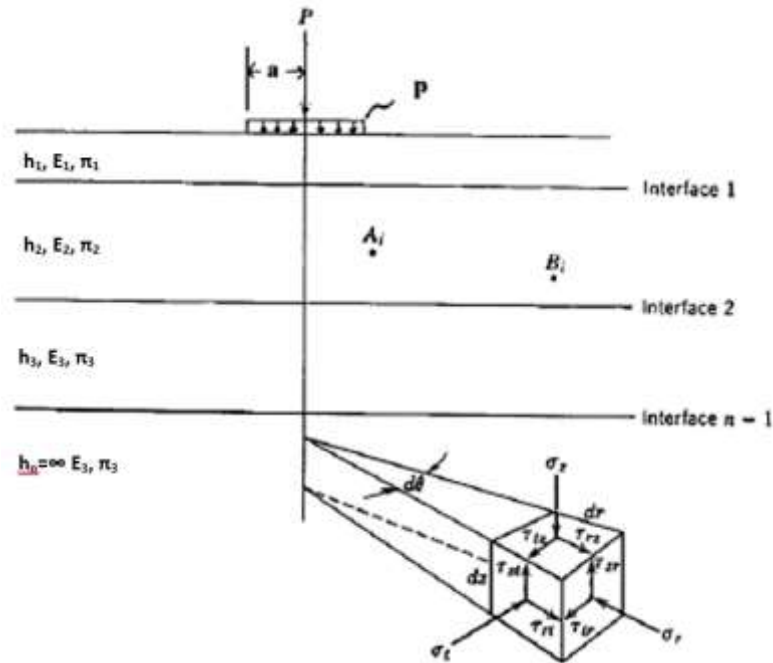
3.2. Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris

Metode ini merupakan metode pada prinsip perencanaan perkerasan jalan yang dikembangkan dari kombinasi metode mekanistik dan empiris. Masing-masing metode yang telah dijelaskan di atas memiliki kelemahan dalam penggunaannya dalam desain perkerasan.

Metode desain mekanistik-empiris didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan, seperti tegangan dan regangan. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan dari tes laboratorium dan data kinerja lapangan. Sangat perlu dilakukan pengamatan pada kinerja perkerasan karena teori saja belum terbukti cukup untuk desain perkerasan secara realistis (Huang, 2014).

Multilayer Elastic System (Sistem Multilapis Elastis) merupakan salah satu penyelesaian secara analisis pada metode mekanistik. Pada sistem struktur lapisan banyak ini berkenaan dengan tegangan, regangan dan lendutan yang merupakan respon dari perkerasan terhadap beban roda kendaraan yang melintas di atasnya. Dalam *multi-layered elastic system*, menggunakan beberapa asumsi dalam menghitung respon struktur seperti yang disebutkan di atas, antara lain sebagai berikut (Yodder dan Witczak, 1975).

1. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan dianggap homogen.
2. Contohnya sifat di titik Ai sama dengan sifat-sifat bahan di titik Bi (lihat Gambar 3.2).
3. Tiap lapisan mempunyai batas ketebalan, kecuali untuk lapisan paling bawah (tanah dasar memiliki ketebalan tidak terbatas) dan lebar setiap lapisan perkerasan dianggap tidak terbatas.
4. Tiap lapisan dianggap isotropik, yakni sifat bahan di suatu titik tertentu, titik Ai contohnya sama di setiap arah.
5. Friksi yang terjadi di antara lapisan yaitu di *interface*.
6. Gaya geser permukaan tidak terdapat di permukaan tersebut.
7. Sifat-sifat bahan diwakili oleh dua parameter struktural, yaitu *modulusresilient* (E atau MR) dan *RasioPoisson* (μ).



Gambar 3.2 *Multi layered elastic system*

(Sumber: Yoder dan Witczak, 1959)

Tegangan normal (σ_z , σ_r , σ_t) yang bekerja tegak lurus pada bagian permukaan. Tegangan geser (τ_{rt} , τ_{tr} , τ_{rz} , τ_{zr} , τ_{tz} , τ_{zt}) yang bekerja sejajar permukaan.

Dalam kondisi keseimbangan statis diperlihatkan bahwa tegangan geser yang bekerja pada tiap-tiap permukaan adalah sama besar yaitu τ_{rt} , τ_{tr} , τ_{rz} , τ_{zr} , τ_{tz} , τ_{zt} . Dalam kondisi tersebut, maka dapat dikatakan bahwa resultan tegangan geser sama dengan nol. Regangan yang terjadi dirumuskan pada Persamaan 3.4 sampai 3.6 berikut.

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu(\sigma_t + \sigma_z)] \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma_t - \mu(\sigma_z + \sigma_r)] \quad (3.6)$$

dengan :

P = beban terpusat roda,

hn = ke dalaman masing-masing lapisan,

- E = modulus elastisitas bahan tiap lapisan,
 μ = nilai banding *poisson* tiap lapis,
 A_i, B_i = titik-titik pada lapis yang ditinjau,
 σ = tegangan normal, dan
 τ = tegangan geser.

3.3. Program *KENPAVE*

Program *KENPAVE* merupakan *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. *Software* ini ditulis dalam bahasa pemrograman *VisualBasic* dan dapat dijalankan dengan versi *Windows 95* atau di atasnya.

Software ini terbagi dalam empat program, yaitu *LAYERINP*, *KENLAYER*, *SLABINP* dan *KENSLAB*. *LAYERINP* dan *KENLAYER* merupakan program analisis untuk perkerasan lentur yang berdasarkan pada teori sistem lapis banyak, sedangkan *SLABINP* dan *KENSLAB* merupakan program analisis untuk perkerasan kaku yang berdasarkan metode elemen hingga.

Penelitian ini menggunakan program *KENPAVE* bagian *KENLAYER* yaitu program analisis yang menghitung sistem banyak lapis (*multi layers*) pada perkerasan lentur. Program ini cukup interaktif dan *userfriendly*. Program ini bisa digunakan untuk menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan perkerasan akibat beban tertentu.

Pada tampilan awal program *KENPAVE* ditunjukkan pada Gambar 3.3 terdiri dari dua menu pada bagian atas dan 11 menu bagian bawah. Tiga menu pada bagian kiri digunakan untuk perkerasan lentur, dan lima menu pada bagian kanan untuk perkerasan kaku, dan lainnya untuk tinjauan umum.



Gambar 3.3Tampilan Awal Program *KENPAVE*

(Sumber : Huang dalam Fadhlán, 2014)

Dalam permodelan lapis perkerasan jalan dengan model lapisan elastis ini diperlukan data *input* untuk tegangan dan regangan pada struktur perkerasan dan respon terhadap beban. Parameter-parameter yang digunakan sebagai berikut.

1. Parameter setiap lapisan
 - Parameter lapisan yang dimaksud antara lain adalah sebagai berikut.
 - a. Modulus elastisitas
 - b. *Poisson's ratio*
2. Ketebalan setiap lapisan
3. Kondisi beban

3.3.1. Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan

1. Parameter setiap lapis
 - a. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda. Hampir semua bahan elastis yang artinya dapat kembali ke bentuk aslinya setelah diregangkan atau ditekan. Modulus elastisitas biasa disebut juga *Modulus Young* dan dilambang dengan E.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.7)$$

dengan :

E = Modulus Elastisitas (Psi atau kPa),

σ = Tegangan (kPa), dan

ε = Regangan.

Modulus elastisitasnya untuk suatu benda mempunyai batas regangan dan tegangan elastisitasnya. Batas elastisitasnya suatu bahan bukan sama dengan kekuatan bahan tersebut menanggung tegangan atau regangan, melainkan suatu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya. Untuk nilai modulus elastisitas untuk beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement-treated granular base</i>	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	$7 \times 10^6 - 14 \times 10^6$
<i>Cement aggregate mixture</i>	$5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	$35 \times 10^5 - 7 \times 10^6$
<i>Asphalt treated base</i>	$7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$	$49 \times 10^5 - 3 \times 10^6$
<i>Asphalt concrete</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$	$14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$
<i>Bituminous stabilizied mixture</i>	$4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	$28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$
<i>Lime stabilizied</i>	$2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$	$14 \times 10^4 - 49 \times 10^4$
<i>Unbound granular materials</i>	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 315 \times 10^3$
<i>Fine grained or natural subgrade materials</i>	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$

Sumber : Huang (2004)

b. *Poisson's Ratio*

Salah satu parameter penting yang digunakan dalam analisa elastis dari sistem perkerasan jalan adalah *paisson's ratio* yang merupakan angka perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal

(*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Nilai *poisson ratio* disajikan pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Nilai Poisson Ratio

Materials	Nilai v	v tipikal
<i>Hot mix asphalt</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Portland cement concrete</i>	0,15 – 0,20	0,15
<i>Untreated granular material</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Cement-treated granular material</i>	0,10 – 0,20	0,15
<i>Cement-treated fine-grained material</i>	0,15 – 0,35	0,25
<i>Lime-stabilized material</i>	0,10 – 0,25	0,20
<i>Lime-flyash mixture</i>	0,10 – 0,15	0,15
<i>Loose sand / silty sand</i>	0,20 – 0,40	0,30
<i>Dense sand</i>	0,30 – 0,45	0,35
<i>Fine-grained soil</i>	0,30 – 0,50	0,40
<i>Saturated soft clay</i>	0,40 – 0,40	0,45

Sumber: Huang (2004)

2. Ketebalan Setiap Lapis Perkerasan

Ketebalan setiap lapis perkerasan diperlukan dalam teori elastis lapis banyak sebagai *input* dalam penyelesaian menggunakan program. Ketebalan setiap lapis dalam satuan mm atau *inch*.

3. Kondisi Beban

Data ini terdiri dari data beban roda, P (kN/Lbs), tekanan ban, q (Kpa/Psi) dan khusus untuk sumbu roda belakang, jarak antara roda ganda, d (mm/inch). Nilai q dan d pada prinsipnya dapat ditentukan sesuai dengan data spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan. Adapun nilai P dipengaruhi oleh barang yang diangkut oleh kendaraan sehingga pada sumbu roda belakang dan sumbu depan berbeda. Analisa struktural perkerasan yang akan dilakukan pada langkah selanjutnya juga memerlukan jari-jari bidang kontak, a (mm/inch) antara roda bus dan permukaan perkerasan yang dianggap berbentuk lingkaran. Radius kontak dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 berikut.

$$a = \sqrt{\frac{p}{\pi x q}} \quad (3.8)$$

dengan :

- a = jari-jari bidang kontak(mm),
- p = beban kendaraan (KN/lbs), dan
- q = tekanan beban(Kpa/Psi).

Nilai yang akan dihasilkan dari permodelan lapis perkerasan dengan sistem lapis banyak adalah nilai tegangan, regangan dan lendutan.

- a. Tegangan, yaitu berupa intensitas internal di dalam struktur perkerasan pada berbagai titik dengan satuan (N/m², Pa, atau Psi)
- b. Regangan, menyatakan sebagai rasio perubahan bentuk dari bentuk asli (mm/mm atau in/in), karena regangan di dalam perkerasan nilainya sangat kecil maka dinyatakan dalam *microstrain* (10⁻⁶)
- c. Defleksi/lendutan, adalah perubahan linier dalam suatu bentuk dinyatakan dalam satuan panjang (µm atau inch atau mm)

Dengan menggunakan *KENPAVE* akan mempermudah perhitungan tegangan, regangan, dan lendutan di berbagai titik pada struktur perkerasan. Namun, ada beberapa titik atau lokasi penting yang biasa digunakan dalam analisa perkerasan yang disajikan pada Tabel 3.9 berikut.

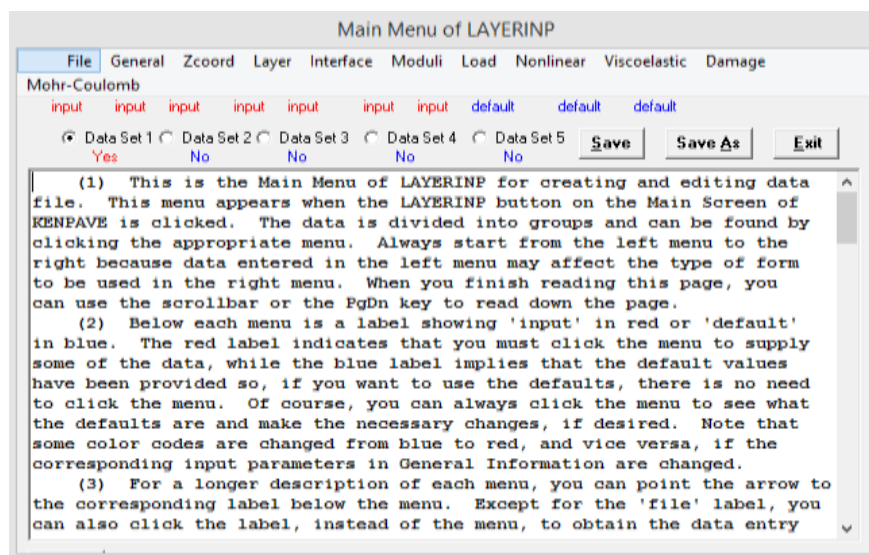
Tabel 3.9 Analisa Struktur Perkerasan

Lokasi	Respon	Analisa Struktur Perkerasan
Permukaan perkerasan	Defleksi	Digunakan dalam desain lapis tambah
Bawah lapis perkerasan	Regangan tarik horizontal	Digunakan untuk memprediksi retak <i>fatigue</i> pada lapis permukaan
Bagian atas tanah dasar / bawah lapis pondasi bawah	Regangan tekan vertikal	Digunakan untuk memprediksi kegagalan <i>rutting</i> yang terjadi

Sumber : Fadhlani (2013)

3.3.2. Program *KENLAYER*

Program komputer *KENLAYER* ini hanya dapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan dan lapisan kaku. Dasar dari program *KENLAYER* ini adalah teori sistem lapis banyak. *KENLAYER* dapat diaplikasikan pada perilaku lapis yang berbeda, seperti linier, *non* linier, atau *viskoelastis* dan juga empat jenis sumbu roda, yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu *triple*. Tampilan program *LAYERINP* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



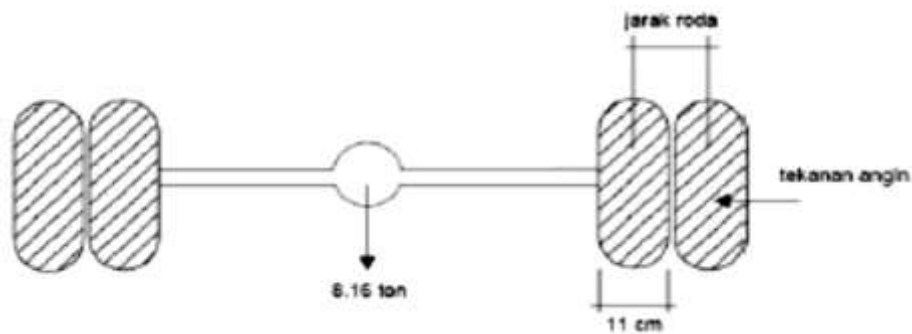
Gambar 3.4 Tampilan Layar *LAYERINP*

(Sumber : Dinata, 2017)

Data yang diperlukan untuk program *KENLAYER* adalah data struktur perkerasan jalan untuk menganalisa perencanaan tebal perkerasan jalan. Data tersebut antara lain tebal perkerasan jalan, modulus elastisitas, *poisson ratio*, dan kondisi beban.

Nilai tebal perkerasan didapatkan dengan perhitungan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 2013. Modulus elastisitas didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.7. untuk nilai *poisson ratio* didapat pada Tabel 3.8 sedangkan untuk nilai kondisi beban terdiri dari data beban roda (P), data tekanan ban (q), data jarak antar roda ganda (d) dan data jari-jari bidang kontak (a) yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.

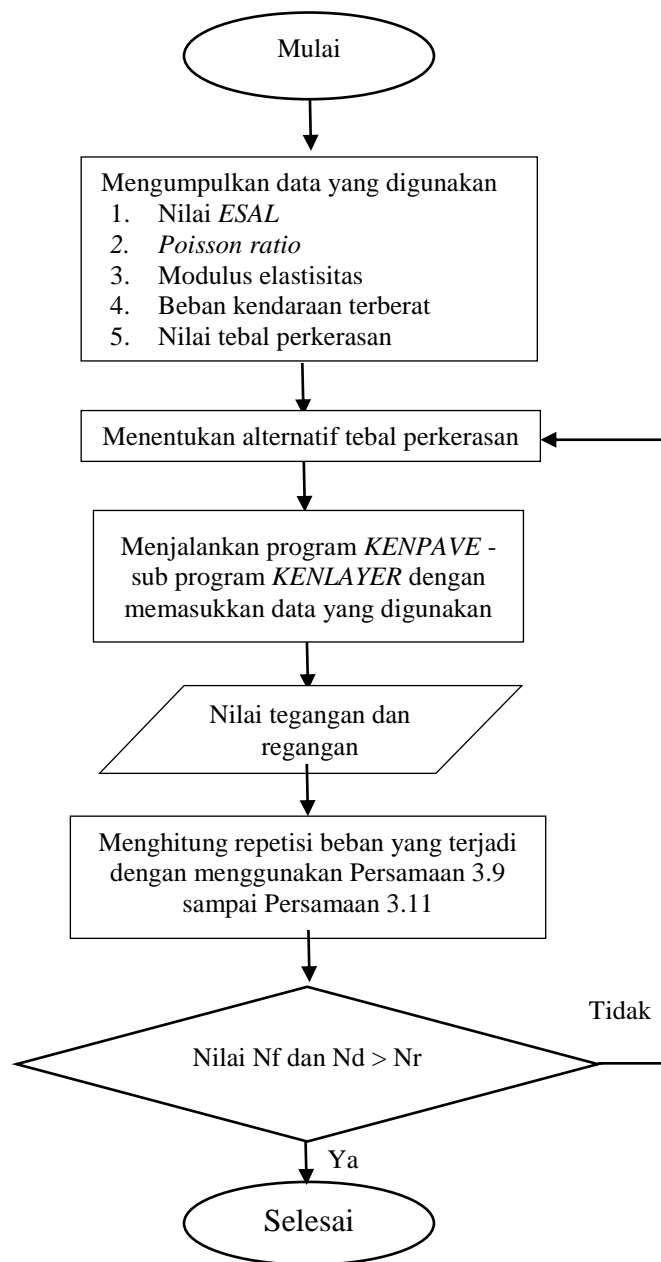
(Sumber:
Sukirman,
1993)



Set **Gambar 3.5 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia**

elah *input* data selesai, maka dilakukan *running* program KENLAYER. *Output* dari program ini berupa *vertical displacement*, *vertical stress*, *major principal stress*, *minor principal stress*, *intermediate principal stress*, *vertical strain*, *major principal strain*, *minor principal strain*, dan *horizontal principal strain*.

Dalam penelitian ini data yang digunakan yaitu *horizontal principal strain* dan *vertical principal strain* untuk menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan analisa kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*. Prosedur *KENPAVE* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6Prosedur Desain dengan Program *KENPAVE*

3.3.3. Pemodelan Kerusakan

Analisa kerusakan perkerasan yang akan dibahas adalah retak fatik (*fatigue cracking*) dan alur (*rutting*). Kerusakan perkerasan disebabkan oleh beban kendaraan dan pengaruh cuaca. Jenis kerusakan retak *fatigue* dilihat berdasarkan nilai regangan *horizontal* pada lapis permukaan aspal bagian bawah akibat beban

pada permukaan perkerasan dan jenis kerusakan *rutting* dilihat berdasarkan nilai regangan tekan di bagian atas lapis tanah dasar atau dibawah lapis pondasi bawah.

Berikut ini adalah persamaan dari kerusakan tersebut berdasarkan *Asphalt Institute*.

1. *Fatigue cracking*

Fatigue cracking diakibatkan oleh beban yang berulang yang dialami oleh lapis permukaan perkerasan jalan. Pembebanan ulang yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking* walaupun tegangan yang terjadi masih di bawahbatas *ultimate*-nya. Pada Persamaan 3.9 digunakan untuk mengetahui repetisi ban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854} \quad (3.9)$$

dengan:

N_f = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*,

ϵt = regangan tarik horizontal di bagian bawah aspal, dan

$|E^*|$ = modulus dinamis dari campuran beton aspal.

2. *Rutting*

Alur yang terjadi pada lapis permukaan jalan, merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapis beraspal, lapis agregat pondasi dan lapis tanah dasar. Nilai alur maksimum harus dibatasi agar tidak membahayakan bagi pengendara saat melalui lokasi *rutting* tersebut pada kecepatan tinggi. Jumlah nilai repetisi beban dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.10)$$

dengan:

- N_d = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting*,
 ε_c = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar,
 f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan
 f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

3. *Permanent Deformation*

Deformasi permanen dapat diketahui di setiap lapisan dari struktur, membuat lebih sulit untuk memprediksi dibanding retak lelah. Ukuran-ukuran kegagalan yang ada dimaksudkan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada suatu struktur perkerasan yang lemah. Ini adalah pada umumnya dinyatakan dalam kaitannya dengan menggunakan istilah regangan vertikal (ε_v) yang berada diatas lapis tanah dasar (Dinata, 2017). Jumlah nilai repetisi beban dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.11 berikut.

$$N_d = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.11)$$

dengan:

- N_d = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting*,
 ε_c = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar,
 f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan
 f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

Nilai f_4 dan f_5 mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Institute* 1970 dengan nilai $f_4 = 1,365 \times 10^{-9}$ dan $f_5 = 4,477$.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1. Pengumpulan Data

Data adalah sebuah sumber yang harus dikontrol dan dikelola menjadi suatu bentuk yang lebih berguna dan bermanfaat. Pengumpulan data untuk penelitian ini dilakukan dengan cara observasi. Data yang dikumpulkan ada 2 macam, yaitu data primer dan data sekunder. Dan dalam penelitian ini hanya menggunakan data sekunder. Data sekunder yang digunakan merupakan sumber data penelitian yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara. Data sekunder dalam tugas akhir ini diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta berupa data sebagai berikut.

1. Peta lokasi
2. Data lalu lintas rata-rata harian (LHR)
3. Data material perkerasan berupa data tanah dasar
4. Nilai *IRI (International Roughness Index)*
5. Nilai *SDI (Standart Disstress Index)*.

4.2. Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data adalah sebagai berikut.

1. Menentukan data karakteristik material untuk pemodelan struktur
 - a. Tebal lapisan tiap perkerasan.
 - b. Nilai modulus elastisitas (E) tiap lapis perkerasan.
 - c. Nilai *Poisson Ratio* tiap lapis perkerasan.
2. Menganalisis data untuk desain tebal lapis perkerasan
 - a. Menentukan periode waktu tinjauan analisis perkerasan.
 - 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).
 - d. Menentukan nilai-nilai *CESA_t* untuk umur desain yang telah dipilih

- e. Menentukan nilai *Traffic Multiplayer (TM)*
 - f. Menghitung *CESA₅*
 - g. Menentukan tipe perkerasan
 - h. Menentukan seksi-seksi *subgrade* yang seragam dan daya dukung *subgrade*
 - i. Menentukan struktur pondasi
 - j. Menentukan struktur perkerasan
3. Melakukan pemodelan struktur perkerasan dengan program *KENPAVE* dan perkerasan lentur dengan *KENLAYER* untuk beban yang terjadi di lapangan. Berikut adalah langkah-langkahnya.
- a. Meng-*input* informasi umum tentang struktur perkerasan jalan, yaitu: judul *file*, tipe material, analisa kerusakan, akurasi hasil analisa, jumlah *layer*, letak koordinat arah Z (kedalaman), tipe respon yang akan dianalisis, jenis ikatan lapisan, satuan yang digunakan.
 - b. Meng-*input* jumlah *point* yang akan di analisa dan jarak vertikal.
 - c. Meng-*input* tebal dan nilai *Poisson ratio* tiap lapis perkerasan
 - d. Meng-*input* jenis ikatan antar lapisan
 - e. Menentukan jumlah periode yang ditinjau dan nilai modulus elastisitas tiap *layer*.
 - f. Meng-*input* info data beban lalu lintas, yaitu beban roda, radius kontak pembebanan, nilai beban, jarak antar roda arah Y dan X dan titik koordinat tegangan-regangan yang ingin ditinjau.
 - g. Meng-*input* parameter lain seperti *non linear, viscoelastic, damage, Mohr-Coulomb* akan ikut nilai dengan sendirinya sesuai dengan *input* nilai sebelum data ini.
4. Menentukan hasil *outputdefleksi* dari *running* program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui nilai repetisi yang menyebabkan kegagalan struktur di lapangan.
5. Memprediksi penambahan tebal perkerasan akibat peningkatan kelas jalan dan mengambil kesimpulan dari nilai analisis data.

4.2.1. Program *KENPAVE*

Pada program *KENPAVE* digunakan menu *LAYERINP* dan *KENLAYER* untuk menganalisis perkerasan. Sedangkan untuk perkerasan kaku menggunakan menu *SLABSINP* dan *KENSLAB*.

Pada menu *General* berisi nilai-nilai berdasarkan data yang ada seperti Gambar 4.1.

General Information of LAYERINP		
TITLE		
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0.001
Number of layers	(NL)	3
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	0
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	1
Number of layers for top compression	(NLTC)	1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

(1) This form appears when the 'General' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. To read this textbox more easily with more lines in sight, you may want to resize this form by moving it up and dragging the bottom boundary down. If you want to use the PgDn key to scroll down the page, you must click this textbox first to make it active, as indicated by the blinking cursor. When creating a new file, this form must be entered first because some default values to be used in the other forms vary with the system of units, so they are generated after NUNIT is specified and this form activated. These default values are generated only once, i.e.

Gambar 4.1 Tampilan Menu *General*

(Sumber : Dinata, 2017)

Pada menu *Zcoord* pada Gambar 4.2 adalah nilai analisa perkerasan arah vertikal.

Z Coordinates of Response Points

Unit		in	
Point No.	ZC		
1	6		
2	18		

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not at the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. To read this textbox by the PgDn key, you have to click anywhere in the box to make it active. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press

Data Set 1

Print OK

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

Gambar 4.2 Tampilan Data *Input* pada Menu *Zcoord*

(Sumber : Dinata, 2017)

Pada menu *Layer* pada Gambar 4.3 nilai yang di-*input* adalah tebal perkerasan dan nilai *poisson ratio* dari masing-masing lapisan perkerasan.

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

Unit		in.	
Layer No.	TH	PR	
1	6	5	
2	12	5	
3	XXXXXXXXXX	5	

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you should click this textbox to make it active. When you finish reading, you should click the cell to make it active before typing in the data. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can

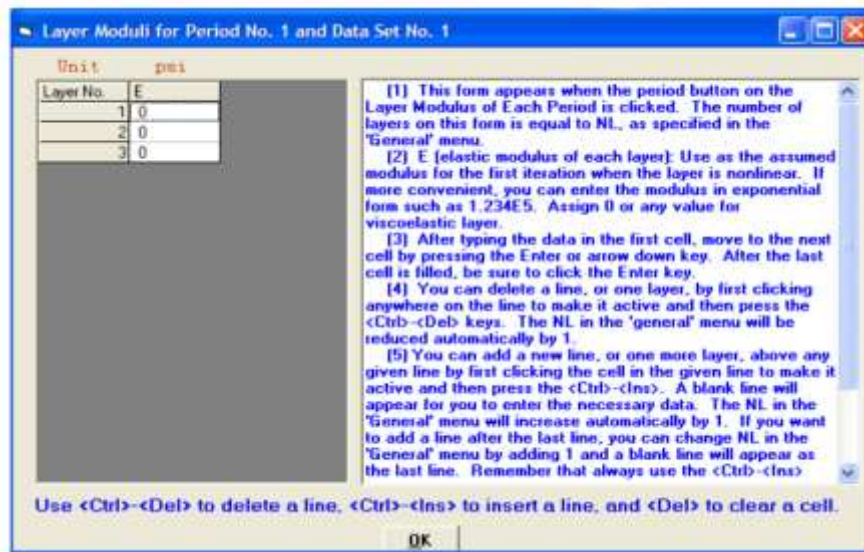
Data Set 1

Print OK

Gambar 4.3 Tampilan Data *Input* pada Menu *Layer*

(Sumber : Dinata, 2017)

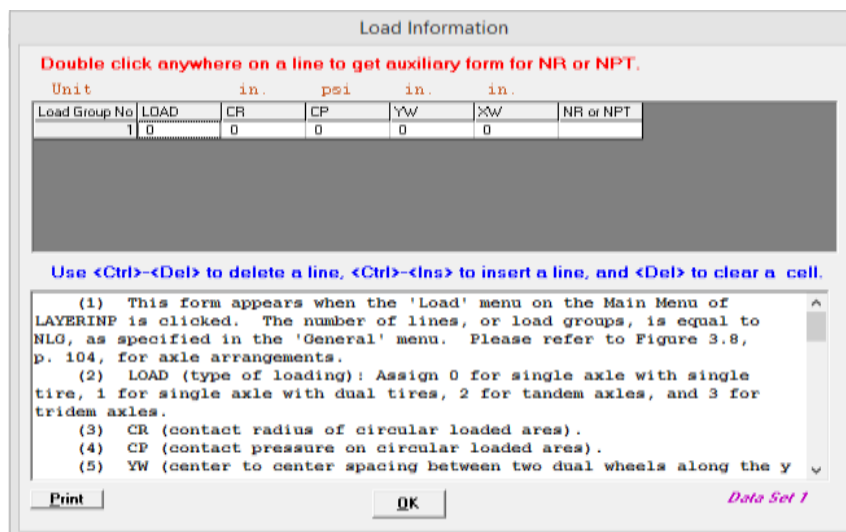
Pada menu *Moduli* pada Gambar 4.4 nilai yang di-*input* adalah nilai modulus elastisitas masing-masing lapisan perkerasan.



Gambar 4.4 Tampilan Data *Input* pada Menu *Moduli*

(Sumber : Dinata, 2017)

Pada menu *Load* pada Gambar 4.5 diisi berdasarkan hasil penelitian lalu yang ada dan beban yang digunakan.

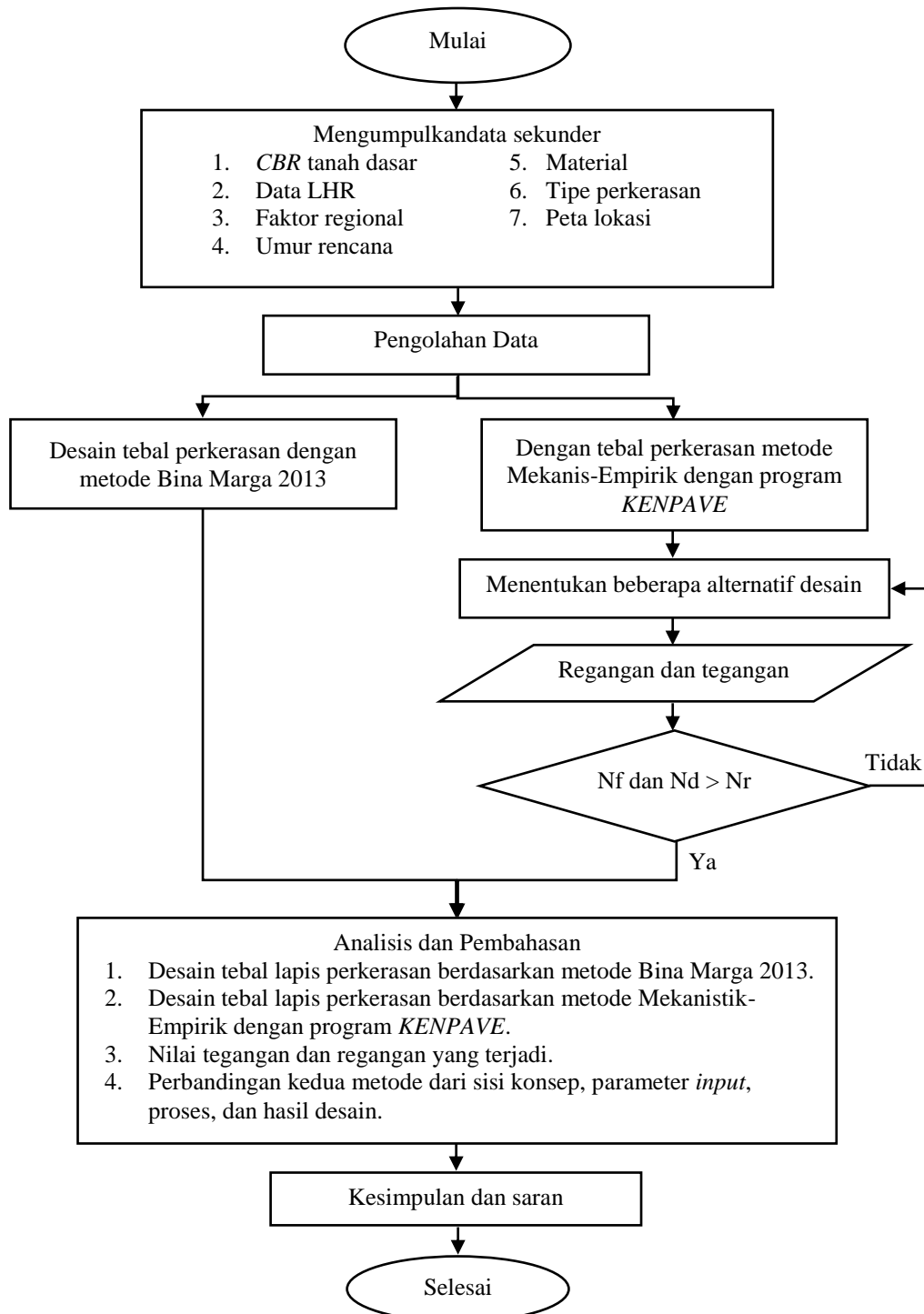


Gambar 4.5 Tampilan Data *Input* pada Menu *Load*

(Sumber : Dinata, 2017)

4.3. Bagan Alir Penelitian

Dari tahap-tahap penelitian yang telah diuraikan, dapat dilihat dalam bentuk diagram sebagaimana pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2013

5.1.1. Kondisi Lalu Lintas

Data lalu lintas pada ruas jalan Jogja–Solo adalah data sekunder yang didapat dari laporan satuan kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta tahun 2016. Jalan Jogja–Solo termasuk golongan ruas Janti–Prambanan. Adapun data lalu lintas ruas Janti–Prambanan yang disajikan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Data Lalu Lintas Ruas Jalan Janti–Prambanan

No.	Data	Keterangan
1	Jenis jalan	Arteri
2	Umur rencana (UR)	20 tahun (2016-2035)
3	Pertumbuhan lalu lintas (i)	4%
4	Distribusi kendaraan	2 jalur 4 lajur 2 arah

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta (2016)

1. Analisis Lalu Lintas

Data sekunder mengenai data distribusi kendaraan dan komposisi lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Data Lalu Lintas Rata-rata Ruas Jalan Jogja–Solo

No.	Jenis Kendaraan	LHR 2016 (Kend/1 Arah/Hari)
1	Mobil Penumpang, Angkutan Umum, <i>Pick-Up</i> , dll.	2193
2	Bus Besar Dan Kecil Golongan 5a	81
3	Bus Besar Dan Kecil Golongan 5b	169

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta (2016)

Lanjutan Tabel 5.2 Data Lalu Lintas Rata-rata Ruas Jalan Jogja–Solo

No	Jenis Kendaraan	LHR 2016
4	Truk 2as Golongan 6a2	106
5	Truk 2as Golongan 6b1.2	301
6	Truk 3as Golongan 7a1	123
7	Truk 3as Golongan 7b	15
8	Truk 3as Golongan 7c	9

Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta (2016)

Dari data di atas maka akan didapat nilai sebagai berikut.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam persen per tahun (%/tahun). Dengan menggunakan rumus dari Persamaan 3.1 maka didapatkan presentasi pertumbuhan lalu lintas pada umur 20 tahun sebesar 29,778%.

b. Rencana jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun

- 1) Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga ditetapkan dalam Tabel 5.3. beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana.

Tabel 5.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber: Bina Marga (2013)

- 2) Jenis kendaraan selalu mempunyai angka ekuivalen atau *VDF* (*Vehicle Damage Factor*) yang merupakan akumulasi angka ekuivalen dari sumbu depan dan sumbu belakang.

- 3) Nilai *Traffic Multiplier (TM)* untuk kondisi pembebanan berlebih di Indonesia adalah sekitar 1,8-2. Digunakan nilai *TM* 2 untuk desain.
- 4) Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan dengan Persamaan 3.2 dan 3.3.

Sehingga perhitungan rencana jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana

Jenis Kendaraan		<i>VDF</i>	D_1	LHR/hari	<i>ESA</i>	<i>R</i>	<i>ESA₄</i>	<i>ESA₅</i>
Gol 1, 2, 3, 4	Mobil penumpang	-	0,8	2.193	-	29,8	-	-
Gol 5a	Bus kecil	0,3	0,8	81	24,3	29,8	211.293,3	422.586,7
Gol 5b	Bus besar	1	0,8	169	169	29,8	1.469.488,6	2.938.977,2
Gol 6a.2	Truk 2 gandar sedang	0,8	0,8	106	84,8	29,8	737.353,9	1.474.705,7
Gol 6b1.2	Truk 2 gandar besar	1,6	0,8	301	481,6	29,8	4.187.607,8	8.375.215,6
Gol 7a1	Truk 3 gandar	7,6	0,8	123	934,8	29,8	8.128.272	16.256.543,9
Gol 7b	Truk 3 gandar	36,9	0,8	15	553,5	29,8	4.812.792,6	9.625.585,2
Gol 7c	Truk 3 gandar	13,6	0,8	9	122,4	29,8	1.064.292,4	2.128.584,7
<i>CESA</i> 20 tahun							20.611.099,6	41.222.199,2

5.1.2. Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan untuk perkerasan lentur dihitung berdasarkan nilai *CESAL* umur rencana kemudian tebal struktur perkerasan menggunakan

Bagan Desain 3 pada Bina Marga 2013 yang disajikan pada Tabel 3.5 pada bab sebelumnya. Solusi perkerasan ini dipilih berdasarkan pada pembebanan dan pertimbangan biaya terkecil.

Pemilihan jenis perkerasan dilihat dari nilai *ESA* 20 tahun (juta) yang disajikan pada Tabel 3.3 pada bab sebelumnya. Sehingga didapatkan jenis perkerasan yang dipilih untuk nilai *ESA* 20 tahun sebesar **20.611.099,577** adalah dengan struktur perkerasan *AC-WC* modifikasi atau *SMA* modifikasi dengan *CTB* (pangkat 5) dan dengan menggunakan Desain 3. Tabel 5.5 berikut adalah rincian pemilihan perkerasan dan perencanaan tebal perkerasan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.5 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan

Struktur Perkerasan	Desain	ESA 20 tahun (juta) (pangkat 4 kecuali disebutkan lain)				
		0 – 0.5	0.1 – 4	4 – 10	10 – 30	>30
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	4			2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (desa dan daerah perkotaan)	4A		1.2			
<i>AC WC</i> modifikasi atau <i>SMA</i> modifikasi dengan <i>CTB</i> (pangkat 5)	3				2	
<i>AC</i> dengan <i>CTB</i> (pangkat 5)	3			2		
<i>AC</i> tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5)	3A			1.2		
<i>AC</i> atau <i>HRS</i> tipis di atas lapis pondasi berbutir	3		1.2			
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau bantuan asli	Gambar 6	3	3			
Lapis Pondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1			
Perkerasan tanpa penutup	Gambar 6	1				

Sumber : Bina Marga (2013)

Tebal lapis perkerasan lentur diperoleh dari nilai *CESA5* sebesar **41.222.199,154 ESAL**. Berikut adalah tebal masing-masing lapis perkerasan yang dapat disajikan pada Tabel 5.6 sesuai dengan Bagan Desain 3 dari Bina Marga 2013.

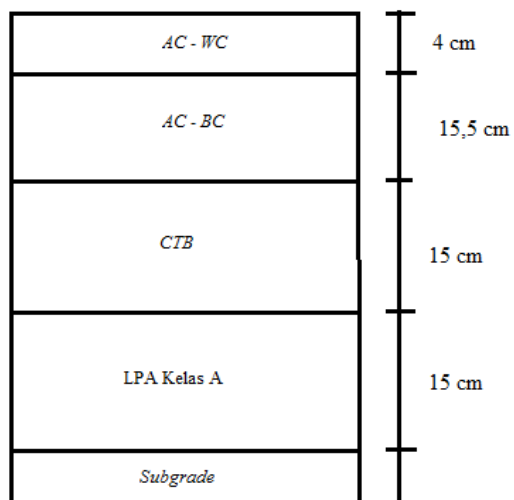
Tabel 5.6 Desain Tebal Perkerasan Lentur yang Digunakan

		STRUKTUR PERKERASAN							
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
		Lihat desain 5 & 6				Lihat Bagan Desain 4 untuk opsi lebih murah			
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun korelasi di lajur desain (pangkat 5) (10^6 <i>CESA_s</i>)		< 0,5	0,5-2	2 - 4	4 - 30	30 -50	50-100	100-200	200-500
Jenis permukaan berpengikat		HRS, SS atau penmac	HRS (6)		AC _c atau AC _f	AC _c			
Jenis lapis pondasi atas dan pondasi bawah		Lapis pondasi berbutir A			Cement Treated Base (CTB)				
		KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)							
HRS WC		30	30	30					
HRS Base		35	35	35					
AC WC					40	40	40	50	50
Lapis beraspal	AC BC				135	155	185	220	280
CTB	CTB				150	150	150	150	150
aatau LPA kelas A	LPA kelas A	150	250	250	150	150	150	150	150
LPA kelas A, LPA kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10%		150	125	125					

Sumber: Bina Marga (2013)

Dari tabel di atas maka didapatkan tebal lapis perkerasan lentur yang disajikan pada Gambar 5.1 berikut.

1. AC-WC= 40 mm
2. AC-BC= 155 mm
3. CTB = 150 mm
4. LPA kelas A = 150 mm



Gambar 5.1 Tebal Perkerasan Lentur

Pada lapis permukaan digunakan bahan *viskoelastik*, sedangkan untuk lapis pondasi dan tanah dasar diasumsikan berbahan linier elastik sehingga, parameter yang mempengaruhi hanya modulus elastis dan *Poisson's Ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekap Parameter Tiap Lapis Perkerasan

Surface AC-WC dan AC - BC	<i>Modulus Elastisitas</i>	1.200 Mpa	1.200.000 kPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4	HMA
Base	<i>Modulus Elastisitas</i>	500 Mpa	500.000 kPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,35	CTB
Sub base	<i>Modulus Elastisitas</i>	1.600 Mpa	1.600.000 kPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,4	LPA kelas A
Subgrade	<i>Modulus Elastisitas</i>	883,3 Mpa	883.300 kPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,45	-

5.2. Desain Tebal Perkerasan dengan Program *KENPAVE*

Setelah didapatkan nilai tebal perkerasan berdasarkan metode Bina Marga 2013, tebal perkerasan tersebut dievaluasi menggunakan program *KENPAVE* bagian *KENLAYER*. Data-data pendukung yang di-*input* untuk menjalankan program *KENLAYER* bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan, regangan dan lendutan.

Nilai regangan tarik *horizontal* dibawah lapis permukaan aspal dan regangan tekan vertikal dibawah lapis pondasi bawah digunakan untuk menghitung nilai repetisi beban. Nilai repetisi beban N_f dan N_d dihitung menggunakan Persamaan 3.9 sampai Persamaan 3.11.

1. Data yang dibutuhkan untuk mengevaluasi dengan program *KENPAVE*

Data yang dibutuhkan didapatkan berdasarkan nilai bahan dan hasil perhitungan tebal perkerasan yang memiliki struktur lapis banyak dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Data yang Dibutuhkan untuk *Input* ke Program *KENPAVE*

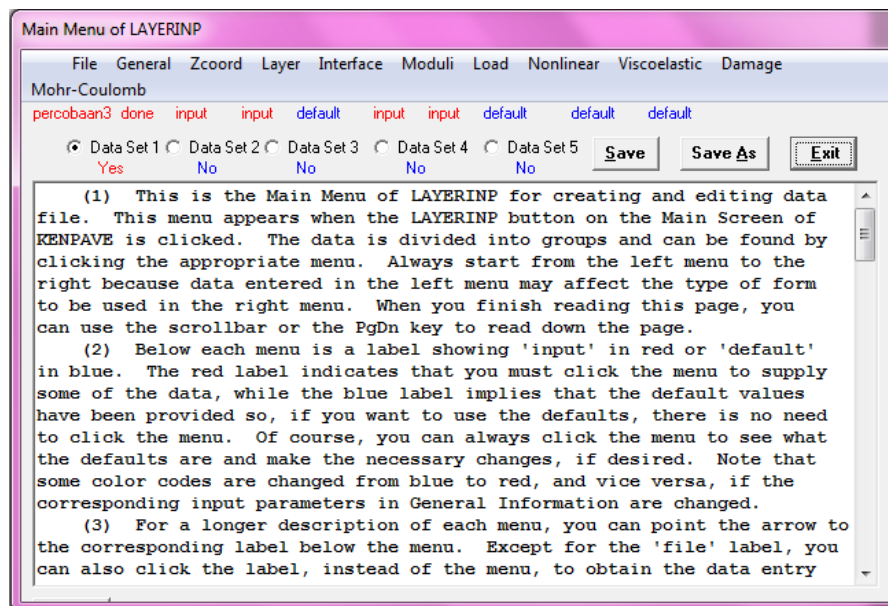
Lapis perkerasan	Modulus elastis, E (Kpa)	Poisson ratio, μ	Tebal perkerasan (cm)
<i>Surface</i>	1.200.000	0,4	20
<i>Base</i>	500.000	0.35	15
<i>Sub base</i>	1.600.000	0,4	15
<i>Subgrade</i>	883.300	0,45	∞

2. Analisis dengan program *KENPAVE*

Langkah evaluasi tebal perkerasan metode Bina Marga 2013 dengan program *KENPAVE* khususnya *KENLAYER* untuk perhitungan tegangan dan regangan perkerasan lentur sebagai berikut.

a. *LAYERINP*

Pertama melakukan *input* data, klik bagian menu *LAYERINP* seperti Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Tampilan Menu *LAYERINP*

Kemudian klik pada menu *File* lalu pilih *New* untuk memulai *input* data baru.

b. General

Pada menu *General* isi nilai-nilai berdasarkan data yang ada seperti Gambar 5.3 dan Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Data Input General

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Percobaan 5	Diisi sesuai kelompok beban yang dimasukkan
<i>MATL</i>	1	Pada analisis lapis perkerasan adalah linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
<i>NLG</i>	1	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi

Lanjutan Tabel 5.9 Data Input General

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>NL</i>	5	Jumlah lapisan perkerasan pada analisis adalah 5 (<i>surface, base, sub base, subgrade</i>)
<i>NZ</i>	7	Letak koordinat arah Z yang akan dianalisis
<i>ICL</i>	80	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
<i>NSDT</i>	9	Untuk vertikal <i>displacement</i> , nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	
<i>NLTC</i>	0	
<i>NUNIT</i>	1	Satuan yang digunakan adalah SI (Standar Internasional)

General Information of LAYERINP

TITLE | percobaan5

Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0.001
Number of layers	(NL)	4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	5
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	0
Number of layers for top compression	(NLTC)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	1

(1) This form appears when the 'General' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. To read this textbox more easily with more lines in sight, you may want to resize this form by moving it up and dragging the bottom boundary down. If you want to use the PgDn key to scroll down the page, you must click this textbox first to make it active, as indicated by the blinking cursor. When creating a new file, this form must be entered first because some default values to be used in the other forms vary with the system of units, so they are generated after NUNIT is specified and this form activated. These default values are generated only once, i.e.

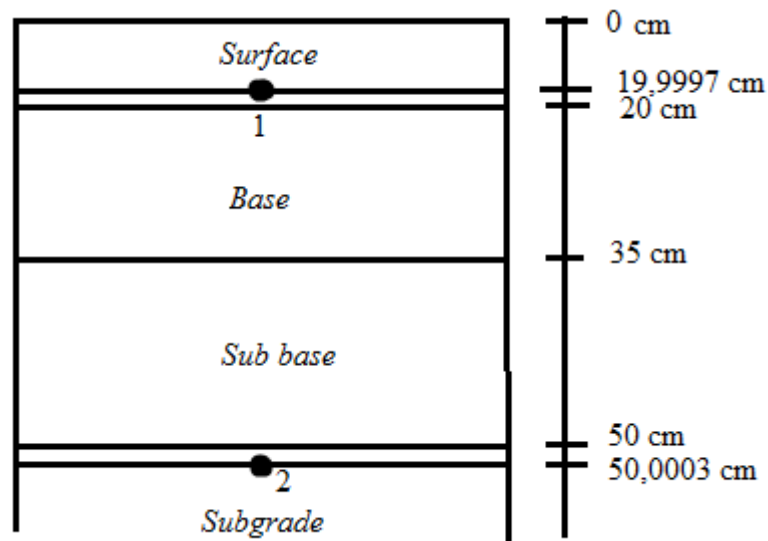
Gambar 5.3 Data Input pada Menu General

c. *Zcoord*

Jumlah point yang ada dalam menu *Zcoord* sama dengan jumlah NZ pada menu *General*. Letak titik kerusakan dilihat pada Gambar 5.4. Menu *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan data input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Data *Input Zcoord*

Istilah	Keterangan
Unit	Nomor titik sesuai dengan jumlah titik yang ingin dianalisis
ZC	Jarak vertikal atau jarak dalam arah Z di mana jarak tersebut yang akan dianalisis oleh program



Gambar 5.4 Titik Kerusakan yang Ditinjau

Titik 1 merupakan titik pada dasar lapisan *surface*, titik tersebut adalah letak kerusakan *fatigue cracking* (retak lelah). Sedangkan titik 2 adalah letak kerusakan *deformation*. Sehingga kedalaman yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 5.5.

Z Coordinates of Response Points

Unit	cm
Point No.	ZC
1	0
2	19.9997
3	20
4	50
5	50.0003

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not at the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. To read this textbox by the PgDn key, you have to click anywhere in the box to make it active. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press

Print Data Set 1

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 5.5 Data Input pada Menu Zcoord

d. *Layer*

Pada menu *layer* pada Gambar 5.6 nilai yang diisi adalah tebal perkerasan dan nilai rasio *poisson* dari masing-masing lapisan perkerasan.

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

Unit	cm	
Layer No.	TH	PR
1	20	.4
2	15	.35
3	15	.4
4	XXXXXXXXXX	.45

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you should click this textbox to make it active. When you finish reading, you should click the cell to make it active before typing in the data. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can

Print Data Set 1

OK

Gambar 5.6 Data Input pada Menu Layer

e. Moduli

Pada menu Moduli pada Gambar 5.7 nilai yang diisi adalah nilai modulus elastisitas masing-masing lapisan perkerasan.

Layer No.	E
1	1200000
2	500000
3	1600000
4	883300

(1) This form appears when the period button on the Layer Modulus of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu.

(2) E (elastic modulus of each layer): If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer. For a nonlinear layer, E is the assumed modulus for the first iteration and a convenient E to be assumed for both granular base and clayey subgrade is their K1 value

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

(4) You can delete a line, or one

Print Data Set 1

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 5.7 Data Input pada Menu Moduli

f. Load

Dalam perhitungan metode mekanistik-empirik dibutuhkan dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban, dan jarak ban pada roda ganda. Pada analisis ini nilai detail beban sumbu roda diambil berdasarkan Gambar 3.5 yang merupakan data kondisi beban berdasarkan data yang digunakan di Indonesia menurut Sukirman (1993) sebagai berikut.

1. Beban kendaraan sumbu standar 18.000 pon (8,16 ton),
2. Tekanan roda satu ban 0,55 Mpa = 5,5 kg/cm².
3. Jari-jari bidang kontak 110 mm atau 11 cm, dan
4. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda = 33 cm.

Pada menu *Load* pada Gambar 5.8 diisi berdasarkan hasil data sebagai berikut.

1. *Load* = 1 (*single axle*)

Digunakan beban sumbu standar 8160 kg.

2. $CR = 11$ cm (berdasarkan nilai jarak antar ban)
3. $CP = 550$ kPa (berdasarkan nilai tekanan ban)
4. $YW = 33$ cm
5. $XW = 0$ cm
6. Nr or $NPT = 3$

Nilai NPT adalah 3 karena ada 3 pengulangan beban dengan tinjauan berbeda pada Gambar 5.9.

Load Information

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit		cm	kPa	cm	cm	
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW	NR or NPT
1	1	11	550	33	0	3

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8, p. 104, for axle arrangements.

(2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.

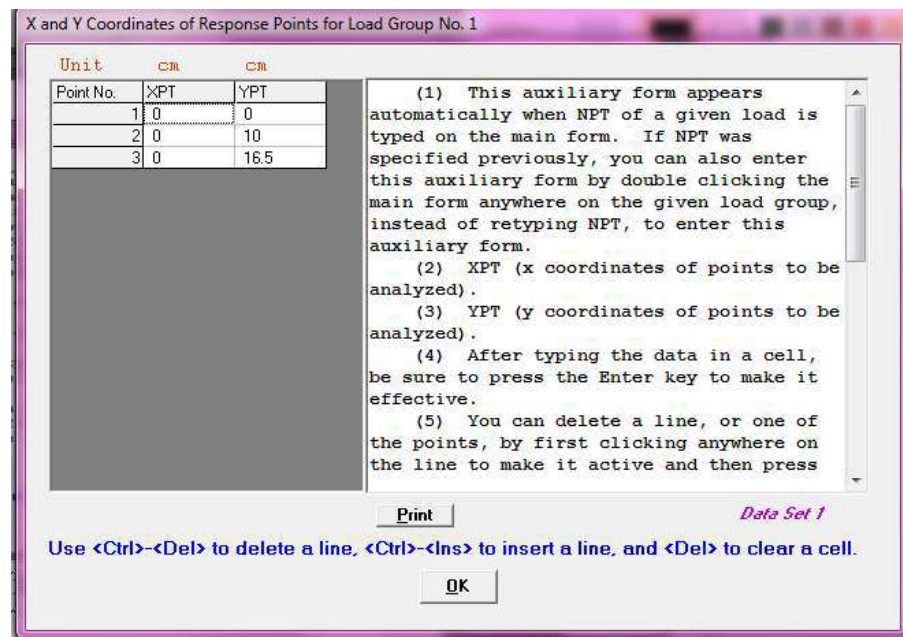
(3) CR (contact radius of circular loaded ares).

(4) CP (contact pressure on circular loaded ares).

(5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y

Print OK Data Set 1

Gambar 5.8 Data Input pada Menu Load



Gambar 5.9 Data Input pada Menu NR or NPT

Setelah selesai mengisi data, data disimpan dan kembali ke menu utama program *KENPAVE*. Pilih menu *KENLAYER* sehingga data dijalankan dan didapat nilai tegangan dan regangan. Hasil akhir dari program ini dibuka melalui menu *Editor* pada tampilan awal program *KENPAVE*. Hasil program dapat dilihat pada Lampiran.

3. Hasil *KENLAYER*

Adapun hasil rekapitulasi *output* dari semua pengulangan beban pada tebal perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Nilai *Vertical Strain* dan *Tangential Strain*

Pengulangan beban	<i>Tangential strain</i> di 19,9997 cm (kPa)	<i>Vertical strain</i> di 50,0003 cm (kPa)	<i>Vertical strain</i> di 50,0003 cm (kPa)
1	0,0001174	0,0001898	0,00005092
2	0,0001189	0,000155	0,00005617
3	0,0001165	0,000134	0,00005709
Maksimum	0,0001189	0,0001898	0,00005709

Dari data tersebut diperoleh nilai regangan tarik atau nilai *horizontal principal strain* di bawah lapis permukaan atau *HMA* sebesar **0,0001189** untuk analisa jenis kerusakan *fatigue cracking*. Untuk regangan tekan di bawah pondasi bawah atau nilai *vertical strain* sebesar **0,0001898** untuk jenis kerusakan *rutting* dan **0,00005709** untuk kerusakan *permanent deformation*.

Hasil tersebut dianalisis dengan menggunakan Persamaan 3.9 sampai Persamaan 3.11 dalam menentukan jumlah repetisi beban dengan menganalisis *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*.

Perhitungan nilai Nf dan Nd

Menghitung nilai Nf untuk *fatigue cracking* dengan Persamaan 3.9.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854}$$

$$N_f = 0,0796 (0,0001189)^{-3,921} |1200000|^{-0,854}$$

$$N_f = 1.254.596.962 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai Nd untuk *rutting* dengan Persamaan 3.10.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0001898)^{-4,477}$$

$$N_d = 62.690.325,93 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai Nd untuk *permanent deformation* dengan Persamaan 3.11.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f^5}$$

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,00005709)^{-4,477}$$

$$N_d = 13.583.551.662 \text{ ESAL}$$

Berdasarkan hasil analisa di atas, evaluasi tebal perkerasan dengan metode Bina Marga 2013 dengan program *KENPAVE* dilanjutkan sampai mendapatkan jumlah repetisi beban berdasarkan nilai tegangan dan regangan. Analisa yang dilakukan menggunakan nilai Nf dan Nd dari kedua metode di atas, sehingga analisa beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Analisa Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repetisi beban (ESAL)		Analisa beban lalu lintas
41.222.199,15 ESAL	Nf	1.254.596.962	Nf > Nr (Ya)
41.222.199,15 ESAL	Nd	62.690.325,9	Nd > Nr (Ya)
41.222.199,15 ESAL	Nd	13.583.551.662	Nd > Nr (Ya)

Dari hasil evaluasi pada Tabel 5.13 tebal perkerasan metode Bina Marga 2013 menggunakan program *KENPAVE*, dari perencanaan tersebut dengan beban lalu lintas rencana jumlah repetisi beban Nf, Nd *rutting*, dan Nd *deformation* lebih besar dari nilai Nr. Hal ini menyimpulkan bahwa tebal perkerasan yang direncanakan dengan metode Bina Marga 2013 mampu menahan beban lalu lintas yang direncanakan selama umur rencana.

Namun karena perbedaan dari nilai Nf dan Nd yang begitu jauh dari nilai Nr, maka dilakukan percobaan desain dengan berbagai variasi tebal untuk mendapatkan nilai Nf dan Nd minimum yang mampu menahan beban selama umur rencana.

5.3. Alternatif Tebal Lapis Perkerasan

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan metode mekanistik-empirik (Program *KENPAVE*) dan metode Bina Marga 2013 diperoleh hasil ketebalan lapis perkerasan sebagai berikut.

1. *AC WC* = 4 cm
2. *AC BC* = 15,5 cm
3. *CTB* = 15 cm
4. LPA Kelas A = 15 cm

Pada metode ini dilakukan percobaan desain tebal lapis perkerasan dengan melakukan alternatif tebal perkerasan untuk mendapatkan nilai minimum dari Nf dan Nd. Alternatif tebal lapis perkerasan disajikan pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Alternatif Tebal Perkerasan

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan				
	Bina Marga 2013	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
<i>Surface</i>	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	18 cm
<i>Base</i>	15 cm	10 cm	10 cm	8 cm	10 cm
<i>Sub base</i>	15 cm	15 cm	10 cm	10 cm	10 cm

Setelah data *input* selesai diproses, maka hasil tegangan dan regangan akan keluar. *Output* dari alternatif tebal perkerasan *KENLAYER* berdasarkan Tabel 5.13 disajikan dalam Tabel 5.14 berikut.

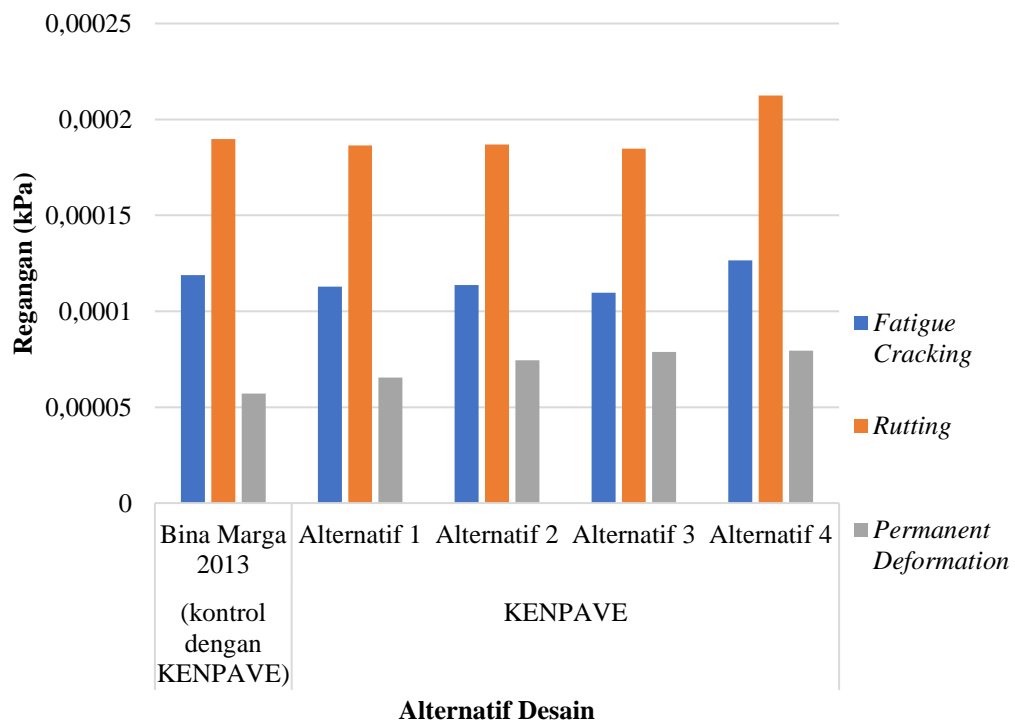
Tabel 5.14 Vertical Strain dan Tangential Strain pada Tebal Perencanaan

	Bina Marga 2013	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
<i>Tangential Strain (kPa)</i>	0,0001174	0,000112	0,0001128	0,0001092	0,0001265
	0,0001189	0,0001129	0,0001137	0,0001097	0,0001248
	0,0001165	0,00002477	0,0001112	0,0001071	0,0001206
Maksimum	0,0001189	0,0001129	0,0001137	0,0001097	0,0001265
<i>Vertical Strain (rutting) (kPa)</i>	0,0001898	0,0001865	0,0001869	0,0001847	0,0002125
	0,000155	0,0001499	0,0001504	0,0001469	0,0001594
	0,000134	0,0001283	0,0001289	0,000125	0,0001289
Maksimum	0,0001898	0,0001865	0,0001869	0,0001847	0,0002125
<i>Vertical Strain (permanent deformation)</i>	0,00005092	0,00005863	0,00006789	0,00007266	0,00007307
	0,00005617	0,00006447	0,00007384	0,0000783	0,00007893
	0,00005709	0,00006539	0,00007452	0,00007874	0,00007942
Maksimum	0,00005709	0,00006539	0,00007452	0,00007874	0,00007942

Dari hasil Tabel 5.14 di atas maka nilai N_f dan N_d dapat diperoleh dengan menggunakan rumus dari Persamaan 3.9 sampai Persamaan 3.11. Hasil perhitungan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Gambar 5.10. Sedangkan nilai N_f dan N_d pada Tabel 5.16.

Tabel 5.15 Regangan pada Jenis Kerusakan

Jenis Kerusakan	Bina Marga (kontrol dengan KENPAVE)	KENPAVE			
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
<i>Fatigue Cracking</i>	0,0001189	0,0001129	0,0001137	0,0001097	0,0001265
<i>Rutting</i>	0,0001898	0,0001865	0,0001869	0,0001847	0,0002125
<i>Permanent Deformation</i>	0,00005709	0,00006539	0,00007452	0,00007874	0,00007942



Gambar 5.10 Regangan pada Jenis Kerusakan

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban

Alternatif	Beban lalu lintas rencana (Nr)	Repetisi beban (ESAL)		Keterangan
Bina Marga 2013	41.222.199,15 ESAL	Nf	1.254.596.962	Nf>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	62.690.325,9	Nd>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	13.583.551.662	Nd>Nr (Ya)
1	41.222.199,15 ESAL	Nf	1.537.019.358	Nf>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	67.811.523,6	Nd>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	7.397.558.257	Nd>Nr (Ya)
2	41.222.199,15 ESAL	Nf	1.495.049.257	Nf>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	67.164.194,3	Nd>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	4.120.663.197	Nd>Nr (Ya)
3	41.222.199,15 ESAL	Nf	1.720.450.164	Nf>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	70.820.723,7	Nd>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	3.220.073.603	Nd>Nr (Ya)
4	41.222.199,15 ESAL	Nf	984.000.531,7	Nf>Nr (Ya)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	37.804.778,9	Nd<Nr (Tidak)
	41.222.199,15 ESAL	Nd	3.098.464.798	Nd>Nr (Ya)

5.4. Pembahasan

Dari analisis perhitungan perencanaan tebal lapis perkerasan lentur jalan dengan metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE*, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Tebal perkerasan yang diperoleh menggunakan Bina Marga 2013
2. Tegangan dan regangan yang terjadi (kontrol dengan *KENPAVE*)
3. Alternatif desain berdasarkan metode mekanistik-empiris (*KENPAVE*)
4. Perbandingan metode Bina Marga 2013 dengan metode mekanistik-empiris
 - a. Perbandingan konsep desain
 - b. Perbandingan parameter *input* desain
 - c. Perbandingan prosedur desain
 - d. Perbandingan hasil desain

5.4.1. Tebal Perkerasan yang Diperoleh Menggunakan Bina Marga 2013

Dalam perencanaan tebal lapis perkerasan jalan, metode Bina Marga 2013 menggunakan nilai *CESA* sebagai jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada setiap jalur dengan pertimbangan nilai *VDF* dan *Traffic Multiplier*. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan menggunakan metode ini dapat dikatakan praktis karena, hanya mengikuti prosedur yang sudah ada pada buku pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013. Dari analisis yang telah disampaikan pada sub bab sebelumnya diperoleh hasil tebal lapis total perkerasan sebesar 50 cm dengan lapis permukaan *AC-WC* sebesar 4 cm, dan lapis *AC-BC* sebesar 15,5 cm. Lapis pondasi atas (*CTB*) sebesar 15 cm dan lapis pondasi bawah (*LPA kelas A*) sebesar 15 cm.

5.4.2. Tegangan dan Regangan yang Terjadi (Kontrol dengan *KENPAVE*)

Dalam perencanaan tebal perkerasan dengan metode mekanistik-empiris menggunakan tebal perkerasan dari hasil perhitungan empiris Bina Marga 2013 yang dikontrol menggunakan program *KENPAVE*. Diperoleh nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa *fatigue cracking* sebesar 0,0001189 kPa pada kedalaman 19,9997 cm dibawah lapisan permukaan atau HMA. Penyebab kerusakan berupa *rutting* sebesar 0,0001898 kPa pada kedalaman 50,0003 dan *permanent deformation* sebesar 0,00005709 kPa pada kedalaman 50,0003.

Dilihat dari Gambar 5.10 maka dapat dikatakan bahwa kerusakan yang lebih dulu terjadi adalah jenis kerusakan *rutting* (alur). Hal ini juga dapat dilihat dari nilai regangan yang tinggi pada grafik yang disajikan pada Gambar 5.10. Sehingga, prediksi urutan kerusakan yang terjadi pada desain perkerasan menggunakan Bina Marga 2013 yang dikontrol menggunakan program *KENPAVE* adalah *rutting*, *fatigue cracking* kemudian *permanent deformation*.

Dilihat dari Tabel 5.16 untuk desain menggunakan Bina Marga 2013 diperoleh nilai repetisi beban yang lebih besar dari beban lalu lintas rencana sebesar 41.222.199,15 ESAL. Repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol kerusakan *rutting* sebesar 62.690.325,9 ESAL > 41.222.199,15 ESAL. Berdasarkan hasil tersebut, desain ini dikatakan aman. Namun, diprediksi akan

mengalami kerusakan *rutting* lebih dahulu karena nilai repetisi beban yang dihasilkan mendekati nilai beban lalu lintas rencana. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dinata (2017) juga diperoleh hasil nilai regangan penyebab kerusakan *rutting* lebih besar daripada regangan penyebab *fatigue cracking*.

Jika dengan tebal yang diperoleh dari desain menggunakan Bina Marga 2013 yang dikontrol menggunakan program KENPAVE tersebut dinyatakan aman dan mampu menahan beban selama umur pelayanan, maka bisa jadi desain tersebut mampu menahan beban lebih dari 20 tahun.

5.4.3. Alternatif Desain Menggunakan Program KENPAVE

Dari hasil tebal lapis perkerasan menggunakan Bina Marga 2013 yang dikontrol dengan KENPAVE dinyatakan bahwa desain tersebut aman dan mampu menahan beban selama umur rencana. Maka, dilakukan percobaan desain tebal lapis perkerasan dengan menambahkan alternatif desain menggunakan KENPAVE untuk mengetahui nilai tebal minimum lapis perkerasan yang mampu menahan beban selama umur rencana. Penambahan alternatif desain dilakukan dengan pengecilan tebal tiap lapis perkerasan dari tebal lapis Bina Marga 2013 seperti yang disajikan pada Tabel 5.13. Dari 4 alternatif yang diajukan, diperoleh tebal minimum yang dapat menahan beban selama umur rencana dengan tebal permukaan 20 cm, tebal pondasi atas sebesar 8 cm dan tebal pondasi bawah sebesar 10 cm.

Dari masing-masing alternatif diperoleh nilai regangan dan tegangan yang terjadi pada jenis kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*. Disajikan pada Gambar 5.10 bahwa dari semua alternatif yang diajukan menghasilkan nilai regangan tertinggi pada jenis kerusakan *rutting*. Sehingga, dapat dikatakan bahwa prediksi kerusakan yang terjadi lebih dahulu adalah jenis kerusakan *rutting*.

Dinata (2017) dan Fadhlán (2014) menyimpulkan penemuannya bahwa jumlah repetisi beban yang dihasilkan dipengaruhi oleh alternatif tebal perkerasan yang diajukan tersebut. Kesimpulan ini juga dikuatkan dengan bukti yang disajikan pada Tabel 5.16 dalam penelitian ini. Pada Tabel 5.16 dapat dilihat

bahwa semakin kecil tebal suatu lapis perkerasan, maka repetisi beban yang dihasilkan juga semakin kecil. Dan jika semakin besar tebal suatu lapisan perkerasan maka nilai repetisi beban yang dihasilkan juga semakin besar.

5.4.4. Perbandingan Metode Bina Marga 2013 dengan Metode Mekanistik-Empiris

1. Perbandingan Konsep Desain

Setiap negara memiliki metode empirik dalam menentukan tebal perkerasan lentur sesuai dengan kondisi negaranya. Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 yang digunakan merupakan pelengkap pedoman desain perkerasan dari Pd T-01-2002-B dan Pd T-14-2003. Pada metode Bina Marga 2013 faktor lingkungan yang mempengaruhi desain adalah intensitas curah hujan, iklim dan temperatur. Pembagian zona iklim untuk Indonesia beserta intensitas curah hujan dan temperatur perkerasan jalan sudah ditentukan berdasarkan pengamatan dan tercantum dalam Bina Marga 2013. Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) ini dipergunakan dengan pemeriksaan terhadap nilai *CBR* tanah dasar. Nilai *CBR* digunakan untuk menentukan desain pondasi yang dipakai.

Konsep desain metode mekanistik-empirik yang dikembangkan berdasarkan pengalaman penelitian dari jalan yang dibuat khusus untuk penelitian atau dari jalan yang sudah ada. Metode mekanistik-empirik didasarkan pada mekanika bahan, *input* pada metode ini tekanan ban roda, jarak antar ban, luas kontak area ban, nilai modulus elastisitas dan nilai *poisson's ratio*. *Output* yang diperoleh dari metode ini berupa tegangan dan regangan.

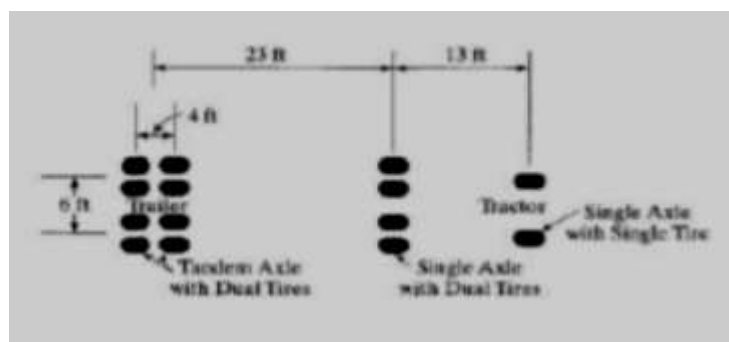
Dalam mendesain menggunakan metode mekanistik-empirik, desain struktur perkerasan awal diasumsikan terlebih dahulu bersama dengan nilai parameter lainnya seperti modulus elastisitas, *poisson's ratio* dan kondisi beban. Dengan menggunakan *software KENPAVE* maka dapat dihitung alternatif desain yang akan merespon beban dan tekanan lingkungan yang diciptakan. Hal ini memunculkan perkiraan tingkat kerusakan perkerasan dari waktu ke waktu dalam hal penurunan kualitas perkerasan. Pendekatan mekanistik

menjelaskan fenomena yang terjadi dengan mengacu pada penyebab fisik. Fenomena yang terjadi dalam struktur desain perkerasan adalah tegangan, regangan dan defleksi.

Perhitungan metode mekanistik ini umumnya berdasarkan metode sistem lapis banyak. Konsep ini berasumsi bahwa setiap lapisan memiliki sifat-sifat seperti homogen, isotropik, dan linier elastik yang berarti akan kembali ke bentuk aslinya ketika beban dipindahkan. Seiring dengan pendekatan mekanistik ini, unsur- unsur tersebut digunakan untuk menghitung nilai regangan, tegangan dan defleksi yang mengakibatkan kegagalan perkerasan. Hubungan antara fenomena fisik dan kegagalan perkerasan dijelaskan dengan persamaan empiris turunan yang menghitung jumlah beban siklus kegagalan (repetisi beban).

Perbedaan yang menonjol dari kedua metode ini adalah pada analisis lalu lintasnya. Pada metode Bina Marga 2013 hanya memperhitungkan nilai *CESA* sebagai jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada setiap lajur dengan pertimbangan nilai *VDF* dan *Traffic Multiplier*. Adapun pada metode mekanistik-empirik selain jumlah beban sumbu lalu lintasnya, juga memperhitungkan tekanan ban, luas kontak area ban dan jarak antar ban.

Perbedaan jenis kendaraan yang melewati ruas jalan menyebabkan kerusakan yang ditimbulkan tidak sama. Satuan standar *axle load* adalah beban gandar yang mempunyai daya rusak kepada konstruksi perkerasan sebesar 1 yaitu *single-axle load* sebesar 18000 lbs atau 18-kips atau 8,16 ton. Beban kendaraan/sumbu yang tidak 18-kip (80 KN) atau terdiri dari tandem atau tridem maka harus diubah menjadi 18-kip *single-axle load* dengan menggunakan *Equivalent Axle Load Factor (EALF)* (Huang,2004). Konfigurasi roda pada tipikal kendaraan semi trailer disajikan pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Konfigurasi Roda pada Tipikal Kendaraan Semi Trailer

(Sumber : Huang, 2004)

Karena jarak yang besar antara 2 as roda menyebabkan tegangan kritis dan tegangan tekan di bawah beberapa roda jadi sedikit berubah dan tidak jauh berbeda dengan gandar tunggal. Sehingga kerusakan yang diakibatkan oleh *single-axle load* hampir sama dengan kerusakan yang diakibatkan oleh beban tandem atau *tridem* (Huang, 2004).

2. Perbandingan Parameter Desain

Perbandingan parameter desain antara metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-epirik menggunakan program *KENPAVE* disajikan pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Perbandingan Parameter Desain

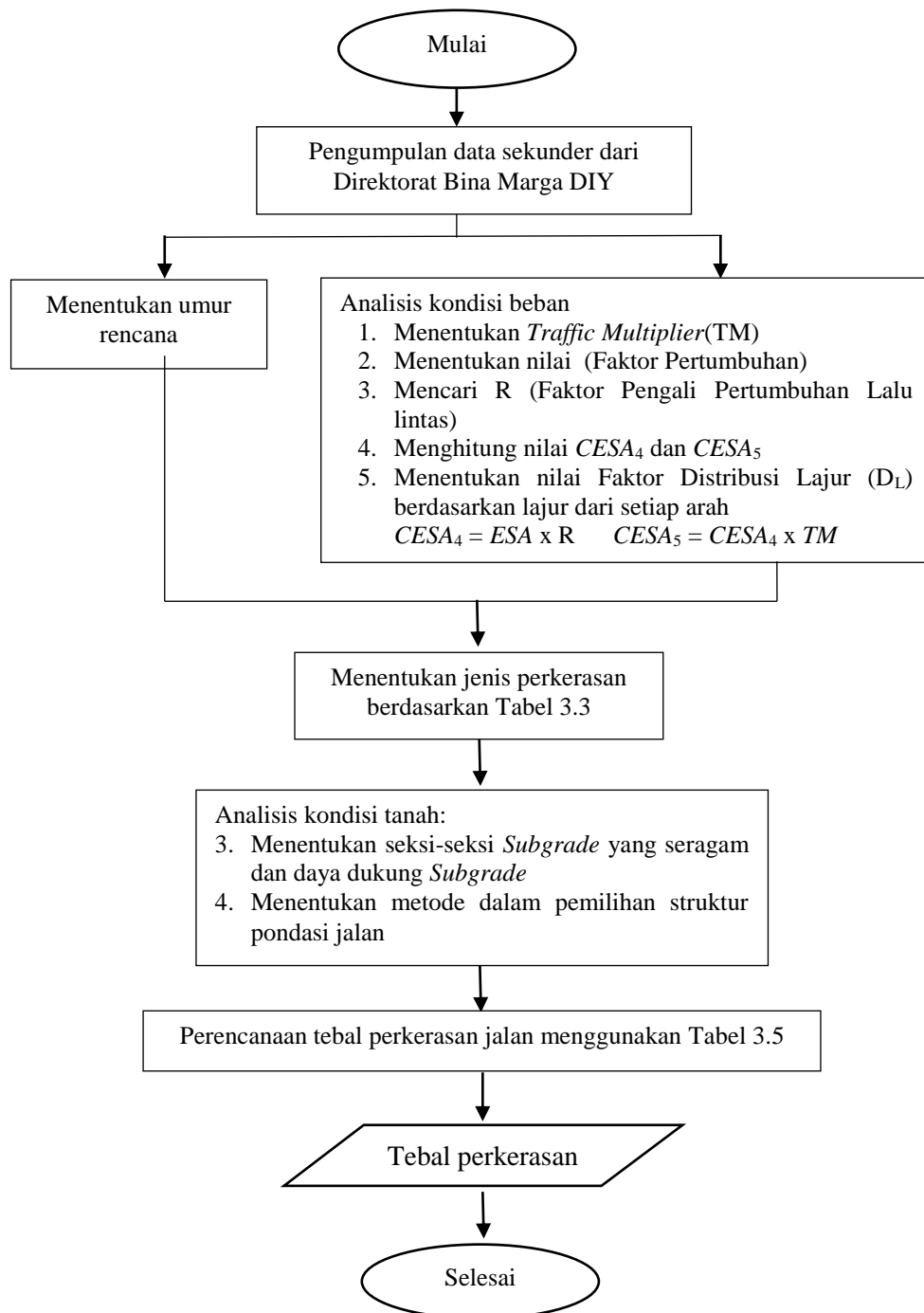
No.	Parameter	Bina Marga 2013	<i>KENPAVE</i>
1	Kondisi beban lalu lintas	Memperhitungkan nilai <i>CESA</i> sebagai jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada setiap jalur dengan pertimbangan nilai <i>VDF</i> dan <i>Traffic Multiplier</i> .	Memperhitungkan tekanan ban, luas kontak area ban, jarak antar ban dan jarak antar sumbu.
2	Parameter setiap lapis	Lapisan tanah dasar diperhitungkan berdasarkan <i>CBR</i> dalam kondisi 4 hari rendaman, pada nilai 95% kepadatan kering maksimum. Lapis permukaan dan lapis pondasi berdasarkan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas dan jenis tanah.	Menggunakan parameter modulus elastisitas, nilai <i>Poisson's Ratio</i> , tebal perkerasan tiap lapis dan kondisi beban untuk setiap lapis perkerasan. Menggunakan koordinat pada lapis perkerasan untuk mengetahui titik kerusakan <i>fatigue cracking</i> , <i>rutting</i> dan <i>deformation</i> .

Lanjutan Tabel 5.17 Perbandingan Parameter Desain

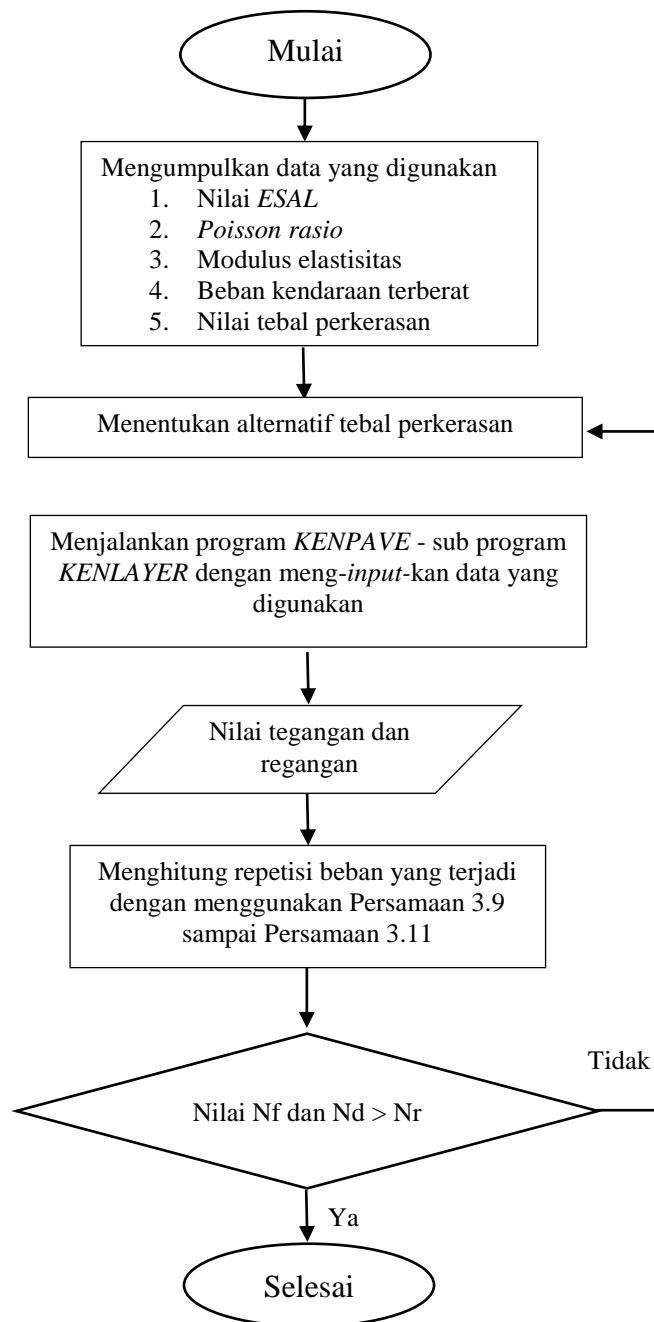
No.	Parameter	Bina Marga 2013	<i>KENPAVE</i>
3	Tebal perkerasan	Penentuan tebal perkerasan berdasarkan nilai dari <i>CESA₅</i> yang kemudian dicocokkan pada Tabel 3.5. Penentuan jenis perkerasan berdasarkan nilai dari <i>CESA₄</i> yang kemudian dicocokkan pada Tabel 3.3.	Menggunakan alternatif tebal perkerasan sehingga diperoleh batas tebal minimum yang mengalami kerusakan <i>fatigue cracking, rutting</i> maupun <i>deformation</i> . Menggunakan Persamaan 3.9 sampai 3.11 untuk memperoleh nilai <i>N_f</i> dan <i>N_d</i> dengan ketentuan nilai <i>N_f</i> dan <i>N_d</i> > <i>N_r</i> .

3. Perbandingan Prosedur Desain

Perbandingan antara metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE* berdasarkan prosedur desain dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13.



Gambar 5.12 Prosedur Desain Bina Marga 2013



Gambar 5.13Prosedur Desain Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program *KENPAVE*



4. Perbandingan Hasil Desain

Dari hasil analisis dengan metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE* maka diperoleh hasil sebagai berikut.

a. Metode Bina Marga 2013

Surface = 20 cm

Base = 15 cm

Sub base = 15 cm

Desain tebal lapis di atas aman dan mampu menahan beban selama umur rencana.

b. Metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE*

1) Alternatif 1

Surface = 20 cm

Base = 10 cm

Sub base = 15 cm

2) Alternatif 2

Surface = 20 cm

Base = 10 cm

Sub base = 10 cm

3) Alternatif 3

Surface = 20 cm

Base = 8 cm

Sub base = 10 cm

Pada alternatif 1 sampai dengan 3 dilakukan pengecilan tebal perkerasan sehingga diperoleh hasil bahwa tebal perkerasan pada alternatif 1 sampai dengan 3 masih aman dan mampu menahan beban selama umur rencana.

4) Alternatif 4

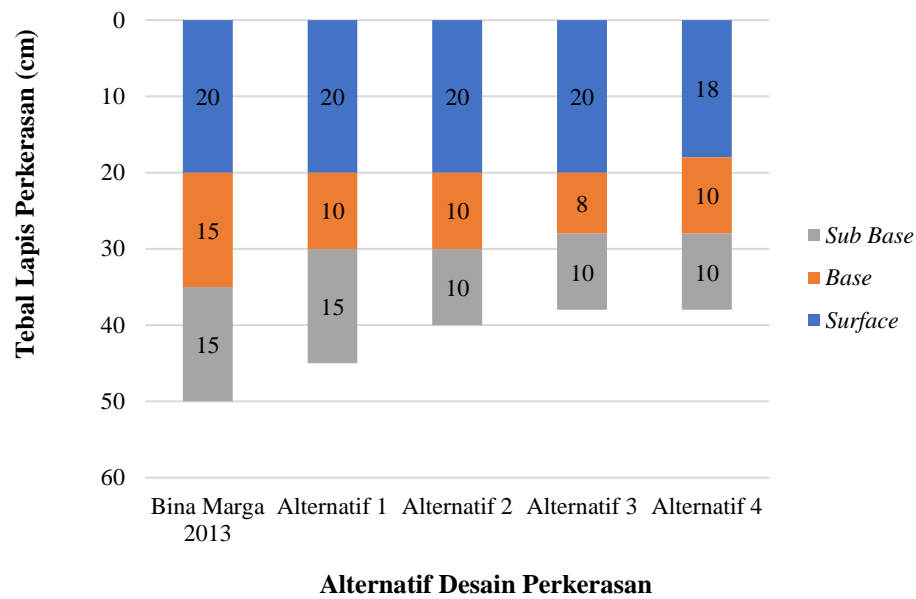
Surface = 18 cm

Base = 10 cm

Sub base = 10 cm

Pada alternatif 4 dilakukan pengecilan tebal perkerasan lagi sehingga tebal perkerasannya paling kecil. Pada alternatif 4 ini diperoleh hasil bahwa

tebal perkerasan yang direncanakan mengalami kerusakan deformasi permanen dengan $N_d < N_r$. Sehingga, tebal perkerasan yang direncanakan pada alternatif ke 4 ini tidak aman dan tidak mampu menahan beban selama umur rencana. Berikut disajikan grafik tebal perkerasan pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Alternatif Desain Tebal Perkerasan

Berikut disajikan rangkuman perbandingan hasil desain antara metode Bina Marga dan metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE* pada Tabel 5.18 di bawah ini.

Tabel 5.18 Perbandingan Hasil Desain

No	Parameter	Bina Marga 2013	Mekanistik-Empirik
1	Umur rencana	20 tahun (2016-2035)	
2	<i>Design traffic</i>	Tabel 5.5	
3	Daya Dukung Tanah (DDT)	<i>CBR</i> 88,33%	

4	Tebal perkerasan	<i>Surface</i> = 20 cm <i>Base</i> = 15 cm <i>Sub base</i> = 15 cm	Tebal minimum yang masih aman untuk menahan beban selama umur rencana yaitu pada alternatif 3 dengan : a. <i>Surface</i> = 20 cm b. <i>Base</i> = 8 cm c. <i>Sub base</i> = 10 cm
---	------------------	--	--

Adapun ringkasan dari perbedaan kedua metode tersebut yang disajikan pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Perbandingan Metode

No	Tinjauan	Bina Marga 2013	Program KENPAVE
1.	Konsep	menggunakan nilai <i>CESA</i> sebagai beban sumbu lalu lintas desain pada setiap jalur dengan mempertimbangkan nilai <i>VDF</i> dan <i>Traffic Multiplier</i>	menggunakan jumlah pengulangan beban kendaraan, tekanan ban, luas kontak area ban, jarak antar ban dan jarak antar sumbu.
2.	Input	a. data LHR, b. nilai pertumbuhan lalu lintas, c. nilai <i>Traffic Multiplier</i> , d. nilai <i>CBR</i> tanah dasar, e. nilai <i>CESA₄</i> untuk menentukan jenis perkerasan dan f. nilai <i>CESA₅</i> untuk menentukan tebal perkerasan	a. nilai modulus elastisitas, b. nilai <i>poisson's ratio</i> , c. tebal perkerasan, d. letak koordinat titik kerusakan yang akan di analisis dan e. data kondisi beban kendaraan yang lewat
3.	Prosedur	Hanya mengikuti langkah-langkah yang telah disajikan pada panduan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 untuk mendapatkan nilai tebal perkerasan	Dibutuhkan data pada poin (2) sehingga dihasilkan nilai tegangan dan regangan yang selanjutnya dianalisis untuk mengetahui nilai repetisi beban pada jenis kerusakan <i>fatigue cracking</i> , <i>rutting</i> dan <i>permanent deformation</i> .
4.	Hasil	<i>Surface</i> = 20 cm <i>Base</i> = 15 cm <i>Sub base</i> = 15 cm	Tebal minimum yang masih aman untuk menahan beban selama umur rencana yaitu pada alternatif 3 dengan : a. <i>Surface</i> = 20 cm

			b. <i>Base</i> = 8 cm c. <i>Sub base</i> = 10 cm
--	--	--	---

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis yang telah dilakukan menggunakan beberapa metode, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Tebal lapis perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga 2013 diperoleh tebal lapis permukaan *AC-WC* sebesar 4 cm dan lapis *AC-BC* sebesar 15,5 cm. Tebal lapis pondasi atas *CTB* dengan tebal 15 cm dan untuk lapis pondasi bawah LPA kelas A dengan tebal 15 cm.
2. Nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa *fatigue cracking* terjadi sebesar 0,0001189 pada kedalaman 19,9997 cm (di bawah lapisan permukaan atau *HMA*). Pada kedalaman 50,0003 cm diperoleh nilai regangan dan tegangan penyebab kerusakan berupa *rutting* sebesar 0,0001898 dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,00005709.
3. Tebal minimum yang dapat menahan beban selama umur pelayanan dengan tebal permukaan 20 cm, lapis pondasi atas sebesar 8 cm dan lapis pondasi bawah sebesar 10 cm.
4. Perbandingan dari metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empiris menggunakan program *KENPAVE* adalah sebagai berikut.
 - a. Berdasarkan konsep, kedua metode ini berbeda dalam proses menentukan tebal lapis perkerasan. Bina Marga 2013 menggunakan nilai *CESA* sebagai beban sumbu lalu lintas desain pada setiap jalur dengan mempertimbangkan nilai *VDF* dan *Traffic Multiplier*. Sedangkan metode mekanistik-empiris menggunakan program *KENPAVE* data mekanika bahan.
 - b. Berdasarkan parameter *input*, metode Bina Marga 2013 menggunakan data LHR, nilai pertumbuhan lalu lintas, nilai *Traffic Multiplier*, nilai *CBR* tanah dasar, nilai *CESA₄* untuk menentukan jenis perkerasan dan nilai *CESA₅* untuk menentukan tebal perkerasan. Sedangkan pada metode

mekanistik-empiris dengan program *KENPAVE* menggunakan data karakteristik material.

- c. Berdasarkan prosedur desain, metode Bina Marga 2013 hanya mengikuti langkah-langkah yang telah disajikan pada panduan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013. Sedangkan program *KENPAVE* menggunakan data yang dibutuhkan pada butir (b) untuk menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang selanjutnya dianalisis untuk mengetahui nilai repetisi beban pada jenis kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*.
- d. Berdasarkan hasil desain, metode Bina Marga 2013 diperoleh tebal perkerasan lapis permukaan sebesar 20 cm dengan lapis *AC-WC* sebesar 4 cm dan *AC-BC* sebesar 16 cm. Lapis pondasi atas *CTB* dengan tebal 15 cm, dan lapis pondasi bawah LPA kelas A dengan tebal 15 cm. Pada program *KENPAVE* didapatkan tebal minimum yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana 20 tahun dengan tebal permukaan sebesar 20 cm, lapis pondasi atas sebesar 8 cm dan lapis pondasi bawah sebesar 10 cm. Prediksi kerusakan yang akan terjadi terlebih dahulu adalah jenis kerusakan *rutting* (N_d *rutting* mendekati nilai N_r).

6.2. Saran

Berdasarkan hasil yang didapat dalam penelitian ini, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan perhitungan tebal perkerasan dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh negara lain.
2. Perlu adanya perhitungan perbandingan berdasarkan biaya dari hasil tebal perkerasan yang direncanakan dan metode mana yang lebih efisien dan efektif.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan evaluasi pada penelitian ini dengan penambahan analisis untuk mengetahui pada umur berapa Jalan Jogja-Solo ini mengalami kerusakan untuk pertama kalinya.

4. Perlu adanya pembaruan perhitungan desain dengan metode empiris yang terbaru yaitu metode Bina Marga 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfianti, F dan Mahardi, P. 2017. Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Tambah dengan Metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2013 dan AASHTO 1993 (Studi Kasus : Ruas Jl. Kalianak Osowinangun, Kecamatan Benowo, Surabaya). *Jurnal Teknik Sipil. Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. Vol.3 No. 3/REKAT/17.Universitas Negeri Surabaya.Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. Juli, 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013*. Jakarta.
- Dinata, D.I. 2017. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Komponen Bina Marga 2013 dan AASHTO 1993 Menggunakan Program *KENPAVE* (Studi Kasus : Jl. Karangmojo-Semin Sta. 0+000 – Sta. 4+500). *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Fadhlan, Khairi. 2013. Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan Menggunakan Program *KENPAVE*. (Online). (jurnal.usu.ac.id/index.php/jts. Diakses 11 Oktober 2017).
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Pearson Education. United States of America. USA.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. *Peraturan Menteri Nomor 13 /PRT/M/2011, tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan*. Jakarta.
- Listyaningrum, Oky. 2014. Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisis Komponen SKBI 1987 dan Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 Serta Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dan *Time Schedule* (Studi Kasus : Sentolo-Pengasih-Waduk Sermo). *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Marita, Atika. 2016. Perbandingan Perancangan Struktur Perkerasan Lentur Jalan dengan Metode Mekanistik Empirik dan Metode Bina Marga 2013. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Martedi, Ikhananto. 2013. Metode Pelaksanaan Penambahan Lapis *Overlay* Pada Proyek Rehabilitas Minor Jl. Yogyakarta – Piyungan dengan Bina Marga 2013. *Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Putri, C.K. 2014. Prediksi Nilai Kerusakan Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik-Empirik (Studi Kasus : Rekonstruksi Jalan Arteri Selatan). *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sukirman, S. 1992. *Pekerjaan Lentur Jalan Raya*. Nova. Bandung.

- Sukirman. S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Erlangga. Jakarta.
- Wibowo, Setiawan. 2014. Analisis Model Prediksi Kerusakan Pada Perkerasan Kaku dengan Metode Mekanis-Empiris (Studi Kasus : Jl. Lingkar Selatan DIY). (Online). (<http://etd.repository.ugm.ac.id>. Diakses 11 Oktober 2017).
- Wulandari, Widya. 2017. Prediksi Kebutuhan Biaya Investasi Tambahan Akibat Peningkatan Kelas Jalan Pada Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Yoder EJ dan Witczak MW. 1975. *Principles of Pavement Design*, 2nd ed. John Wiley & Sons Inc. New York. N.Y.

LAMPIRAN