TUGAS AKHIR

EVALUASI TEBAL PERKERASAN LENTUR DENGAN PENDEKATAN METODE MEKANISTIK-EMPIRIS BERDASARKAN TEORI LAPIS ELASTIK DAN LAPIS VISKOELASTIK STUDI KASUS: PADA RUAS JALAN KLANGON - TEMPEL (*EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT USING MECHANISTIC-EMPIRICAL APPROACH BASED ON ELASTIC LAYERED AND VISCOELASTIC LAYERED THEORIES: CASE STUDY OF KLANGON – TEMPEL ROAD SECTION)*

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

Irvan Miftahulrohman
15511161

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2020

TUGAS AKHIR

EVALUASI TEBAL PERKERASAN LENTUR DENGAN PENDEKATAN METODE MEKANISTIK-EMPIRIS BERDASARKAN TEORI LAPIS ELASTIK DAN LAPIS VISKOELASTIK STUDI KASUS: PADA RUAS JALAN KLANGON - TEMPEL

(*EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT USING MECHANISTIC-EMPIRICAL APPROACH BASED ON ELASTIC LAYERED AND VISCOELASTIC LAYERED THEORIES: CASE STUDY OF KLANGON – TEMPEL ROAD SECTION)*

Disusun oleh:

Irvan Miftahulrohman
15 511 161

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

Diuji pada tanggal 12 April 2022

Oleh dewan penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Berlian Kushari, S.T., M.Eng	**Miftahul Fauziah S.T,.M.T,. Ph.D**	**Aisyah Nur Jannah S.T,. M.Sc**
NIP : 015110101	**NIP : 0524087001**	**NIP : 0505069501**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIP: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi persyaratan program studi Teknik Sipil 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 dikemudian 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, 28 Februari 2022

t pernyataan,

Irvan Miftahulrohman

(15 511 161)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena sudah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik – Empiris Menggunakan Program KENPAVE pada Ruas Jalan Klangon – Tempel.*

Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada junjungan Rasulullah SAW. Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas akhir ini, penulis menerima banyak bantuan, saran , kritik, serta dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Berlian Kushari, S.T,. M.Eng. selaku Dosen Pembimbing.
2. Ibu Miftahul Fauziah S.T., M.T.,Ph.D dan Bapak Subarkah, IR., M.T selaku dosen Penguji Sidang Ta.
3. Orang tua penulis, Bapak Saimun dan Ibu Farida Aryani S.Pd., M.Hut. yang telah banyak memberikan dukungan materi serta doa yang mengalir tiada henti.
4. Saudari penulis, dr.Fitri Istikasari yang selalu memberi nasihat.
5. Sahabat-sahabat penulis, Faris dan Nugrah
6. Saudara SIPIL 15 yang tidak bisa saya sebutkan satu demi satu.

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

Yogyakarta, 20 Januari 2022

Penulis

Irvan Miftahulrohman

(15511161)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xi
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2013 5
2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *KENPAVE* 6
BAB III LANDASAN TEORI 8
3.1 Perkerasan Jalan 8
3.2 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Mekanistik Empiris 8
3.3 Konsep *Multi-Layered System* 12
3.4 Karakteristik Material 14
3.4.1 *Layer Linear Elastic* 14
3.4.2 *Viscoelastic Layer* 14

3.5 Modul *KENLAYER* Pada Program *KENPAVE* 15
BAB IV METODE PENELITIAN 20
4.1 Metode Penelitian 20
4.2 Lokasi Penelitian 20
4.3 Pengumpulan Data 21
4.4 Pengolahan dan Analisis Data 21
4.4.1 Tahapan Penelitian 22
4.4.1 Metode Mekanistik Empirik Program *KENPAVE* 23
4.5 Data Penelitian 26
4.5.1 Kondisi Lalu Lintas 26
4.5.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting 26
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 28
5.1 Pemodelan Perkerasan Eksisting 28
5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur 32
5.2.1 Analisis dengan Program *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Pemodelan Linear Elastik 32
5.2.2 Analisis dengan Program *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik 43
5.3 Pembahasan 55
5.3.1 Evaluasi Perkerasan Lentur Eksisting Jalan Klangon – Tempel dengan Metode Mekanistik Empirik Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik 55
5.3.2 Nilai Tegangan dan Regangan Perkeraasn Lentur Eksisting Jalan Klangon – Tempel Menggunakan Metode Mekanis Empirik Pemodelan Elastik Linear dan Viskoelastik 57
5.3.3 Prediksi Sisa Umur Pelayanan Perkerasan Lentur Eksisting Jalan Klangon – Tempel Menggunakan Metode Mekanis Empirik Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik 59
5.3.4 Perbedaan Program *Kenpave* Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik 60

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 64
6.1 Kesimpulan 64
6.2 Saran 66
DAFTAR PUSTAKA 67
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai Modulus Elastisitas Tipikal	13
Tabel 3.2	Nilai Rasio Poisson	14
Tabel 4.1	Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Klangon Tempel	26
Tabel 5.1	Data Desain Perencanaan untuk Input Program *KENPAVE*	29
Tabel 5.2	Data Layer untuk Input ke Program *KENPAVE*	31
Tabel 5.3	Tabel 5.3 Menu General yang harus diisi	32
Tabel 5.4	Tabel 5.4 Data Input Koordinat *Zcoord*	33
Tabel 5.5	Koordinat XPT dan YPT	36
Tabel 5.6	Hasil Perhitungan *KENLAYER* Perkerasan Eksisting	36
Tabel 5.7	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting	38
Tabel 5.8	Menu General yang harus diisi	42
Tabel 5.9	Data Input Koordinat *Zcoord*	43
Tabel 5.10	Koordinat XPT dan YPT	44
Tabel 5.11	Koordinat XPT dan YPT	46
Tabel 5.12	*Time of Durations for Creep Complainces*	47
Tabel 5.13	Nilai *Creep Compliances*	47
Tabel 5.14	Hasil Perhitungan KENLAYER Perkerasan Eksisting	48
Tabel 5.15	Lalu Lintas Harian Rata-rata	50
Tabel 5.16	Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting	54
Tabel 5.17	Hasil Analisis Beban Perkerasan Eksisting Pemodelan Linear Elastik	56
Tabel 5.18	Hasil Analisis Beban Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik	57
Tabel 5.19	Perbedaan Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik	60
Tabel 6.1	Tabel 6.1 Masa Pelayanan Perkerasan Lentur Eksisting	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kondisi Eksisting Jalan	1
Gambar 3.1	Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik-Empirik	10
Gambar 3.2	Tipikal Sistem Perkerasan	11
Gambar 3.3	Multi-layered Viscoelastic System	13
Gambar 3.4	Tampilan Layar LAYERNIP	16
Gambar 3.5	Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia	18
Gambar 4.1	Jalan Klangon Tempel Sta 0 + 000 s/d Sta 2 + 000	20
Gambar 4.2	Jalan Klangon Tempel Sta 2 + 000 s/d Sta 3 + 800	21
Gambar 4.3	Bagan Alir Tahapan Penelitian	22
Gambar 4.4	Bagan Alir Mekanistik-empirik dengan Program KENPAVE	24
Gambar 5.1	Potongan Melintang Jalan	28
Gambar 5.2	Layer Model Desain Perencanaan	30
Gambar 5.3	Layer Model pada Program KENPAVE	31
Gambar 5.4	Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan	33
Gambar 5.5	Plan View of Multiple Wheels	35
Gambar 5.6	Koordinat Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda	44
Gambar 5.7	Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan	45
Gambar 5.8	Plan View of Multiple Wheels	46
Gambar 5.9	Koordinat Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda	45
Gambar 5.10	Letak Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Lentur Eksisting	58
Gambar 5.11	Bagan Alir Prosedur Pemodelan Linear Elastik	61
Gambar 5.12	Bagan Alir Prosedur Pemodelan Viskoelastik	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata
Lampiran 2 Hasil Analisis *Kenlayer*

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AASHTO	=	*American Association of State Highway and Transporttation Officials*
AC BC	=	*Asphalt Concrete-Binder Course*
AC WC	=	*Asphalt Concrete-Wearing Course*
CBR	=	*California Bearing Ratio*
CESA	=	*Cumulative Equivalent Standard Axle*
cm	=	Sentimeter
CP	=	*Contact Pressure*
CR	=	*Contact Radius*
CTB	=	*Cement Treated Base*
d	=	Jarak antar roda ganda
ESAL	=	*Equivalent Single Axle Road*
DD	=	Faktor distribusi arah
DL	=	Faktor distribusi lajur
E	=	Modulus elastisitas
f4, f5	=	Koefisien kriteria deformasi permanen
i	=	Tingkat pertumbuhan Lalu lintas
kg	=	Kilogram
kPa	=	Kilo Pascal
LHR	=	Lintas Harian Rerata
LHRT	=	Lintas Harian Rerata Tahunan
LPA	=	Lapis Pondasi Atas
LPB	=	Lapis Pondasi Bawah
MKJI	=	Manual Kapasitas Jalan Indonesia
m	=	Meter
mm	=	Milimeter
Nd	=	Jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan deformasi permanen

Nf	=	Jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan *fatigue cracking*
Nr	=	Jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan alur
Psi	=	*Pound per Square Inch* (pon per inci persegi)
R	=	Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
UR	=	Umur rencana
VDF	=	*Vehicle Damage Factor*
XW	=	*Center to center spacing between two axles along the X axis*
YW	=	*Center to center spacing between two duals wheels along the Y axis*
ε	=	Regangan
εc	=	Regangan tekan vertikal diatas lapis dasar
εt	=	Regangan tarik horisontal dibagian bawah aspal
μ	=	*Poisson's Ratio*
σ	=	Tegangan

ABSTRAK

Ruas Jalan Klangon-Tempel merupakan salah satu jalan kolektor rural yang dijadikan jalan alternatif yang menjadi salah satu penguhubg antara kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman. Jalan tersebut telah mengalami rehabilitasi dan rekonstruksi pada tahun 2017 menggunakan Metode Bina Marga 2013. Menurut Hakim (2018) penggunaan metode bina marga 2013 untuk perkerasan eksisting disinyalir memberikan hasil tebal yang terlalu tipis sehingga diperkirakan tidak dapat mencapai umur rencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengevalausi tebal perkerasan eksisting untuk memperkirakan kerusakan yang terjadi dan sisa umur masa pelayanan jalan.

Dalam penelitian ini hanya menggunakan data sekunder. Data sekunder didapat dari DPUP-ESDM Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada penelitian ini tebal perkerasan di evalusasi menggunakan pendekatan metode mekanistik-empirik yaitu program *KENPAVE* dengan pemodelan liear elastik dan viskoelastik. Hasil analisis dari penggunaan Program *Kenpave* digunakan untuk mengetahui beban repitisi dan sisa umur pelayanan jalan dalam tiap pemodelan.

Setelah melakukan analisis dengan program *KENPAVE* dengan pemodelan elastik linear dan viskoelastik menggunakan tebal perkerasan eksisting *AC-WC* 40 mm, *AC-BC* 60 mm, *AC-Base* 75 mm, Lapis Pondasi Atas 200 mm dan Lapis Pondasi Bawah 300 mm didapatkan respon tegangan repitisi beban gandar sebesar 126.338.768,17 *ESAL* sampai terjadinya kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*) dengan pemodelan elastik linear dan 75.932.614.373*ESAL* sampai terjadi kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*) dengan pemodelan viskoelastik. Dari hasil repitisi beban gandar tersebut didapatkan masa layanan perkerasan lentur eksisting dengan pendekatan elastik linear selama 101 tahun dan dengan pendekatan viskoelastik selama 94 tahun, sedangkan dengan asumsi pertumbuhan lalu lintas sebesar 5% didapatkan masa layanan untuk elastik linear selama 78 tahun dan untuk viskoelastik selama 73 tahun. Berdasarkan hasil ini menunjukan bahwa perkerasan eksisting masih mampu mengakomodasi beban lalu lintas dengan baik selama umur yang direncanakan 20 tahun pada kedua pemodelan linear elastik dan viskoelastik.

Kata Kunci : Perkerasan lentur, Mekanistik-Empirik, Program *Kenpave*, masa pelayanan

ABSTRACT

The Klangon-Tempel road section is one of the rural collector roads which is used as an alternative road which is one of the links between Bantul and Sleman districts. The road was rehabilitated and reconstructed in 2017 using the 2013 Bina Marga Method. According to Hakim (2018), the use of the 2013 Bina Marga method for the existing pavement was allegedly giving the result that the thickness was too thin so it was estimated that it would not reach the design life. This study aims to evaluate the thickness of the existing pavement to estimate the damage that occurred and the remaining service life of the road.

In this study only used secondary data. Secondary data was obtained from the DPUP-ESDM of the Special Region of Yogyakarta. In this study, the pavement thickness was evaluated using a mechanistic-empirical method approach, namely the KENPAVE program with linear elastic and viscoelastic modeling. The results of the analysis using the Kenpave program are used to determine the repetition load and the remaining service life of the road in each modeling.

After analyzing the KENPAVE program with linear and viscoelastic elastic modeling using the existing pavement thickness of AC-WC 40 mm, AC-BC 60 mm, AC-Base 75 mm, Upper Foundation Layer 200 mm and Lower Foundation Layer 300 mm, the stress response to load repetition was obtained. axle of 126,338,768.17 ESAL until permanent deformation occurs with linear elastic modeling and 75,932,614,373 ESAL until permanent deformation occurs with viscoelastic modeling. From the repetition of the axle load, the service life of the existing flexible pavement with a linear elastic approach is 101 years and with a viscoelastic approach for 94 years, while assuming traffic growth of 5%, the service life for linear elastic is 78 years and for viscoelastic for 73 years. year. Based on these results, it shows that the existing pavement is still able to accommodate traffic loads well during the planned life of 20 years in both linear elastic and viscoelastic modeling.

***Keywords** : Flexible Pavement, Mechanistic-Empirical, Kenpave Program, serfice lifetime*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi meliputi segala bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi pengguna lalu lintas dalam berkendara. Peranan penting dari sebuah jalan yang paling utama adalah mewujudkan perkembangan antar wilayah yang seimbang, pemerataan hasil pembangunan, menunjang laju pertumbuhan ekonomi serta membuat pertahanan dan keamanan nasional dalam rangka mewujudkan pembangunan lebih baik lagi. Dalam hal memberikan rasa aman dan nyaman kepada pengguna jalan, maka konstruksi perkerasan jalan harus tersedianya jalan yang rata serta konstruksi yang kuat.

Ruas Jalan Klangon – Tempel yang terletak diantara Klangon kecamatan Sedayu, Kabupaten Sleman dan Kecamatan Tempel, Kabupaten Bantul ,Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta,adalah salah satu jalan kolektor rural yang dijadikan jalan alternatif. Ruas Jalan Klangon – Tempel dikategorikan sebagai jalan provinsi yang saat ini melayani lalu lintas dengan data lalu lintas harian rerata 4057,63 kendaraan/hari dengan persen kendaraan berat sebesar 7,98% (Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta Bidang Bina marga tahun 2017). Ruas Jalan Klangon – Tempel merupakan jalan yang baru dilakukan rekonstruksi dan rehabilitasi pada tahun 2017 dengan lebar jalan 7 m. Perkerasan jalan menggunakan manual Desain Perkerasan Jalan; Nomor 02/M/Bina Marga/2013 dengan umur desain diambil selama 20 tahun. Susunan runtut perkerasan jalan dari bawah adalah tanah dasar, lapis pondasi bawah 300 mm, lapis pondasi atas 200 mm, *AC-Base* 75 mm, *AC-BC* 60 mm, dan *AC-WC* 40 mm. Panjang penanganan jalan adalah sepanjang 3,8 km dengan dua stasiun berbeda, yaitu dari sta 0+00 s/d sta 2+00 yang berada di kecamatan Sedayu, Kabupaten Bantul dan sta 2+00 s/d sta 3+800 yang berada di kecamatan Minggir, Kabupaten Sleman.

Gambar 1.1 Kondisi Eksisting Jalan

Dalam perencanaan tebal perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2013, desain tersebut disinyalir memberikan tebal perkerasan yang terlalu tipis sehingga diperkirakan tidak dapat mencapai umur rencana 20 tahun. Hal ini seperti yang ditemukan oleh (Hakim,2019) yang menemukan bahwa kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*) setelah dianalisis menggunakan program *KENPAVE* hanya dapat menahan beban selama 18 tahun. Seperti hal nya ditemukan oleh (Suwanda, 2019) dengan pemodelan *elastic layered theory* dan *viscoelastic layered theory*, perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga 2013 setelah dilakukan analisis menggunakan program *KENPAVE* tidak dapat menahan beban kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*) yang hanya mampu menahan masing-masing 16 dan 18 tahun umur rencana.

Pendekatan dalam merencanakan tebal perkerasan terdiri dari pendekatan empiris dan pendekatan mekanistik-empiris. Metode empiris adalah pendekatan yang menghubungkan antara kerusakan jalan dengan parameter-parameter input desain yang diformulasikan berdasarkan hubungan statistik. Sementara metode mekanistik empiris adalah pendekatan berdasarkan karakteristik material dan

kaidah teoritis, dengan diperkuat oleh respon struktur perkerasan dari perhitungan eksak terhadap beban sumbu kendaraan. Metode mekanistik empiris memiliki prinsip utama dengan mengasumsikan perkeraan jalan menjadi suatu struktur "*multi-layer (elastic) structure"*. Tegangan *(stress)*, regangan *(strain)*, dan lendutan *(deflection)* adalah respon dari material perkeraan yang mengalami pembebanan. Perhitungan yang kompleks dari respon-respon yang terjadi akan sangat sulit jika dilakukan secara manual sehingga perhitungan dengan menggunakan bantuan komputer akan mempermudah jalannya perhitungan.

Bersandar dari uraian diatas, dalam penelitian ini akan dilakukan perbandingan perencanaan desain perkerasan lentur menggunakan metode mekanistik empiris yakni Bina Marga 2013 (perkerasan eksisting) dan menggunakan program *Kenpave.*

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apakah perkeresan lentur eksisting (Bina Marga 2013) telah optimum untuk digunakan dalam menahan beban kendaraan dalam rentang waktu yang telah direncanakan?
2. Pada saat repitisi beban dan tahun pelayanan keberapa perkerasan lentur eksisting (Bina Marga 2013) akan mengalami kerusakan retak lelah, retak alur dan deformasi dari metode mekanistik empiris dengan pemodelan elastik dan viskoelastik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kemampuan perkerasan lentur eksisting (Bina Marga 2013) dalam menahan beban kendaraan dalam rentang waktu yang telah direncanakan.
2. Mengetahui perkiraan jumlah repetisi beban dan masa umur pelayanan perkerasan lentur eksisting (Bina Marga 2013) akan mengalami kerusakan retak lelah, retak alur dan deformasi dari metode mekanistik empiris dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Dapat memperkirakan untuk kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* dengan pemodelan elastik dan viskoelastik pada ruas Jalan Klangon – Tempel.

1.5 Batasan Penelitian

Sebelum beralih kedalam pembahasan dalam penelitian karya tulis ini maka terlebih dahulu membuat batasan-batasan penilitian. Adapun batasan-batasan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Objek dari penelitian ini adalah di ruas Jalan Klangon - Tempel, sta 0+00 s/d sta 3+80.
2. Ruas jalan yang ditinjau merupakan jalan yg telah mengalami rehabilitasi dan rekonstruksi.
3. Data yang digunakan dalam melakukan analisis dengan menggunakan data sekunder yand didapat dari DPUP-ESDM Bidang Bina Marga Provinsi Yogyakarta.
4. Perhitungan tegangan dan regangan yang terjadi menggunakan Program *KENPAVE,* khususnya dengan modul *KENLAYER*.
5. Pemodelan mekanistik mengikuti pendekatan *elastic analysis* dan *viscoelastic analysis.*

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2013

Aji dkk (2015) telah mengevaluasi struktur perkerasan lentur dengan menggunakan Metode Bina Marga 2013 dan Metode *AASHTO* 1993 pada Jalan Nasional Losari-Cirebon. Hasil yang didapat pada penelitian ini adalah Metode Bina Marga 2013 sudah memperhitungkan faktor kondisi fungsional jalan dalam menentukan tebal lapis tambah untuk perbaikan ketidakrataan, ini cocok digunakan di Indonesia karena tuntutan jalan yang harus berfungsi secara optimal, nyaman, aman dan lancar. Faktor koreksi temperatur yang digunakan metode Bina Marga 2013 sudah menyesuaikan dengan kondisi iklim dan cuaca yang ada di Indonesia. Perhitungan tebal overlay Bina Marga 2013 lebih dapat menggambarkan kondisi struktural yang ada didalam perkerasankarena merupakan hasil dari respon struktur perkerasan akibat adanya beban lalu lintas yang ditunjukkan dengan adanya tegangan dan regangan didalam struktur perkerasan tersebut. Hasil perhitungan tebal *overlay* Bina Marga 2013 lebih tipis dibandingkan dengan *AASHTO* 1993.

Hakim (2018) telah melakukan analisis terhadap perbandingan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013 dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017. Dari hasil penelitian didapat perbedaan selisih tebal perkerasan yang terletak pada lapis perumakaan (*surface*). Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013 didapatkan hasi tebal perkerasan lebih tipis pada lapis *Sub base* yaitu 80 mm, sedangkan pada Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 pada lapis *Sub base* yaitu 105 mm. Perbedaan tebal tersebut akan mempengaruhi hasil dari evaluasi menggunakan Program *KENPAVE* dari sisi kerusakan dan sisa umur perkerasan.

Sebagaimana telah dilakukan penelitian terdahulu pada penelitian diatas, metode yang digunakan pada penelitan sekarang menggunakan metode Bina Marga 2013 perkerasan eksisting dan pemodelan struktur dengan program

KENPAVE. Lokasi penelitian berada pada ruas Jalan Klangon-Tempel Sta 0+00 s/d sta 3+80.

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *KENPAVE*

Ramadhani dan Fauziah (2018) telah melakukan penelitian pada ruas Jalan Jogja-Solo dengan menggunakan dua metode yaitu metode empirik dan mekanistik-empirik. Metode mekanistik empirik yang digunakan adalah metode Bina Marga 2013 dan menggunakan Program *KENPAVE*. 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.

Widiastuti (2018) telah melakukan penelitian pada Ruas Jalan Legundi – Kanigoro – Planjan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 untuk desain tebal perkerasannya dan menggunakan program Kenpave untuk mendapatkan tegangan-regangan sehingga dapat menghitung lama masa pelayanan jalan tersebut. Dari hasil penelitian didapatkan respon tegangan regangan maksimum penyebab terjadinya *permanent deformation* terjadi di titik kritis pada permukaan tanah dasar (*subgrade*), sehingga dilakukan perhitungan beban gandar 8000 kg dengan hasil sebesar 139.684.993 *ESAL* dan diperoleh umur perkerasan sebesar 28 tahun dimana angka tersebut melampaui angka umur rencana yang direncanakan pada Bina Marga 2017 yaitu 20 tahun.

Suwanda (2020) telah melakukan penelitian pada Ruas Jalan Tempel – Pakem. Metode yang digunakan menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan Program *Kenpave* dengan pemodelan linear elastik dan viskoelastik. Dari hasil pemodelan perkerasan eksisting pemodelan linear elastik didapatkan beban

repitisi maksimum sebesar 118.861.382 *ESAL* (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 61 tahun, 27.801.770 *ESAL* (*rutting*) dengan umur pelayanan 29 tahun dan 148.653.797 *ESAL* (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 18 tahun. Untuk pemodelan viskoelastik perkerasan eksisting didapatkan repitisi beban maksimum sebesar 60.682.360 *ESAL* (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 45 tahun, 14.504.833 *ESAL* (*rutting*) dengan umur pelayanan 19 tahun dan 11.594.650 *ESAL* (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 18 tahun.

Pada penelitian sekarang, peneliti melakukan pemodelan struktur pada program *KENPAVE* menggunakan *elastic layered* dan *viscoelastic theory* serta perbedaan terletak pada studi kasus pada ruas Jalan Klangon –Tempel Sta 0+00 s/d sta 3+80.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2003) perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Lapisan paling atas disebut juga sebagai lapisan permukaan, merupakan lapisan yang paling baik mutunya. Dibawahnya terdapat lapisan pondasi, yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan.

Sukirman (1999) menggambarkan beberapa jenis dan fungsi dari lapisan perkerasan khususnya pada perkerasan lentur, yaitu sebagai berikut.

1. Lapis permukaan (*surface course*), berfungsi sebagai:
    a. memberikan suatu permukaan yang rata dan tidak mudah slip (licin),
    b. mendukung dan menyebarkan beban vertikal maupun horizontal,
    c. lapisan kedap air untuk melindungi beban jalan, dan
    d. lapis aus
2. Lapis pondasi atas (*base course*), berfungsi sebagai :
    a. lapis pendukung bagi lapis permukaan,
    b. pemikul beban horizontal dan vertikal, dan
    c. lapis pondasi bagi lapis pondasi bawah.
3. Lapis pondasi bawah (*sub base course*), berfungsi sebagai :
    a. menyebarkan beban roda,
    b. lapis peresapan,
    c. lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi , dan
    d. lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan.
4. Tanah dasar (*subgrade*)

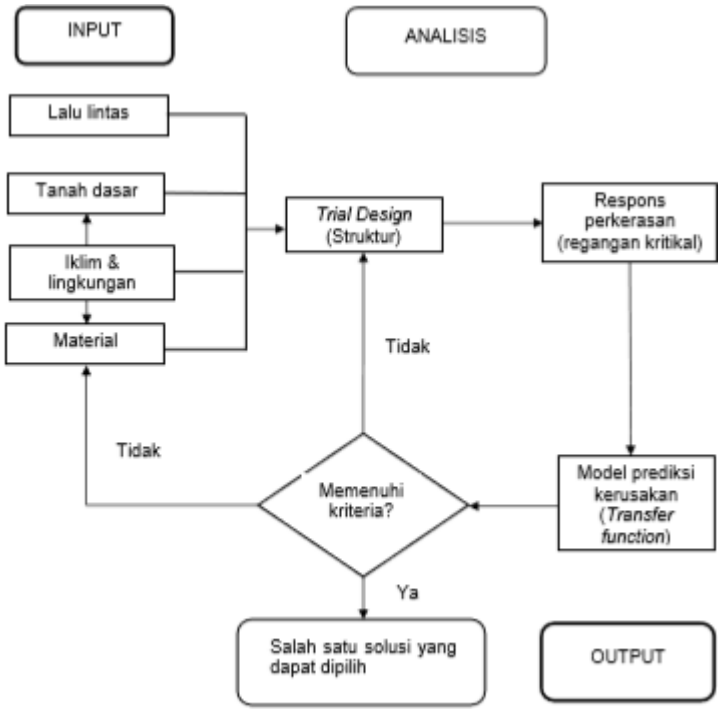
Tanah dasar merupakan permukaan tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

3.2 Desain Tebal Perkerasan Dengan Metode Mekanistik Empiris

Metode mekanistik empiris didasarkan pada mekanika material yang membutuhkan data seperti beban roda, respons perkerasan, seperti tegangan atau regangan. Nilai respons digunakan untuk memprediksi tekanan dari uji laboratorium dan data lapangan. Pengamatan pada pengerjaan di lapangan sangat diperlukan karena teorti saja belum cukup terbukti untuk merancang perkerasan jalan secara relistis. (Huang, 2014)

Pada metode mekanistik *Multilayered Elastic System* merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk penyelesaian secara analisis. Respon dari suatu perkerasan yang dikarenakan terdapat beban sumbu kendaraan yang melintas diatasnya merupakan respon tegangan, regangan dan lendutan yang berkaitan dengan sistem struktur lapisan banyak Penggunaan teori *Multilayered Elastic System* berhubungan dengan kriteria tegangan untuk mendesain dipertimbangkan berdasarkan teori yang digunakan, karakteristik material dan pengembangan dari kriteria kerusakan dari setiap mode tekanan.

Prosedur desain lapis perkerasan elastis mempertimbangkan deformasi permanen (*rutting*) serta retak lelah dari lapisan ikat aspal sebagai dua mekanisme kegagalan yang paling signifikan. (Yodder dan Witczak, 1975)

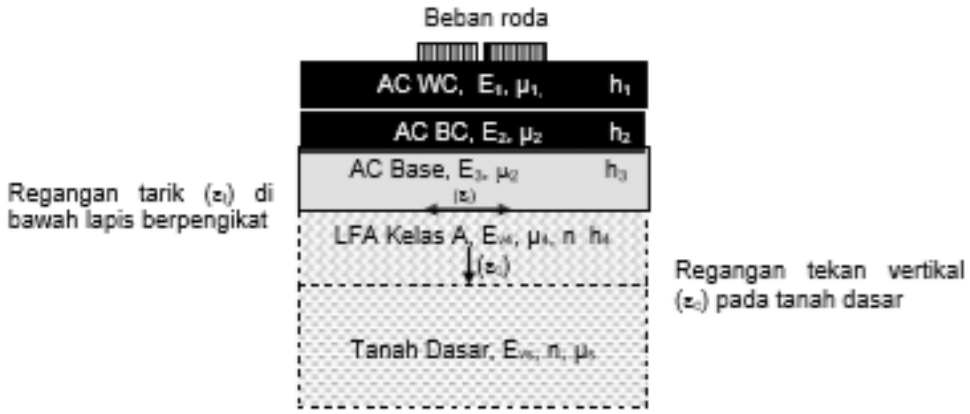


Gambar 3.1 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik-Empirik

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Seperti ditunjukkan pada bagan alir prosedur perencanaan (Gambar 3.1), proses desain bersifat iteratif (*trial and error*). Dimulai dengan memilih suatu struktur yang diperkirakan akan mampu menerima beban rencana. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan besaran regangan kritikal untuk melihat apakah struktur tersebut dapat menerima beban rencana. Apabila ternyata seluruh atau salah satu regangan kritikal tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak jdapat menerima beban rencana maka dilakukan perubahan struktur (dapat berupa perubahan dimensi atau material, atau kedua-duanya). Analisis diulangi untuk menghitung regangan-regangan kritikal dan seterusnya hingga diperoleh struktur yang memenuhi kriteria desain.

Tipikal sistem perkerasan lentur bedasarkan pendekatan mekanistik ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Tipikal Sistem Perkerasan

(Sumber: Bina Marga, 2017)

dengan :

AC WC = *Asphaltic Concrete Wearing Course*,

AC BC = *Asphaltic Concrete Binder Course*,

AC Base = *Asphaltic Concrete Base Course*,

Ei = Modulus Elastisitas Lapisan ke-i,

μi = Poisson's Ratio Lapisan ke-i, dan

hi = Tebal Lapisan ke-i.

Kerusakan jalan yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Beban kendaraan dapat mengakibatkan kerusakan perkerasan. Nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur didapatkan dari perhitungan dengan metode mekanistik-empiris. Untuk dapat memprediksi kerusakan tersebut digunakan nilai tegangan dan regangan. Ada beberapa cara untuk memprediksi jumlah repetisi beban, salah satunya yaitu persamaan model *The Asphalt Institute*. (*The Asphalt Institute, 1970*)

Persamaan 3.1 berikut adalah persamaan retak lelah *(fatigue cracking)* pada perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah keseluruhan repetisi beban berdasarkan regangan tarik yang ada di bawah lapis permukaan.

$$Nf = 0{,}0796\ (\varepsilon t)^{-3{,}921} \mid E \mid^{-0.854} \quad (3.1)$$

dengan :

Nf = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol

fatigue cracking,

εt = *Tensile strain* di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan, dan

| E | = Modulus Elastis pada lapis permukaan atau lapisan HMA.

Persamaan 3.2 berikut adalah persamaan retak alur (*rutting*) perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah.

$$Nd = f4\ (\varepsilon c)^{-f5} \quad (3.2)$$

dengan :

N = jumlah nilai repetisi beban yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*,

εc = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar,

f5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

f4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

Persamaan 3.3 berikut adalah persamaan *permanent deformation* perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repitisi beban.

$$Nd = f4\ (\varepsilon c)^{-f5} \quad (3.3)$$

dengan :

Nd = jumlah nilai repetisi beban yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*

εc = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar,

f5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

f4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

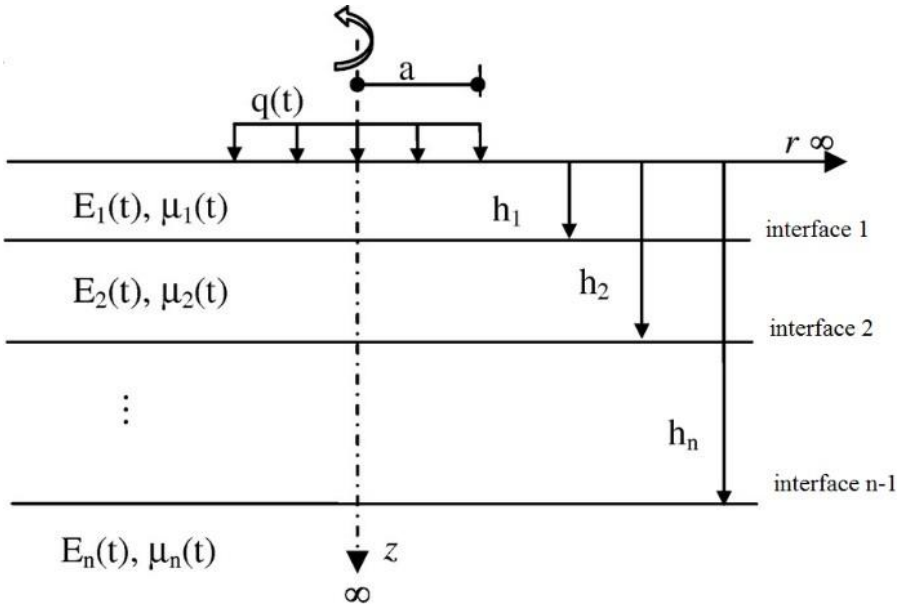
Untuk nilai f4 dan f5 mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Institute* 1970 dengan nilai f4 = $1{,}365 \times 10^{-9}$ dan f5 = 4,477.

3.3 Konsep *Multi-Layered System*

Perkerasan lentur merupakan sistem berlapis dengan material yang semakin ke atas semakin baik dan tidak dapat diwakili oleh massa yang homogen. Solusi sistem berlapis ini pertama kali dikembangkan oleh Bumister (1943) dengan sistem dua lapis dan diperpanjang oleh Burnister (1945) menjadi sistem

tiga lapis. Dengan adanya kemampuan komputer, teori tersebut dapat diaplikasikan menjadi *multi-layered system* dengan berapapun banyak jumlah lapisannya (Huang, 1967). Berikut adalah beberapa asumsi yang digunakan untuk menghitung respon struktur pada *multi-layered system* (Huang, 2004).

1. Setiap masing-masing lapis perkerasan bersifat homogen dan isotropic
2. Bahan perkerasan tiap lapisan memiliki batas bobot dan ketebalan serta lebar tiap lapisan dianggap tidak terbatas.
3. Tekanan seragam diterpakan pada lapisan permukaan yang terkena luasan penampang beban (*interface*).



Gambar 3.3 *Multi-layered Viscoelastic System*

(Sumber : Huang, 2004)

Berdasarkan gambar 3.3 tiap lapisan dari perkerasan memiliki kedalaman yang berbeda serta memiliki nilai modulus elasitisitas dan *poisson* ratio yang berbeda pula. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jenis material yang digunakan. Tegangan normal (σ) bekerja tegak lurus terhadap permukaan, sedangkan tegangan geser (τ) bekerja sejajar permukaan. Dalam kondisi keseimbangan statis diperlihatkan bahwa tegangan geser yang bekerja pada tiap permukaan adalah sama besar sehingga dapat dikatakan bahwa resultan tegangan

geser sama dengan nol. Regangan yang terjadi dirumuskan ada persamaan 3.4 s/d 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 :

ε = regangan,

q(t)= beban merata,

h_n = kedalaman tiap lapisan,

E = modulus elastisitas tiap lapisan,

μ = nilai *poisson ratio* tipas lapisan,

σ = tegangan normal

τ = tegangan geser.

3.4 Karakteristik Material

Dalam perkerasan dapat menggunakan beberapa karakteristik material. Berikut adalah karakteristik material tersbut.

3.4.1 *Layer Linear Elastic*

Pemodelan layer secara linear elastis dapat menghitung tegangan, regangan dan defleksi di struktur perkerasan yang permukaannya telah dibebani. Untuk layer linier elastis ini menganggap bahwa setiap layer struktur perkerasan homogen, isotropis, dan elastis secara linear (Huang, 2004).

3.4.2 *Viscoelastic Layer*

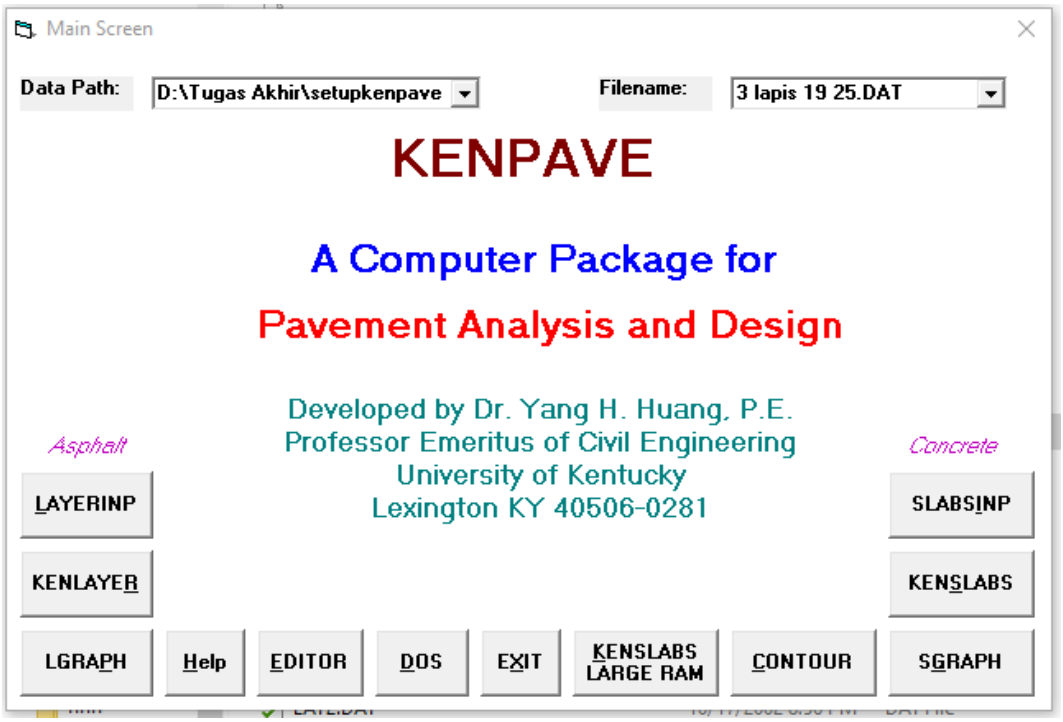
Untuk menganalisis layer aspal menerapkan sifat *viscoelastic* dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi dari layer *viscoelastic* ini diperoleh melalui prinsip koresponden elastis – viscoelastis dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variable waktu (Huang, 2004). Adapun metode untuk mengkarakterkan bahan *viscoelastic* adalah melalui spesifikasi *creep compliances*. Temperatur yang disarankan untuk *creep compliances* digunakan untuk *input* pada *Layernip*. Temperatur standar pada perkerasan lentur dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$D(t) = \frac{1}{E0}\left(1 + \frac{t}{T0}\right)\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{E1}\left[1 - exp\left(\frac{-t}{T1}\right)\right] \quad (3.7)$$

Untuk mengukur *creep compliances* dihitung menggunakan 11 durasi waktu yang berbeda antara lain 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 detik.

3.5 Modul *KENLAYER* Pada Program *KENPAVE*

Program *KENPAVE* merupakan *software* desain perencannan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, *P.E Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucy*. *Software* ini ditulis dalam bahasa pemrograman *Visual Basic* dan dapat dijalankan dengan versi *windows 95* atau versi lebih di atasnya. Tampilan awal program *KENPAVE* di tunjukan pada Gambar 3.3.



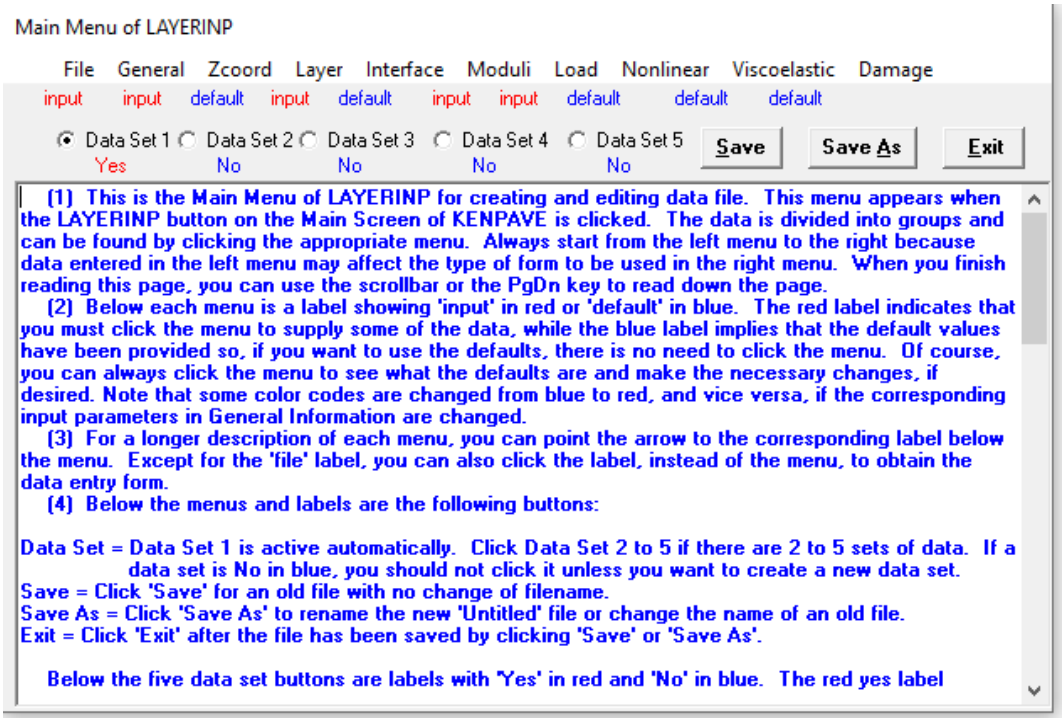
Gambar 3.3 Tampilan Awal Program *KENPAVE*

Software ini terbagi menjadi empat program yaitu *LAYERINP*, *KENLAYER,SLABINP* dan *KENSLAB*. *LAYERINP* dan *KENLAYER* merupakan program analisis 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 *user friendly*. Program ini bisa digunakan untuk menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan perkerasan akibat beban tertentu.

Program komputer *KENLAYER* ini hanya didapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan dan lapisan kaku. Dasar dari progam *KENLAYER* ini adalah teori sistem lapis banyak. *KENLAYER* dapat diaplikasikan pada perilaku tiap 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 tripel. Tampilan awal program *LAYERNIP* ditunjukan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Tampilan Layar *LAYERNIP*

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, *poisso'sn ratio,* dan kondisi beban. Nilai tebal perkerasan didapatkan dengan perhitungan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 2013. Modulus elastisitas didapatkan dari Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.1 Nilai Modulus Elastisitas Tipikal

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	kPa
Cement Treated Granular Base	1000000-2000000	7000000-14000000
Cement Aggregate Mixtures	500000-1000000	3500000-7000000
Asphalt Treated Base	70000-450000	490000-3000000
Asphalt Concrete	20000-2000000	140000-14000000
Bituminous Stabilized Mixtures	40000-300000	280000-2100000
Unbound Granular Materials	15000-45000	105000-315000
Fine Grained or Natural Subgrade	3000-40000	21000-28000

(Sumber : Huang 2004)

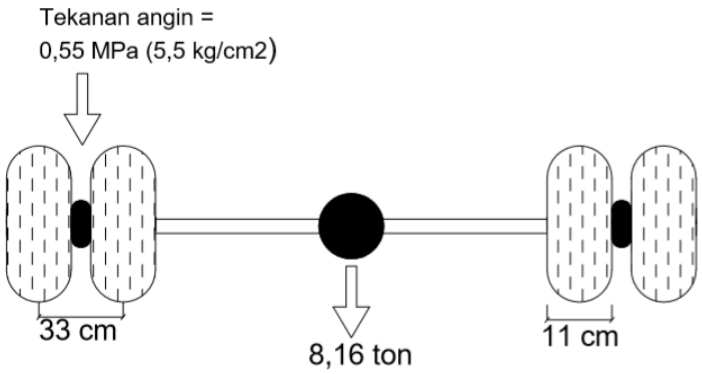
Untuk Nilai Rasio Poisson didapat pada Tabel 3.9 dibawah ini.

Tabel 3.2 Nilai Rasio Poisson

Materials	Nilai μ	μ Tipikal
Hot Mix Asphalt (Campuran Aspal Panas)	0,3-0,4	0,35
Portland Cement Concrete (Semen Beton)	0,15-0,20	0,15
Untreated Granular Material (Agregat Kasar)	0,3-0,3	0,35
Cement-treated Granular Material (Campuran Semend dengan Agregat Kasar)	0,10-0,20	0,15
Cement-Treated Fine-Grained Material (Campuran Semen dengan Agregat Halus)	0,15-0,35	0,25
Lime-Stabilized Material (Bahan Kapur Stabil)	0,10-0,25	0,20
Lime-Flyash Mixture (Campuran Kapur dengan Abu Terbang)	0,10-0,15	0,15
Loose Sand/ Silty Sand (Pasir Berpori/Pasir Berlumpur)	0,20-0,40	0,3
Dense Sand (Pasir Padat)	0,30-0,45	0,35
Fine- Grained Soil (Tanah Berbutir Halus)	0,30-0,50	0,40
Saturated Soft Clay (Tanah Liat Jenuh)	0,40	0,45

(Sumber : Huang 2004)

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



Gambar 3.5 Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia

(Sumber : Sukirman, 1999)

Setelah *input* data selesai, maka dilakukan running program *KENLAYER*. Hasil dari program ini berupa *vertical displacement* (perpindahan vertikal), *vertical stress* (tegangan vertikal), *major principal stress* (tegangan pokok besar), *minor principal stress* (tegangan pokok kecil), *intermediate principal stress* (tegangan pokok menengah), *vertical strain* (regangan vertikal), *major principal strain* (regangan pokok besar), *minor principal strain* (regangan pokok kecil), dan *horizontal principal strain* (regangan pokok horisontal). Dalam penelitian ini data yang digunakan yaitu *horizontal principal strain* (regangan pokok horisontal) dan *vertical principal strain* (regangan pokok vertikal) untuk menghitung jumlah repetisi beban.

BAB IV
METODE PENELITIAN

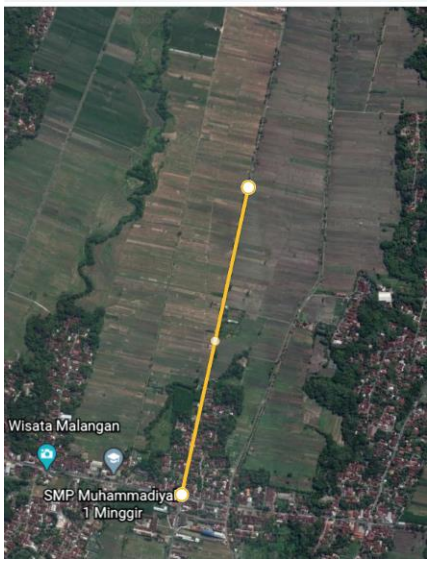
4.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu studi kasus yang dilakukan dengan rinci terhadap suatu objek. Penelitian dilakukan hingga tercapai pemahaman secara mendalam sehingga peneliti bisa menjelaskan tentang apa objek yang diamati serta bagaimana dan mengapa penelitian ini dilakukan. Jenis data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari DPUP-ESDM Yogyakarta. Tahap pengerjaan penelitian ini meliputi tahap penentuan masalah, penentuan tujuan dan lingkungan studi, pengumpulan data sekunder, kompilasi data , analisis, penentuan hasil dan kesimpulan.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Klangon - Tempel Kabupaten Sleman, D.I Yogyakarta dengan panjang total jalan yang ditinjau sepanjang 3800 m. Jalan tersebut merupakan jalan kabupaten yang menjadi salah satu jalan penghubung untuk lalu lintas kendaraan yang menuju ke Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman. Berikut ini adalah lokasi penelitian yang akan ditinjau pada Gambar 4.1.

Gambar 4.1 Jalan Klangon Tempel Sta 0 + 000 s/d Sta 2 + 000



Gambar 4.2 Jalan Klangon Tempel Sta 2 + 000 s/d Sta 3 + 800

4.3 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam menganalisis perkerasan menggunakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini didapat dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Bidang Bina Marga Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Data-data yang akan digunakan dalam menganalisa tebal perkerasan jalan Klangon – Tempel adalah sebagai berikut.

1. Peta lokasi,
2. Data lalu lintas harian rerata,
3. Data *properties material, dan*
4. Data struktur perkerasan jalan, seperti geometri jalan (panjang jalan, lebar lajur, lebar median, bahu jalan, jumlah arah dan jalur jalan.

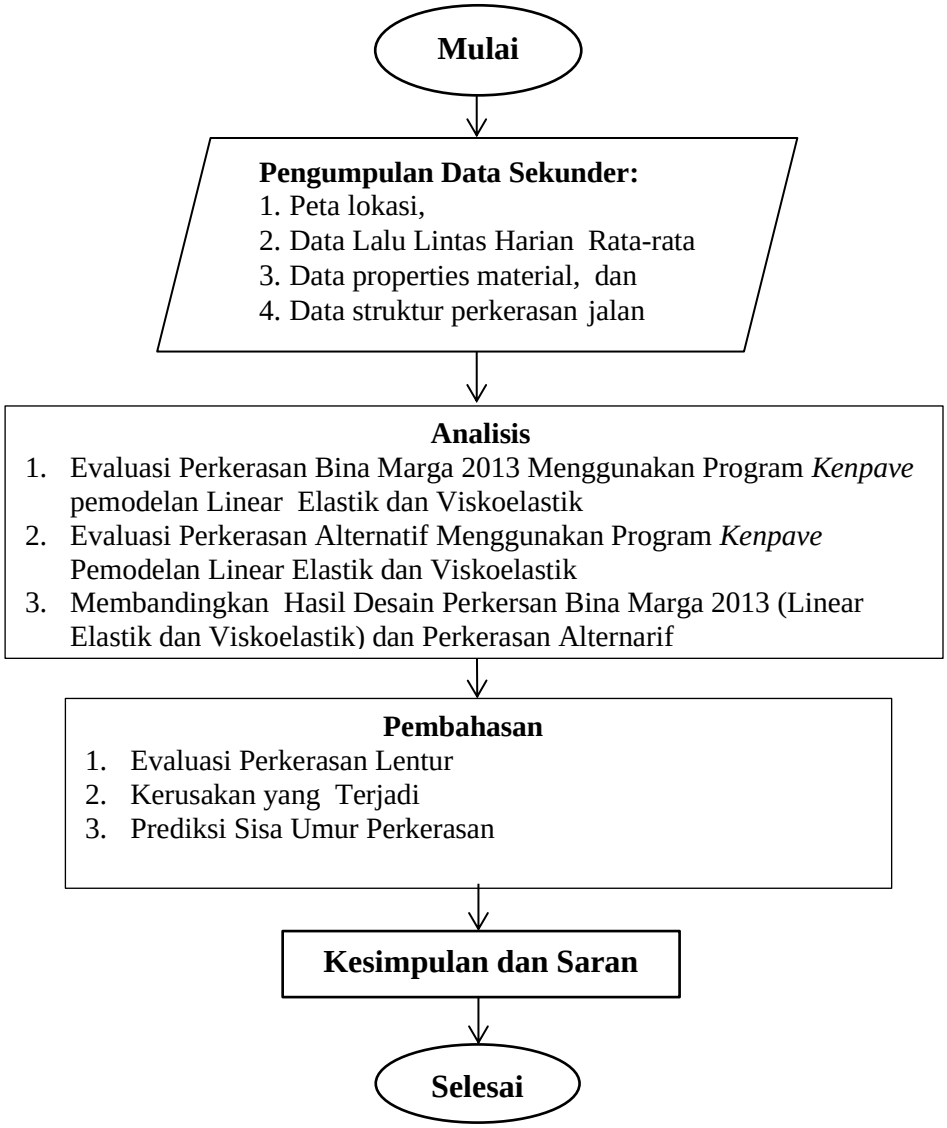
4.4 Prosedur Perancangan

Untuk mempermudah dalam pengolahan dan analisis data, dibuat bagan alir untuk mengolah dan menganalisis data. Beberapa bagan alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahapan penelitian,
2. Prosedur metode *KENPAVE*.

4.4.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian secara umum dapat dilihat pada bagan alir seperti pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.3 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Dari bagan alir di atas, adapun uraian mengenai bagan alir tahapan penelitian adalah sebagai berikut.

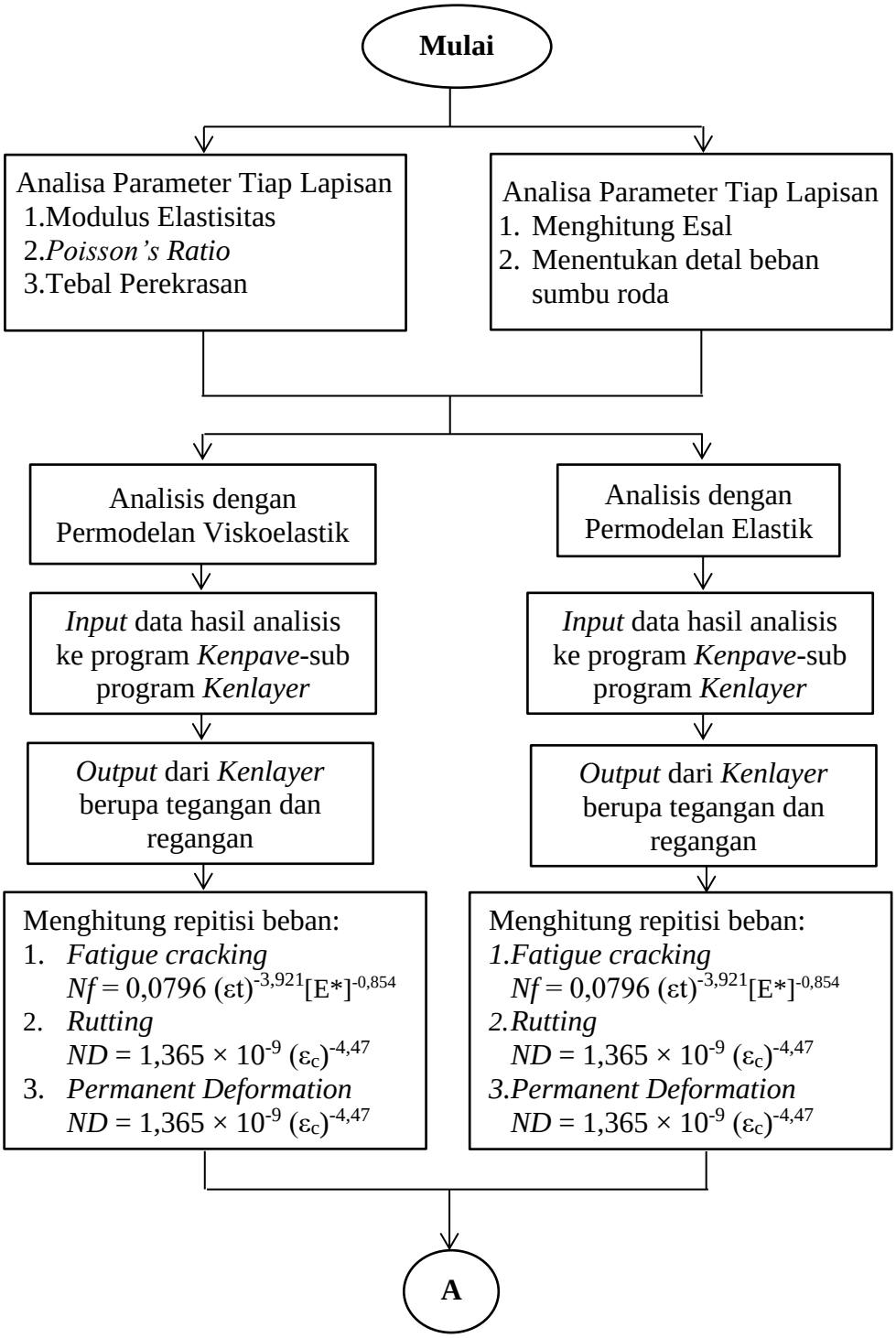
1. Pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari Bina Marga Provinsi D.I.Y berupa data sebagai berikut.

a. Peta lokasi penelitian
b. Data lalu lintas harian rerata terakhir
c. Data properties material tanah
d. Data struktur perkerasan jalan tinjauan

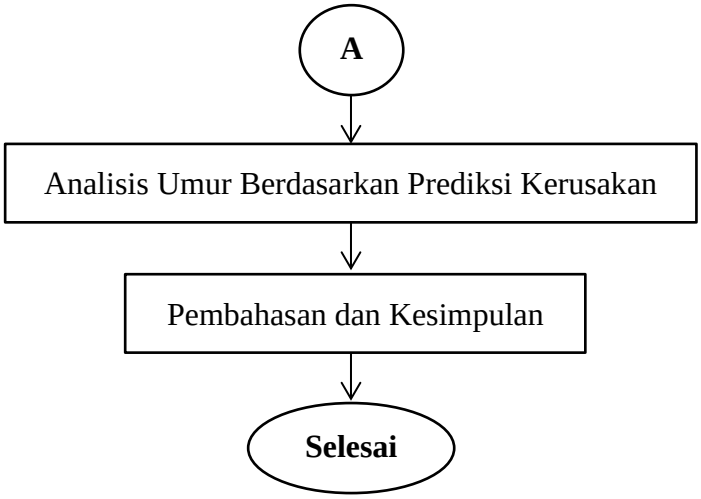
2. Analisis data dari metode yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.
   a. Melakukan permodelan struktur perkerasan eksisting dengan program *KENPAVE* dan perkerasan lentur dengan *KENLAYER* untuk beban yang terjadi di lapangan
   b. Mendesain perkerasan alternatif yang optimum dari hasil evaluasi perkerasan eksisting
   c. Membandingkan hasil perkerasan eksisting (elasik dan viskoleasik) dan alternatif perkerasan (elastic dan viskoelastik)
3. Pembahasan dari hasil analisis data adalah sebagai berikut
   a. Analisis tebal perkerasan optimum yang diperoleh menggunakan medote mekanistik-empirik dengan program *KENPAVE*
   b. Mendapatkan sisa umur rencana perkerasan dari pemodelan elastik dan viskoelastik dari perkerasan eksisting

4.4.2 Metode Mekanistik Empirik Program *KENPAVE*

Berikut ini adalah bagan alir guna menghitung tegangan regangan dan sisa umur perkerasan ruas Jalan Raya Klangon-Tempel dengan mekanistik-empirik menggunakan metode *KENPAVE*.



Gambar 4.4 Bagan Alir Mekanistik-empirik dengan Program *KENPAVE*



Gambar 4.4 Lanjutan Bagan Alir Mekanistik-empirik dengan Program *KENPAVE*

Dari bagan alir di atas adapun penjelasan pengerjaan dengan menggunakan metode mekanistik – empirik dengan program *KENVAPE* sebagi berikut ini.

1. Menentukan data *properties* material untuk pemodelan struktur antara lain:
   a. tebal lapisan tiap perkerasan,
   b. nilai modulus elastisitas (E) tiap lapis perkerasan, dan
   c. nilai *poisson's ratio* tiap lapis perkerasan.
2. Analisis data lalu lintas antara lain:
   a. menentukan periode waktu tinjauan analisis perkerasan,
   b. menghitung *Equivalent Single Axle Load* (*ESAL*) dan
   c. menentukan detail beban sumbu roda.
3. Melakukan pemodelan struktur perkerasan jalan dengan program *Kenpave* dan untuk perkerasan *layer* menggunakan sub program *Kenlayer* dengan menggunakan dua pemodelan yakni pemodelan linear elastik dan viskoelastik.
4. Menentukan hasil *output* dari program *Kenlayer* digunakan untuk mengetahui respon tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas dari kedua pemodelan.
5. Menganalisis repetisi beban lalu lintas yang dihasilkan program *Kenpave* dan menganalisa umur perkerasan dari kedua pemodelan.

4.5 Data Penelitian

Terdapat beberapa jenis data penelitian untuk melakukan desain perancangan jalan seperti data lalu lintas, dan data perkerasan eksisting.

4.5.1 Kondisi Lalu Lintas

Data lalu lintas pada ruas Jalan Klangon – Tempel merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta tahun anggaran 2017. Jalan Klangon – Tempel merupakan salah satu jalan kolektor rural yang juga dijadikan sebagai jalan alternatif yang digunakan pengemudi dari kabupaten Bantul atau kabupaten Sleman. Ruas jalan Klangon – Tempel merupakan jalan provinsi dengan lebar jalan 7 meter, memiliki 2 lajur 2 arah. Berdasarkan data sekunder dari laporan Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta didapatkan hasil perhitungan lalu lintas berdasarkan golongan kendaraan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Klangon Tempel

No	Kendaraan	LHR 2017 (Unit)
1	Sepeda Motor	1811,5
2	Sedan, Angkot, Pick up	757,67
3	Bus Kecil	1
4	Bus Besar	1
5	Truk 2 As (H)	5,33
6	Truk 2 Sumbu - Ringan	114,3
7	Truk 2 Sumbu – Cargo Sedang	57,17
8	Truk 2 Sumbu - Sedang	0
9	Truk 3 Sumbu – Ringan	0
10	Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	0,56

(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum dan Sumber Daya Minera D.I Yogyakarta, 2017)

4.5.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Ruas jalan Klangon – Tempel merupakan jalan yang mulai mengalami rehabilitasi dan rekonstruksi terhitung pada tanggal 26 Oktober 2017 dengan waktu pengerjaan 30 hari kalender. Tahapan pengerjaan terbagi menjadi 2 segmen sehingga memiliki waktu mulai operasi yang fleksibel. Berdasarkan data yang

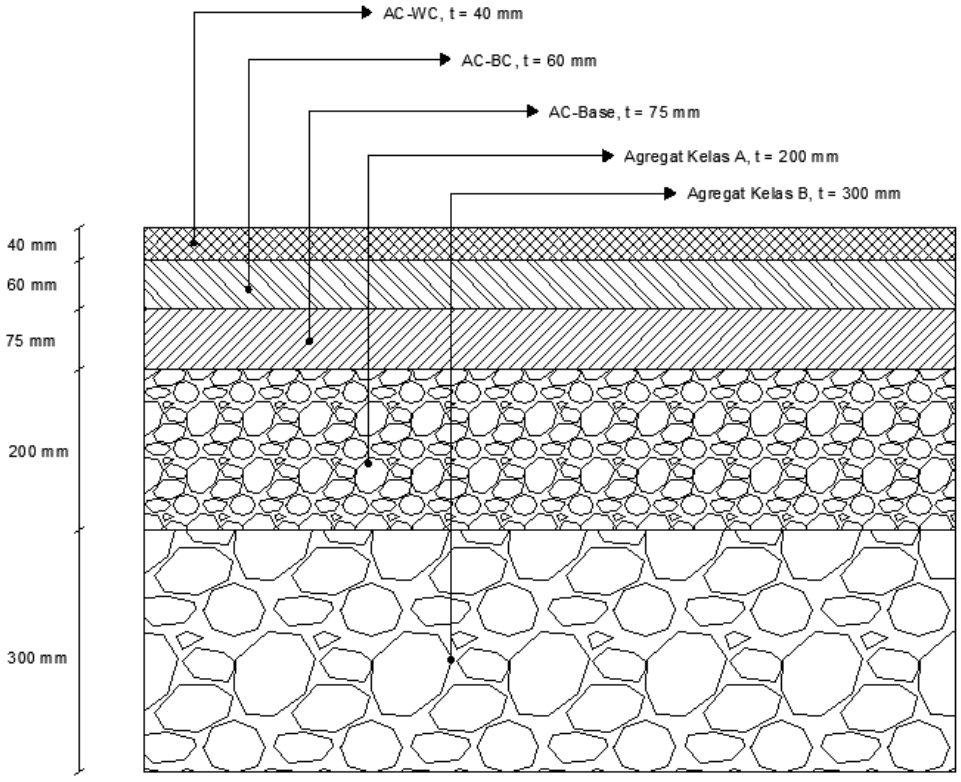
didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta, tebal perkerasan Jalan Klangon – Tempel adalah sebagai berikut.

AC-WC	: 40 mm
AC-BC	: 60 mm
AC-Base	: 75 mm
Agregat Kelas A	: 200 mm
Agregat Kelas B	: 300 mm

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Pemodelan Perkerasan Eksisting

Berdasarkan data yang didapat dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta Bidang Bina Marga tahun 2017, tebal perkerasan Jalan Klangon – Tempel dimodelkan dalam Gambar 5.1 gambar potongan melintang jalan sebagai berikut.



Gambar 5.1 Potongan Melintang Jalan

(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta Bidang Bina Marga tahun 2017)

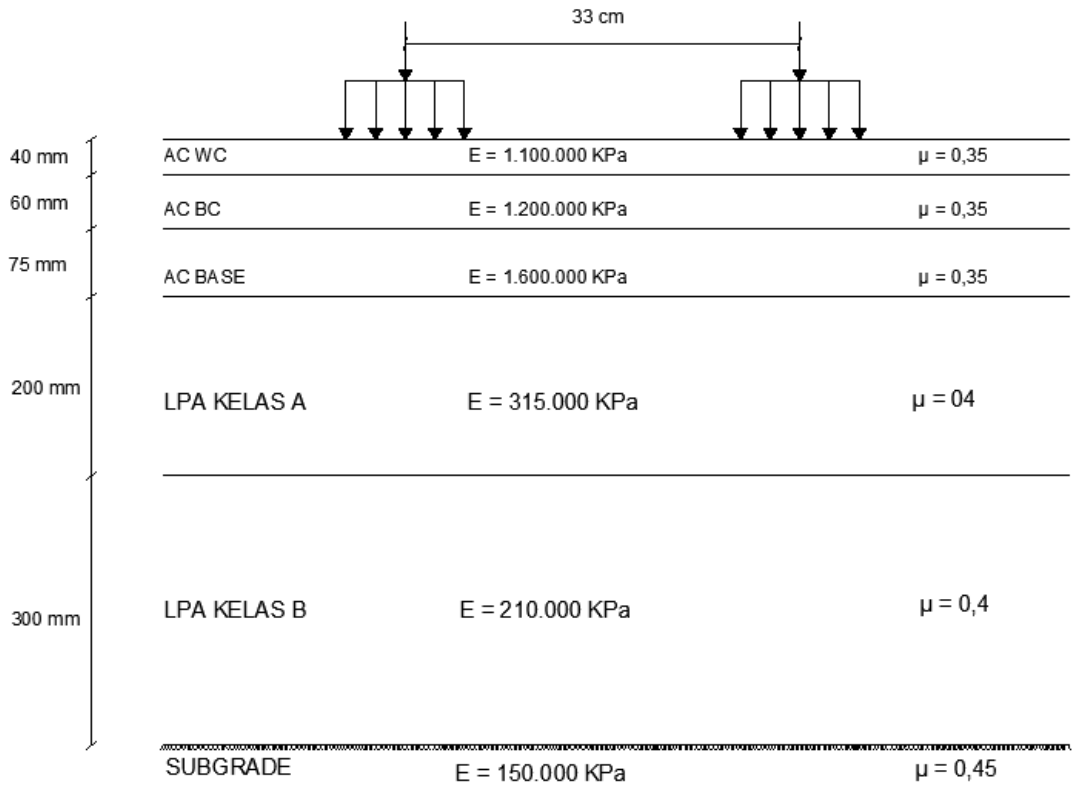
Pemodelan jalan yang akan dianalisis pada pembahasan ini memodelkan dengan menggunakan desain yang sesungguhnya terdiri atas lima lapisan perkerasan. Lima lapis perkerasan tersebut yaitu *AC WC, AC BC, AC Base*, lapis

pondasi agregat dan *subgrade*. Data *input* nilai modulus elastisitas dan niali *poisson's* ratio didapatkan dari Huang (2004). Pengambilan asumsi nilai modulus elastisitas berdasarkan referensi dari penelitain dan jurnal sebelumnya sebagai bantuan dalam meneliti analisis program *Kenpave* ini. Jurnal dan penelitian yang menjadi referensi seperti pada penelitain yang dilakukan oleh Hakim (2018), dan juga Ramadhani dan Fauziah (2018) Pemodelan yang digunakan dalam menganalisis data dengan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Gambar 5.2 untuk pemodelan desain perencanaan dan Gambar 5.3 untuk *layer model* pada program *KENPAVE*. Data yang digunakan dalam *input KENPAVE* untuk desain perencanaan dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.1 Data Disain Perencanaan untuk *Input* Program *KENPAVE*

Lapis Perkerasan	**Modulus Elastisitas, E (KPa)**	***Poisson's Ratio*, μ**	**Tebal Perkerasan**
AC WC	1100000	0,35	40 mm
AC BC	1200000	0,35	60 mm
AC Base	1600000	0,35	75 mm
LPA Kelas A	315000	0,4	200 mm
LPA Kelas B	210000	0,4	300 mm
S*ubgrade*	150000	0,45	∞

(Sumber: Huang, 2004)



Gambar 5.2 *Layer Model* Desain Perencanaan

Dalam *layer model* desain perencanaan ini, seluruh lapisan yang berbahan aspal dijadikan satu lapis. Untuk menghitung nilai modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan cara mererata-ratakan nilai modulus elastisitas dari ketiga bahan tersebut. Berikut ini perhitungan nilai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\Sigma En \times dn}{\Sigma d}$$

E = Modulus elastisitas

E_n = Modulus elastisitas tiap lapisan

d_n = Tebal tiap lapisan

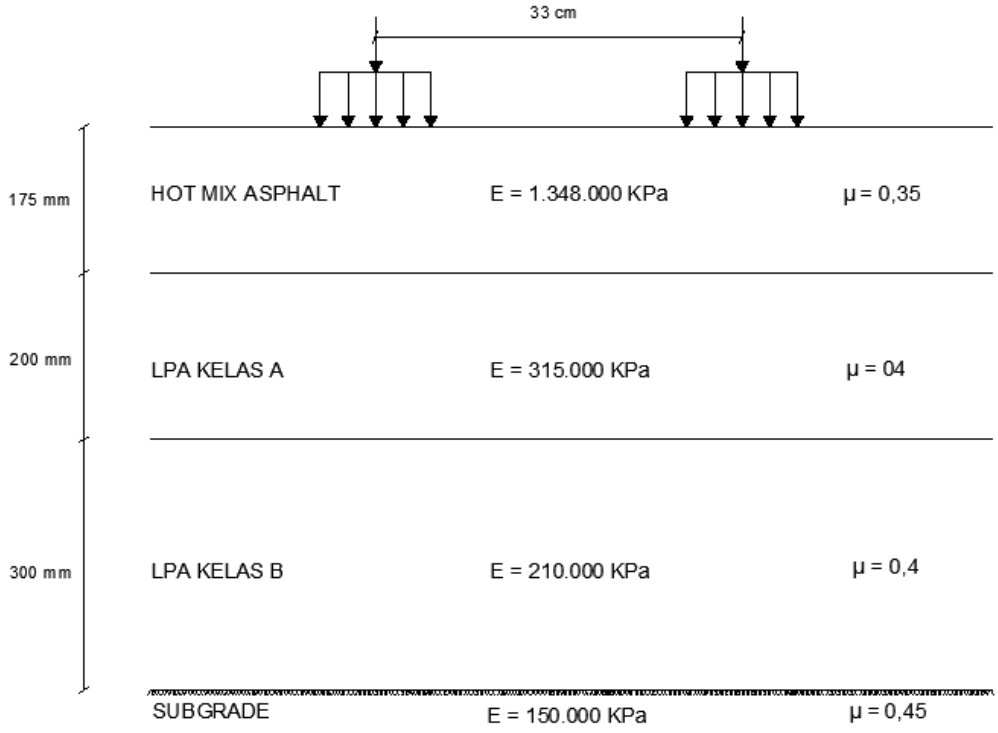
$$E = \frac{(1100000\times40)+(1200000\times60)+(1600000\times75)}{40+60+75}$$

E = 1.348.000 Kpa

Data yang digunakan untuk dianalisis dengan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Data *Layer* untuk *Input* ke Program *KENPAVE*

Lapis Perkerasan	Modulus Elastisitas, E (KPa)	Poisson's Ratio, μ	Tebal Perkerasan (cm)
Hot Mix Asphalt	1.348.000	0,35	17,5
LPA Kelas A	315.000	0,4	20
LPA Kelas B	210.000	0,4	30
Subgrade	150.000	0,45	∞



Gambar 5.3 *Layer Model* pada Program *KENPAVE*

Dalam analisis ini, detail sumbu dan roda diambil berdasarkan Gambar 3.5 yang merupakan data kondisi beban berdasarkan Sumbu Standar Ekuivalen Indonesia sebagai berikut.

a. Beban kendaraan standar adalah 18.000 pon atau 8,16 ton

b. Tekanan roda satu ban adalah 0,55 Mpa = 55 kg/cm^2

c. Jari-jari bidang kontak adalah 110 mm atau 11 cm

d. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda adalah 33 cm

5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur

Evaluasi tebal perkerasan lentur menggunakan Program *Kenpave* sub Program *Kenlayer* dengan pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik dari perkerasan eksisting Metode Bina Marga 2013.

5.2.1 Analisis dengan Program *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Pemodelan Linear Elastik

Untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan, data-data dimasukkan ke program *KENPAVE* khususnya pada menu *KENLAYER*. Analisis dilakukan dengan menggunakan pemodelan berdasarkan desain perencanaan. Berikut ini adalah cara menganalisis dengan program *KENPAVE.*

1. *General*

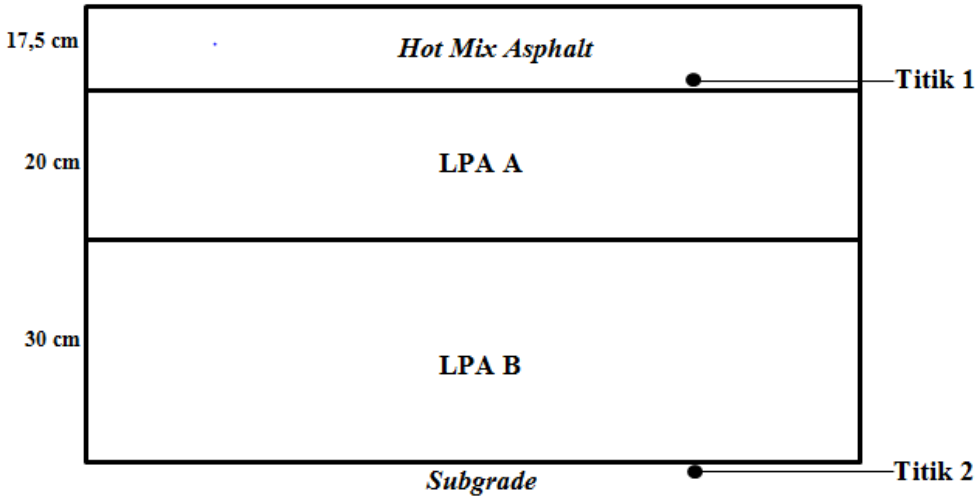
Pada menu *general* isi dengan nilai-nilai berdasarkan Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Menu *General* yang harus diisi

Istilah	Nilai	Keterangan
Tittle	2	Nama judul yang diinginkan
MATL	1	Lapisan perkerasan yang dianalisis adalah lapisan liniear elastis
NDAMA	0	Karena kerusakan tidak terjadi
NPY	1	Nomor dari periode per tahun
NLG	1	Nomor dari kelompok beban
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	4	Jumlah lapisan perkerasan yang dianalisis adalah *Hot Mix Asphalt*, *Subbase*, dan *Subgrade*
NZ	4	Letak koordinat arah z yang akan dianalisis
ICL	80	Siklus maksimum integrasi numerik
NSDT	9	Output berupa *vertical displacement*, tegangan dan regangan
NBOND	1	Semua lapisan saling terikat
NLBT	0	Jumlah lapisan untuk tegangan bawah
NLTC	0	Jumlah lapisan untuk tekanan atas
NUNIT	1	Satuan yang digunakan adalah Standar International

2. *Zcoord*

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan

Dari gambar diatas, dapat dilihat terdapat dua titik tinjau kerusakan, yaitu titik 1 adalah titik kedalaman tinjauan untuk kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*). Perbedaannya terletak dari regangan yang akan digunakan, regangan horizontal (*horizontal strain*) untuk retak lelah dan reganan vertikal (*vertical strain*) untuk retak alur. Sedangkan untuk titik 2 merupakan kedalaman tinjauan kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*). Untuk detail kedalaman *input Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Data Input Koordinat *Zcoord*

No	Kedalaman (cm)	Keterangan
1	17,495	Dasar *hot mix asphalt*
2	17,505	Permukaan lapis pondasi
3	67,495	Dasar lapis pondasi
4	67,505	*Subgrade*

3. *Layer*

   Jumlah *layer* yang ada pada menu *Layer* sama dengan jumlah NL yang ada dalam menu *General*. Parameter yang harus dimasukkan kedalam menu ini adalah tebal perkerasan dan *Poisson's Ratio.* Tebal perkerasan didapat dari hasil desain yang ada. Nilai *Poisson's Ratio* yang digunakan berdasarkan tabel 3.9 Nilai *Poisson's Ratio*. Data yang dimasukkan ke dalam menu *Layer* dapat dilihat pada Tabel 5.2

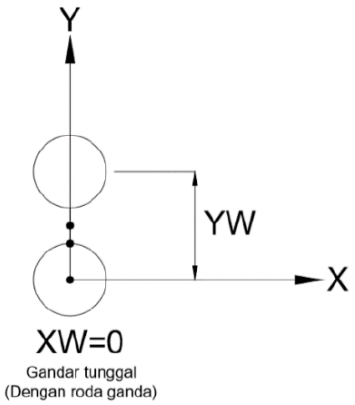
4. *Moduli*

   Nilai modulus elastitisas berbeda tiap lapisan tergantung pada jenis bahan yang digunakan pada lapisan tersebut. Nilai modulus elastisitas yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.8. Data yang dimasukkan kedalam menu *Moduli* dapat dilihat pada Tabel 5.2

5. *Load*

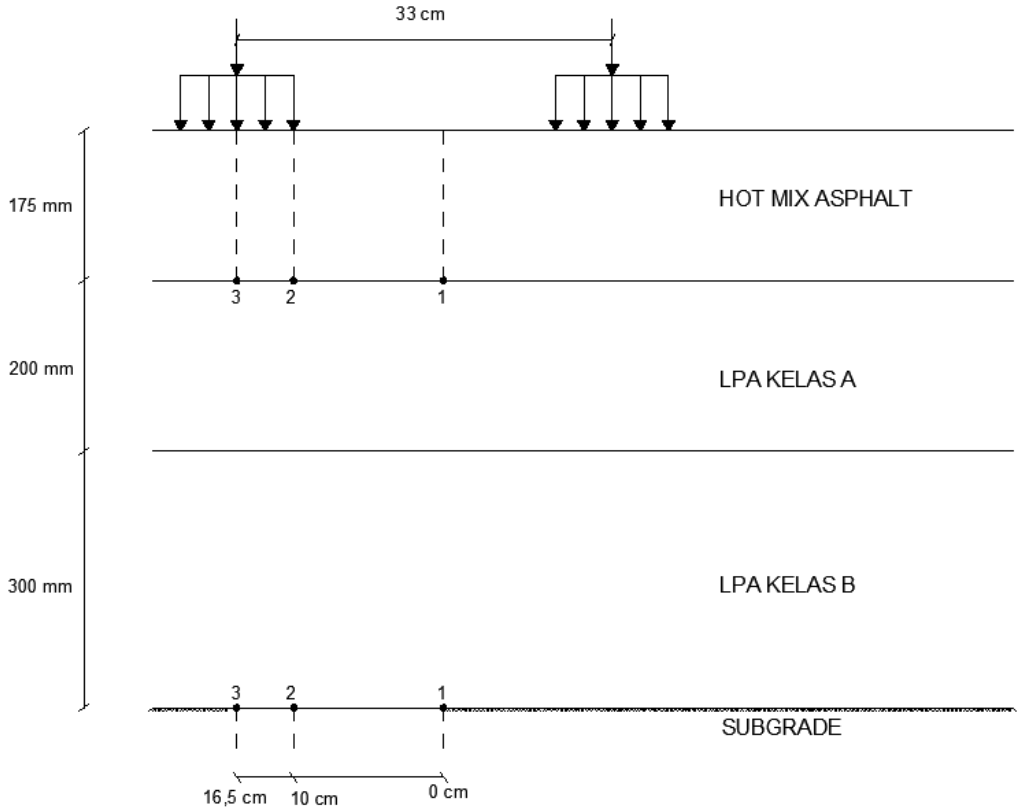
   Pada menu *Load* ini akan di input data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan.

   a. *Load* = 1 (*single axle road,* roda gandar tunggal) digunakan beban sumbu standar 8160 kg.
   b. *CR,* berdasarkan nilai jarak antar beban = 11 cm.
   c. *CP,* berdasarkan nilai tekanan ban =0,55 MPa = 550 KPa.
   d. *YW,* merupakan jarak antar roda arah y. Pada analisis ini karena roda merupakan roda *single axle dual tries* maka nilai *YW* = 33 cm.
   e. *XW,* merupakan jarak antar roda arah x. Nilai *XW* = 0.
   f. *NPT,* merupakan jumlah pengulangan beban berdasarkan jumlah *tire spacing*. Nilai yang disikan pada *NPT* = 3



Gambar 5.5 *Plan View of Multiple Wheels*

Pada analisis ini digunakan *single axle with dual tires*, sehingga nilai YW adalah 33 cm dan nilai XW adalah 0. Nilai koordinat tinjauan berdasarkan jenis roda dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Tabel 5.5 berikut.



Gambar 5.6 Koordinat Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda

Tabel 5.5 Koordinat XPT dan YPT

Koordinat Tujuan	XPT	YPT
1	0	0
2	0	10
3	0	16,5

Setelah seluruh data terisi dalam program *KENPAVE* pada setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *KENPAVE*. Data akan di *running* dengan klik menu *KENLAYER*. Kemudian untuk melihas hasil analisis tegangan dan regangan , klik menu *editor* dan buka nama *file*.

6. Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting

Output dari analisis menggunakan *KENLAYER* pada program *KENPAVE* adalah nilai tegangan dan regangan yang terajadi pada perkerasan lentur jalan. Hasil analisis *KENLAYER* untuk *single axle road* (roda gandar tunggal), respon yang dapat diidentifikasi dan dapat dianalisis hanya *vertical compressive strain* yang terdapat di permukaan tanah dasar dan *horizontal tensile strain* yang terletak dibawah aspal. Tabel 5.6 merupakan *output* tegangan dan regangan ketika struktur perkerasan jalan telah dibebani berdasarkan koordinat pada Gambar 5.6 .

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan *KENLAYER* Perkerasan Eksisting

Point	Koordinat *Vertica*l	*Vertical Strain*	*Horizontal Strain*
1	17,495	0,000233	0,0001901
	17,505	0,000417	0,0001902
	67,495	0,0001407	0,00007306
	67,505	0,0001497	0,00007305
2	17,495	0,0001889	0,0001912
	17,505	0,0003474	0,0001913
	67,495	0,0001504	0,00007609
	67,505	0,0001603	0,00007608
3	17,495	0,0001612	0,0001867
	17,505	0,0003029	0,0001868
	67,495	0,0001523	0,00007666
	67,505	0,0001623	0,00007665

7. *Transfer Function* Perkerasan Eksisting

Setelah mendapatkan nilai tegangan dan regangan, selanjutnya adalah analisis kerusakan *fatigue cracking, permanen deformation,* dan *rutting* dalam menentukan jumlah repitisi beban. Repitisi beban dilakukan dengan cara menghitung nilai Nf (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*), Nr (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *rutting*), dan Nd (Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi.

a. Perhitungan Nf, Nr, Nd

1) Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* dihitung berdasarkan Rumus 3.1. Nilai regangan yang digunakan adalah nilai *horizontal strain* maksimum di koordinat 17.495

$Nf = 0{,}0796 \times (\varepsilon t)^{-3{,}921} |E^*|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796 \times (0{,}0001867)^{-3{,}921} |1.348.000|^{-0{,}854}$

$= 176.377.787{,}8$ *ESAL*

2) Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting* dihitung berdasarkan Rumus 3.2, nilai regangan yang digunakan adalah nilai *vertical strain* di koordinat 17.495

$Nr = f4\ (\varepsilon c)^{-f5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}0001612)^{-4{,}477}$

$= 25.031114{,}85$ *ESAL*

3) Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* dihitung berdasarkan Rumus 3.3, nilai regangan yang digunakan adalah nilai *vertical strain* di koordinat 67.505

$Nd = f4\ (\varepsilon c)^{-f5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}0001497)^{-4{,}477}$

$= 126.338.768{,}17$ *ESAL*

b. Kontrol prediksi umur pelayanan jalan

Prediksi umur pelayanan jalan dapat diketahui dari menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation,* mengetahui jumlah lalu lintas harian rerata, nilai *VDF*, DD dan DL yang didapat dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2017. Untuk mendapatkan nilai lalu lintas harian rerata tahun 2017, dari data sekunder yang didapat dari DPUP ESDM (Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Alam) yaitu LHR (Lintas Harian Rata-rata) tahun 2017 dengan pertumbuhan lalu lintas sebesar 3,5% dan asumi pertumbuhan lalu lintas sebesar 5% didapatkan data lalu lintas harian rerata 2017 seperti pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Lalu Lintas Harian Rata-rata

Jenis Kendaraan	LHR 2017
veh 1	3263
veh 2	757,67
veh 3	1
veh 4	24
veh 5a	1
veh 5b	1
veh 6a	5,33
veh 6b	114,33
veh 7a	0,13
veh 7b	0
veh 7c	0,56
veh 8	4

Jalan Klangon – Tempel menggunakan sistem jalan dua arah, sehingga untuk nilai DD yang digunakan adalah 0,5. Untuk faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL) , Jalan Klangon – Tempel bernilai 1 karena jumlah

lajur per arah adalah 1. Nilai *VDF* masing-masing kendaraan dapat dilihat dari Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017. Prediksi umur pelayanan jalan dapat dihitung dengan menggunakan Rumus 3.7

1) Prediksi umur pelayanan jalan akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* dengan i = 3,5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 $= (1{,}15 \times 0{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (1{,}15 \times 1 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (6{,}12 \times 0{,}55 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (131{,}2 \times 5{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (0{,}14 \times 8{,}2 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (0 \times 11{,}8 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (0{,}64 \times 11 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035})$

UR = 111 Tahun

Dengan asumsi i = 5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 $= (1{,}22 \times 0{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (1{,}22 \times 1 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (6{,}48 \times 0{,}55 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (138{,}97 \times 5{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (0{,}15 \times 8{,}2 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (0 \times 11{,}8 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05})$

$\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,68× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$)

UR = 85 Tahun

2) Prediksi umur pelayanan jalan akan mengalami kerusakan *rutting* dengan i = 3,5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

25.031.114,85 = (1,15 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (1,15 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (6,12 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (131,2 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,14 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,64× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$)

UR = 58 Tahun

Dengan asumsi i = 5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 = (1,22 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (1,22 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (6,48 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (138,97 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,15 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1

$\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,68× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$)

UR = 47 Tahun

3) Prediksi umur pelayanan jalan akan mengalami kerusakan *permanent deformation* dengan i = 3,5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

126.338.768,17 = (1,15 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (1,15 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (6,12 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (131,2 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,14 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,64× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$)

UR = 101 Tahun

Dengan asumsi i = 5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 = (1,22 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (1,22 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (6,48 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (138,97 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,15 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1

$$\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}) + (0{,}68\times 11 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05})$$

UR = 78 Tahun

8. Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis dari evaluasi perkerasan eksisting menggunakan sub program *KENLAYER* diatas, dapat disimpulkan bahwa jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 176.377.787,8 *ESAL,* untuk jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *rutting* adalah sebesar 25.031.114,85 *ESAL* dan untuk jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 126.338.768.2 *ESAL*. Setelah dilakukan analisis prediksi umur pelayanan, Jalan Klangon – Tempel akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* di umur pelayanan 111 tahun , untuk kerusakan *rutting* akan mengalami kerusakan di umur pelayanan 58 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* akan mengalami kerusakan di umur pelayanan 101 tahun.

Analisis beban lalu lintas pada jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting

Beban Lalu lintas (*ESAL*)	Beban Repitisi (*ESAL*)			Analisis Beban Lalu lintas
2.017.492,458	Desain Rencana	Nf	176.377.787,8	Nf > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nr	25.031.114,85	Nr > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nd	126.338.768,2	Nd > Beban Lalu lintas (Iya)

Dari hasil evaluasi dari tabel 5.8 diatas, tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan metode Bina Marga 2013 menggunakan sub program *KENLAYER* pada program *KENPAVE*, dari perencanaan tersebut dengan

beban lalu lintas rencana jumlah repitisi beban Nf, Nr, dan Nd lebih besar dari beban lalu lintas.

5.2.2 Analisis dengan Program *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik

Untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan, data-data dimasukkan ke program *KENPAVE* khususnya pada menu *KENLAYER*. Analisis dilakukan dengan menggunakan pemodelan berdasarkan desain perencanaan. Berikut ini adalah cara menganalisis dengan program *KENPAVE*.

1. *General*

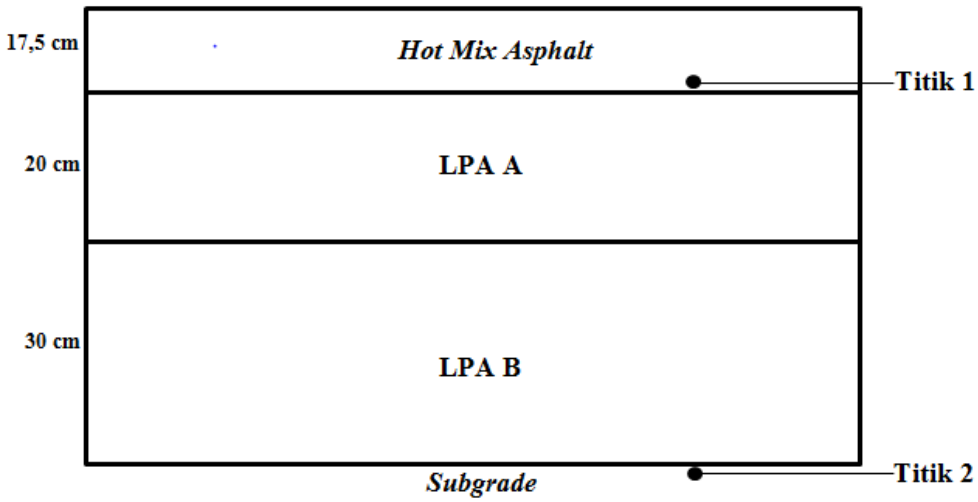
   Pada menu *general* isi dengan nilai-nilai berdasarkan Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Menu *General* yang harus diisi

Istilah	Nilai	Keterangan
Tittle	2	Nama judul yang diinginkan
MATL	3	Lapisan perkerasan yang dianalisis adalah lapisan viskoelastis
NDAMA	0	Karena kerusakan tidak terjadi
NPY	1	Nomor dari periode per tahun
NLG	1	Nomor dari kelompok beban
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	4	Jumlah lapisan perkerasan yang dianalisis adalah *Hot Mix Asphalt*, *Subbase*, dan *Subgrade*
NZ	4	Letak koordinat arah z yang akan dianalisis
ICL	80	Siklus maksimum integrasi numerik
NSDT	9	Output berupa *vertical displacement*, tegangan dan regangan
NBOND	1	Semua lapisan saling terikat
NLBT	0	Jumlah lapisan untuk tegangan bawah
NLTC	0	Jumlah lapisan untuk tekanan atas
NUNIT	1	Satuan yang digunakan adalah Standar International

2. *Zcoord*

   Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan

Dari gambar diatas, dapat dilihat terdapat dua titik tinjau kerusakan, yaitu titik 1 adalah titik kedalaman tinjauan untuk kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*). Perbedaannya terletak dari regangan yang akan digunakan, regangan horizontal (*horizontal strain*) untuk retak lelah dan reganan vertikal (*vertical strain*) untuk retak alur. Sedangkan untuk titik 2 merupakan kedalaman tinjauan kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*). Untuk detail kedalaman *input Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Data Input Koordinat *Zcoord*

No	Kedalaman (cm)	Keterangan
1	17,495	Dasar *hot mix asphalt*
2	17,505	Permukaan lapis pondasi
3	67,495	Dasar lapis pondasi
4	67,505	*Subgrade*

3. *Layer*

Jumlah *layer* yang ada pada menu *Layer* sama dengan jumlah NL yang ada dalam menu *General*. Parameter yang harus dimasukkan kedalam menu ini adalah tebal perkerasan dan *Poisson's Ratio.* Tebal perkerasan didapat dari hasil desain yang ada. Nilai *Poisson's Ratio* yang digunakan berdasarkan tabel

3.9 Nilai *Poisson's Ratio*. Data yang dimasukkan ke dalam menu *Layer* dapat dilihat pada Tabel 5.2

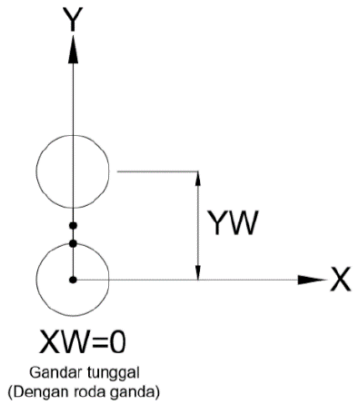
4. *Moduli*

   Nilai modulus elastitisas berbeda tiap lapisan tergantung pada jenis bahan yang digunakan pada lapisan tersebut. Nilai modulus elastisitas yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.8. Data yang dimasukkan kedalam menu *Moduli* dapat dilihat pada Tabel 5.2

5. *Load*

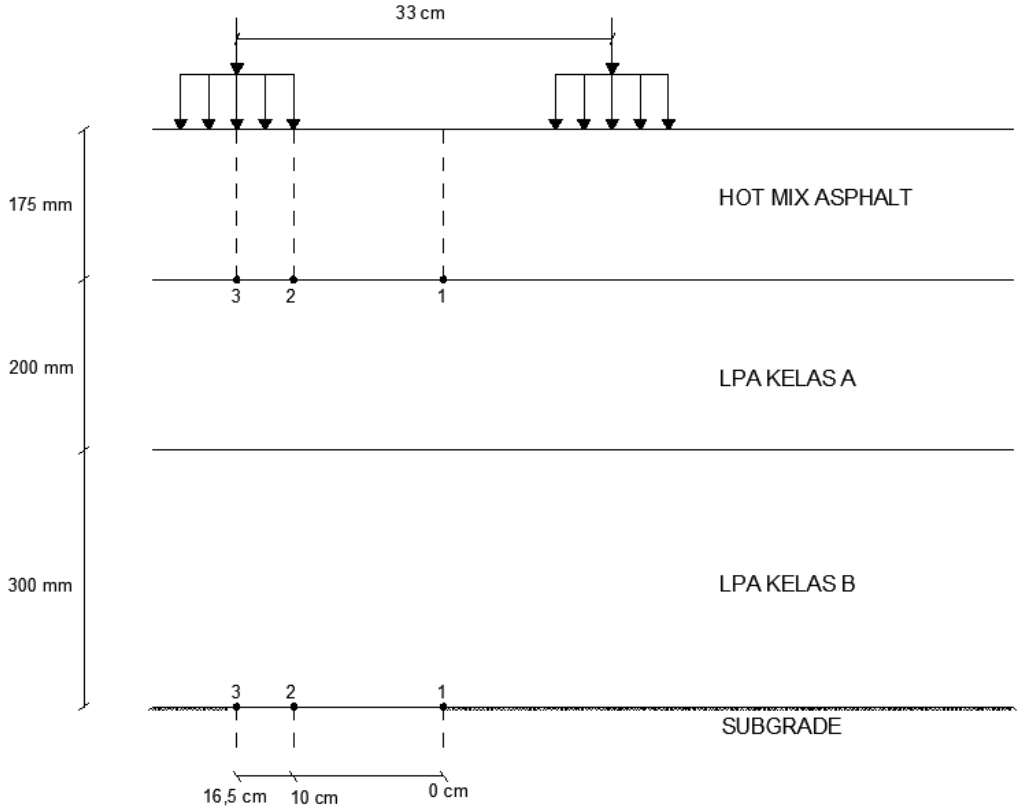
   Pada menu *Load* ini akan di input data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan.

   g. *Load* = 1 (*single axle road,* roda gandar tunggal) digunakan beban sumbu standar 8160 kg.
   h. *CR,* berdasarkan nilai jarak antar beban = 11 cm.
   i. *CP,* berdasarkan nilai tekanan ban =0,55 MPa = 550 KPa.
   j. *YW,* merupakan jarak antar roda arah y. Pada analisis ini karena roda merupakan roda *single axle dual tries* maka nilai *YW* = 33 cm.
   k. *XW,* merupakan jarak antar roda arah x. Nilai *XW* = 0.
   l. *NPT,* merupakan jumlah pengulangan beban berdasarkan jumlah *tire spacing*. Nilai yang disikan pada *NPT* = 3



Gambar 5.8 ***Plan View of Multiple Wheels***

Pada analisis ini digunakan *single axle with dual tires*, sehingga nilai YW adalah 33 cm dan nilai XW adalah 0. Nilai koordinat tinjauan berdasarkan jenis roda dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Tabel 5.11 berikut.



Gambar 5.9 Koordinat Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda

Tabel 5.11 Koordinat XPT dan YPT

Koordinat Tujuan	XPT	YPT
1	0	0
2	0	10
3	0	16,5

6. *Viscoelastis*

   a. General

   Load Duration =0,1

   Number of viscoelastic layers = 1

   Number of time durations for creep compliances *=11*

b. *Time*

Creep compliaces dihitung menggunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut

Tabel 5.12 ***Time of Durations for Creep Complainces***

Sequences	***Time***
1	0,001
2	0,003
3	0,01
4	0,03
5	0,1
6	0,3
7	1
8	3
9	10
10	30
11	100

(Sumber : Huang, 2004)

c. *Layer*

Nilai beta (β) = 0,113(Huang, 2004)

Temperature = 25°C

d. *Creep Compliances*

Pada menu *creep compliances*, nilai angka-angka *creep compliances* akan secara otomatis terisi pada menu ini. Nilai *creep compliances* adalah sama dengan NTYME pada *Viscoelastic General Information*. Satuan pada waktu NYTME akan dikonversikan secara otomatis ke kPa di menu ini.

Untuk nilai *creep compliances* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Nilai ***Creep Compliances***

Time	***Creep***
0,001	$9{,}162 \times 10^{-7}$
0,003	$9{,}303 \times 10^{-7}$
0,01	$9{,}778 \times 10^{-7}$
0,03	$1{,}098 \times 10^{-6}$
0,1	$1{,}393 \times 10^{-6}$
0,3	$1{,}746 \times 10^{-6}$
1	$2{,}152 \times 10^{-6}$
3	$2{,}599 \times 10^{-6}$
10	$3{,}276 \times 10^{-6}$
30	$5{,}095 \times 10^{-6}$
100	$1{,}146 \times 10^{-5}$

(Sumber : Huang, 2004)

e. *Temperature*

Pada menu temperatur sama dengan temperatur pada menu *layer* yakni 25°C.

Setelah seluruh data terisi dalam program *KENPAVE* pada setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *KENPAVE*. Data akan di *running* dengan klik menu *KENLAYER*. Kemudian untuk melihas hasil analisis tegangan dan regangan , klik menu *editor* dan buka nama *file*.

7. Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting

Output dari analisis menggunakan *KENLAYER* pada program *KENPAVE* adalah nilai tegangan dan regangan yang terajadi pada perkerasan lentur jalan. Hasil analisis *KENLAYER* untuk *single axle road* (roda gandar tunggal), respon yang dapat diidentifikasi dan dapat dianalisis hanya *vertical compressive strain* yang terdapat di permukaan tanah dasar dan *horizontal tensile strain* yang terletak dibawah aspal. Tabel 5.14 merupakan *output* tegangan dan regangan ketika struktur perkerasan jalan telah dibebani berdasarkan koordinat pada Gambar 5.7 .

Tabel 5.14 Hasil Perhitungan *KENLAYER* Perkerasan Eksisting

Point	Koordinat *Vertica*l	*Vertical Strain*	*Horizontal Strain*
1	17,495	0.0003012	0.00021510
	17,505	0.0004753	0.00021510
	67,495	0.0001485	0.00007751
	67,505	0.0001580	0.00077500
2	17,495	0.0002354	0.00021420
	17,505	0.0003801	0.00021430
	67,495	0.0001593	0.00008089
	67,505	0.0001697	0.00008089
3	17,495	0.0001959	0.00020810
	17,505	0.0003220	0.00020810
	67,495	0.0001613	0.00008153
	67,505	0.0001719	0.00008152

8. Transfer Function Perkerasan Eksisting

Setelah mendapatkan nilai tegangan dan regangan, selanjutnya adalah analisis kerusakan *fatigue cracking, permanen deformation,* dan *rutting* dalam menentukan jumlah repitisi beban. Repitisi beban dilakukan dengan cara menghitung nilai Nf (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*), Nr (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *rutting*), dan Nd (Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi.

a. Perhitungan Nf, Nr, Nd

1) Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* dihitung berdasarkan Rumus 3.1. Nilai regangan yang digunakan adalah nilai *horizontal strain* maksimum di koordinat 17.495

$Nf = 0{,}0796 \times (\varepsilon t)^{-3{,}921} |E^*|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796 \times (0{,}000281)^{-3{,}921} |1.348.000|^{-0{,}854}$

$= 111.141.140{,}9$ *ESAL*

2) Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting* dihitung berdasarkan Rumus 3.2, nilai regangan yang digunakan adalah nilai *vertical strain* di koordinat 17.495

$Nr = f4\ (\varepsilon c)^{-f5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}0001959)^{-4{,}477}$

$= 7.930.470$ *ESAL*

3) Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* dihitung berdasarkan Rumus 3.3, nilai regangan yang digunakan adalah nilai *vertical strain* di koordinat 67.505

$Nd = f4\ (\varepsilon c)^{-f5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}\ (0{,}000158)^{-4{,}477}$

$= 97.679.302{,}88$ *ESAL*

b. Kontrol prediksi umur pelayanan jalan

Prediksi umur pelayanan jalan dapat diketahui dari menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation,* mengetahui jumlah lalu lintas harian rerata, nilai *VDF*, DD dan DL yang didapat dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2017. Untuk mendapatkan nilai lalu lintas harian rerata tahun 2017, dari data sekunder yang didapat dari DPUP ESDM (Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Energi Sumber Daya Alam) yaitu LHR (Lintas Harian Rata-rata) tahun 2017 dengan pertumbuhan lalu lintas sebesar 3,5% asumi pertumbuhan lalu lintas sebesar 5% didapatkan data lalu lintas harian rerata 2017 seperti pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Lalu Lintas Harian Rata-rata

Jenis Kendaraan	LHR 2017
veh 1	3263
veh 2	757,67
veh 3	1
veh 4	24
veh 5a	1
veh 5b	1
veh 6a	5,33
veh 6b	114,33
veh 7a	0,13
veh 7b	0
veh 7c	0,56
veh 8	4

Jalan Klangon – Tempel menggunakan sistem jalan dua arah, sehingga untuk nilai DD yang digunakan adalah 0,5. Untuk faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL) , Jalan Klangon – Tempel bernilai 1 karena jumlah

lajur per arah adalah 1. Nilai *VDF* masing-masing kendaraan dapat dilihat pada Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017. Prediksi umur pelayanan jalan dapat dihitung dengan menggunakan Rumus 3.7

1) Prediksi umur pelayanan jalan akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* dengan i = 3,5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

111.141.140,9 $= (1{,}15 \times 0{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) +$

$(1{,}15 \times 1 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) +$

$(6{,}12 \times 0{,}55 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) +$

$(131{,}2 \times 5{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) +$

$(0{,}14 \times 8{,}2 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (0$

$\times 11{,}8 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035}) + (0{,}64 \times$

$11 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}035})$

UR = 98 Tahun

Dengan asumsi i = 5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 $= (1{,}22 \times 0{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1$

$\times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (1{,}22 \times 1 \times 365 \times 0{,}5 \times 1$

$\times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (6{,}48 \times 0{,}55 \times 365 \times 0{,}5 \times 1$

$\times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (138{,}97 \times 5{,}3 \times 365 \times 0{,}5 \times 1$

$\times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (0{,}15 \times 8{,}2 \times 365 \times 0{,}5 \times 1$

$\times \frac{(1+0{,}01 \times 0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01 \times 0{,}05}) + (0 \times 11{,}8 \times 365 \times 0{,}5 \times 1$

$\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,68× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$)

UR = 76 Tahun

2) Prediksi umur pelayanan jalan akan mengalami kerusakan *rutting* dengan i = 3,5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

7.930.470,642 = (1,15 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (1,15 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (6,12 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (131,2 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,14 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,64× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$)

UR = 32 Tahun

Dengan asumsi i = 5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 = (1,22 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (1,22 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (6,48 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (138,97 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,15 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1

$\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,68× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$)

UR = 27 Tahun

3) Prediksi umur pelayanan jalan akan mengalami kerusakan *permanent deformation* dengan i = 3,5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

97.679.302,88 = (1,15 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (1,15 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (6,12 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (131,2 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,14 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$) + (0,64× 11 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}035)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}035}$)

UR = 94 Tahun

Dengan asumsi i = 5%

$CESA = \Sigma(\text{LHRT}_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

176.377.787 = (1,22 × 0,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (1,22 × 1 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (6,48 × 0,55 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (138,97 × 5,3 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0,15 × 8,2 × 365 × 0,5 ×1 $\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}$) + (0 × 11,8 × 365 × 0,5 ×1

$$\times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05}) + (0{,}68\times 11 \times 365 \times 0{,}5 \times 1 \times\frac{(1+0{,}01\times0{,}05)^{UR}-1}{0{,}01\times0{,}05})$$

UR = 73 Tahun

9. Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis dari evaluasi perkerasan eksisting menggunakan sub program *KENLAYER* diatas, dapat disimpulkan bahwa jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 111.141.140,9 *ESAL,* untuk jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *rutting* adalah sebesar 7.930.470,642 *ESAL* dan untuk jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* adalah sebesar 97.679.302,88 *ESAL*. Setelah dilakukan analisis prediksi umur pelayanan, Jalan Klangon – Tempel akan mengalami kerusakan *fatigue cracking* di umur pelayanan 98 tahun , untuk kerusakan *rutting* akan mengalami kerusakan di umur pelayanan 32 tahun, dan untuk kerusakan *permanent deformation* akan mengalami kerusakan di umur pelayanan 94 tahun.

Analisis beban lalu lintas pada jumlah repitisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting

Beban Lalu lintas (*ESAL*)	Beban Repitisi (*ESAL*)			Analisis Beban Lalu lintas
2.017.492,458	Desain Rencana	Nf	111.141.140,9	Nf > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nr	7.930.470,642	Nr > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nd	97.679.302,88	Nd > Beban Lalu lintas (Iya)

Dari hasil evaluasi dari Tabel 5.16 diatas, tebal perkerasan eksisting dengan menggunakan metode Bina Marga 2013 menggunakan sub program *KENLAYER* pada program *KENPAVE,* dari perencanaan tersebut dengan

beban lalu lintas rencana jumlah repitisi beban Nf, Nr, dan Nd lebih besar dari beban lalu lintas.

5.3 Pembahasan

Setelah melakukan analisis desain perkerasan lentur Jalan Klangon – Tempel dengan menggunakan metode mekanistik empiris, didapatkan beberapa hasil sebagai berikut ini.

1. Evaluasi struktur perkerasan lentur eksisting yang dilakukan dengan metode mekanistik empiris pemodelan linear elastik dan viskoelastik.
2. Nilai regangan maksimum perkerasan lentur eksisting Jalan Klangon – Tempel menggunakan metode mekanistik empiris dibantu dengan program *Kenpave* sub program *Kenlayer* dengan pemodelan linear elastik dan viskoelastik.
3. Perbandingan prediksi umur masa layanan struktur perkerasan eksisting dari program *Kenpave*.
4. Perbedaan Program *KENPAVE* pemodelan Elastik Linear dan Viskoelastik.

5.3.1 Evaluasi Perkerasan Lentur Eksisting Jalan Klangon – Tempel dengan Metode Mekanistik Empirik Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik

Jalan Klangon – Tempel merupakan jalan yang menggunakan perkerasan lentur dengan jenis penangangan yaitu rehabilitasi jalan. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Sumber Daya Alam D.I.Yogyakarta, tebal perkerasan eksisting yang digunakan adalah sebagai berikut.

AC – WC = 40 mm
AC – BC = 60 mm
AC – Base = 70 mm
Lapis Pondasi Agregat A = 200 mm
Lapis Pondasi Agregat B = 300 mm

Pada hasil analisis pada program *Kenpave* sub program *Kenlayer* untuk pemodelan elastik linear, beban repitisi perkerasan yang diperoleh melebihi beban

lalu lintas yang terjadi. Sehingga Perkerasa jalan eksisting Klangon – Tempel masih memadai dalam menahan beban lalu lintas dengan perkerasan eksisting tersebut. Dalam penelitian oleh Hakim (2018), dengan perkerasan eksisting yang sama menggunakan Metode Bina Marga 2013 didapatkan beban lalu lintas rencana jumlah repetisi beban *Nf*, *Nr*, dan *Nd* lebih besar dari beban lalu lintas dengan pemodelan liniear elastik.

Hasil beban lalu lintas terhadap beban gandar dapat dilihat pada Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Hasil Analisis Beban Perkerasan Eksisting Pemodelan Linear Elastik

Beban Lalu lintas (*ESAL*)	Beban Repitisi (*ESAL*)			Analisis Beban Lalu lintas
2.017.492,458	Desain Rencana	Nf	176.377.787,8	Nf > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nr	25.031.114,85	Nr > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nd	126.338.768,2	Nd > Beban Lalu lintas (Iya)

Pada hasil analisis pada program *Kenpave* sub program *Kenlayer* untuk pemodelan viskoelastik, beban repitisi perkerasan yang diperoleh juga melebihi beban lalu lintas yang terjadi. Sehingga Perkerasan jalan eksisting Klangon – Tempel masih memadai dalam menahan beban lalu lintas dengan perkerasan eksisting tersebut. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Suwanda (2020), pada pemodelan viskoelastik didapatkan hasil beban repitisi yang mendekati pada bagian nilai *fatigre cracking*. Akan tetapi, untuk nilai beban repitisi pada *rutting* dan *permanent deformation,* memiliki nilai yang terpaut jauh. Hal ini terjadi diakibatkan dari perbedaan tebal pada suatu lapisan khususnya pada lapisan pondasi atas dan bawah dan juga nilai dari LHR setiap jalan yang berbeda. Semakin kecil tebal perkerasann maka semakin kecil juga nilai repeitisi beban yang dihasilkan.

Hasil beban lalu lintas terhadap beban gandar dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

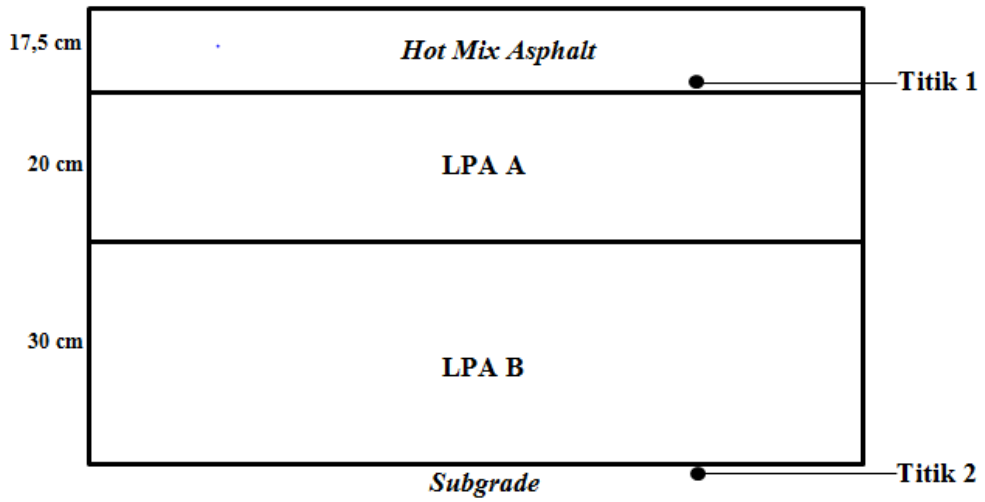
Tabel 5.18 Hasil Analisis Beban Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik

Beban Lalu lintas (*ESAL*)	Beban Repitisi (*ESAL*)			Analisis Beban Lalu lintas
2.017.492,458	Desain Rencana	Nf	111.141.140,9	Nf > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nr	7.930.470,642	Nr > Beban Lalu lintas (Iya)
2.017.492,458		Nd	97.679.302,88	Nd > Beban Lalu lintas (Iya)

5.3.2 Nilai Tegangan dan Regangan Perkerasan Lentur Eksisting Jalan Klangon – Tempel Menggunakan Metode Mekanis Empirik Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik

Program *Kenpave* sub program *Kenlayer* ini membantu *user* untuk memperkirakan tingkat kerusakan perkerasan yang mengacu kepada sifat-sifat fisik perkerasan seperti modulus elastisitas, *poisson's ratio*, faktor lingkungan dan tebal perkerasan. Sifat-sifat perkerasan akan membantu dalam menghitung respon perkerasan berupa tegangan dan regangan tiap lapisan. Untuk mengetahui seberapa perkerasan mampu menahan beban yang melintas, nilai tegangan dan regangan ini termasuk kedalam parameter yang penting.

Pembacaan nilai tegangan dan regangan berbeda pada tiap lapisan dan titik tinjau kerusakan. Untuk perkerasan eksisting, pada kerusakan *fatigue cracking* nilai kerusakan dibaca pada *tangential stress* kedalaman 17,495 cm yaitu pada lapisan permukaan bagian bawah, nilai pada kerusakan *rutting* dibaca pada *vertical stress* kedalaman 17,495 cm, sedangkan pada kerusakan *permanent deformation* dibaca pada *vertical stress* kedalaman 67,495 yang terletak pada lapisan tanah dasar bagian atas (Huang, 2004). Penggambaran lebih jelas dapat dlihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Letak Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Lentur Eksisting

Pada hasil analisis sub program *Kenlayer* untuk pemodelan linear elastik, nilai regangan yang menyebabkan kerusakan *fatigue cracking* 0,0001912, untuk *rutting* 0,000233, dan *permanent deformation* 0,0001623. Dalam hal ini, kerusakan yang akan tejadi lebih dahulu adalah *rutting* (alur). Dalam urutan kerusakan yang akan terjadi pada pemodelan ini adalah *rutting*, *permanent deformation* dan *fatige cracking*. Dilihat dari repitisi beban yang ditujukan pada Tabel 5.17 diperoleh nilai repetisi beban yang lebih besar dari beban lalu lintas rencana sebesar 2.017.492,458 *ESAL*. Repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol kerusakan *rutting* sebesar 25.031.114,85 *ESAL* > 2.017.492,458 *ESAL*. Berdasarkan hasil tersebut, perkerasan eksisting dikatakan aman akan tetapi akan terlebih dahulu mengalami kerusakan *rutting* karena nilai repetisi beban mendekati nilai beban lalu lintas. Hal serupa juga ditemukan untuk terjadinya kerusakan *rutting* terlebih dahulu yang dilakukan oleh Ramadhani dan Fauziah (2018) dengan menggunakan metode Bina Marga 2013.

Sedangkan untuk pemodelan viskoelastik nilai regangan yang menyebabkan terjadinya kerusakan untuk *fatigue cracking* 0,000214, untuk *rutting* 0,000301, dan untuk *permanent deformation* 0,000172. Hal yang serupa pada pemodelan elastik, untuk pemodelan viskoelastik juga yang akan terlebih dahulu terjadi kerusakan adalah *rutting* (alur). Dilihat dari repitisi beban yang ditujukan pada Tabel 5.18 diperoleh nilai repetisi beban yang lebih besar dari

beban lalu lintas rencana sebesar 2.017.492,458 *ESAL*. Repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol kerusakan *rutting* sebesar 7.930.470,642 *ESAL* > 2.017.492,458 *ESAL*. Berdasarkan hasil tersebut, perkerasan eksisting dikatakan aman akan tetapi akan terlebih dahulu mengalami kerusakan *rutting* karena nilai repetisi beban mendekati nilai beban lalu lintas. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Suwanda (2020), pada pemodelan viskoelastik Metode Bina Marga 2017 kerusakan yang terjadi berbeda dari penelitian ini. Kerusakan yang terjadi terlebih dahulu adalah *permanent deformation.* Perbedaan ini terjadi karena tiap lapisan berbeda-beda pada tinjauan penelitian dan makin tipis tebal perkerasan maka makin kecil nilai beban repetisi beban yang dihasilkan.

5.3.3 Prediksi Sisa Umur Pelayanan Perkerasan Lentur Eksisting Jalan Klangon – Tempel Menggunakan Metode Mekanis Empirik Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik

Dalam penelitian yang telah dilakukan, didapat prediksi sisa umur pelayanan dari tebal perkerasan eksisting menggunakan angka beban repitisi dari tiap-tiap kerusakan sehingga dapat diketahui umur pelayanan sampai terjadi kerusakan. Untuk mendapatkan umur pelayanan ini dilakukan dengan mengolah angka beban gandar tiap kerusakan menggunakan data-data yang ada pada Bina marga 2017 seperti LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas.

Untuk perkerasan lentur eksisting pemodelan linear elastik dengan tebal perkerasan tiap lapisan *AC-WC* 40 mm, *AC-BC* 60 mm, *AC-Base* 75 mm, LPA kelas A 200 mm, dan LPA kelas B 300 mm didapatkan sisa umur pelayanan untuk pemodelan linear elastik pada kerusakan *fatigue cracking* 111 tahun, pada kerusakan *rutting* 58 tahun dan pada kerusakan *permanent deformation* 101 tahun. Untuk asumsi dengan pertumbuhan lalu lintas jogja menjadi 5%, kerusakan *fatigue cracking* 85 tahun, pada kerusakan *rutting* 47 tahun, dan pada kerusakan *permanent deformation* 78 tahun. Dari semua hasil tersebut, dari pemodelan linear elastis untuk perkerasan lentur eksisting Bina Marga 2013 dinyatakan aman dan mampu menahan beban lebih dari desain rencana yaitu 20 tahun.

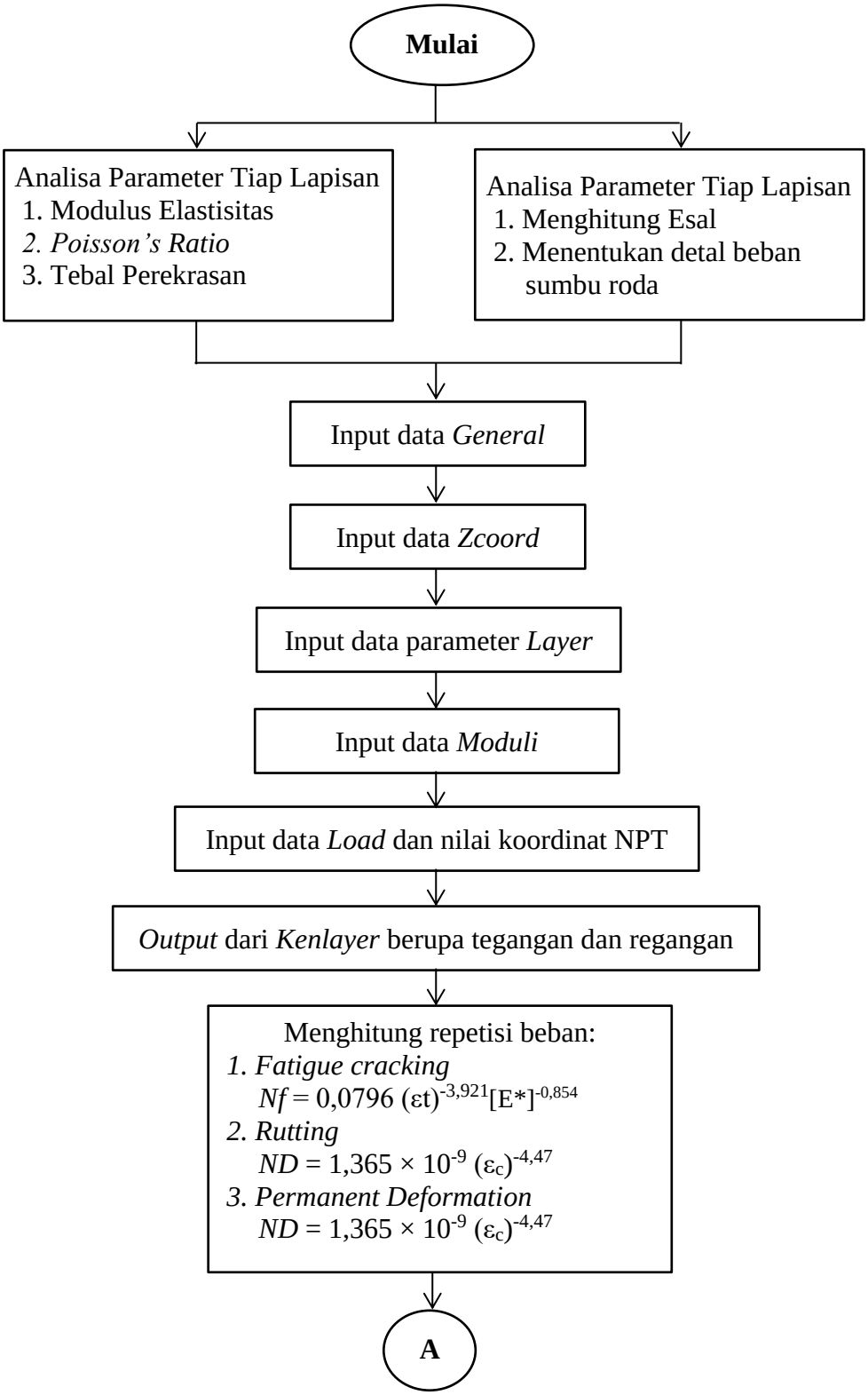
Pada pemodelan viskoelastik dengan tebal perkerasan tiap lapisan *AC-WC* 40 mm, *AC-BC* 60 mm, *AC-Base* 75 mm, LPA kelas A 200 mm, dan LPA kelas B 300 mm didapatkan sisa umur pelayanan untuk pemodelan viskoelastik pada kerusakan *fatigue cracking* 98 tahun, pada kerusakan *rutting* 32 tahun dan pada kerusakan *permanent deformation* 94 tahun. Untuk asumsi dengan pertumbuhan lalu lintas jogja menjadi 5%, kerusakan *fatigue cracking* 76 tahun, pada kerusakan *rutting* 27 tahun, dan pada kerusakan *permanent deformation* 73 tahun. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Suwanda (2020) pada pemodelan viskoelastik, ketiga jenis kerusakan yang terjadi dengan perkerasan eksisting Bina Marga 2017 juga melebihi dari umur rencana jalan yaitu 20 tahun sehingga jalan tersebut dikatakan aman dan mampu menahan hingga umur rencana. Akan tetapi pada kerusakan *permanent deformation* yang akan terlebih dahulu terjadi apabila perkerasan lentur mengalami kerusakan dengan umur pelayanan 23 tahun mendekati umur rencana. Perbedaan ini terjadi karena objek tinjauan jalan memiliki tebal lapisan yang berbeda dari penelitian yang dilakukan dan juga LHR yang ada pada jalan tersebut.

5.3.4 Perbedaan Program *Kenpave* Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik

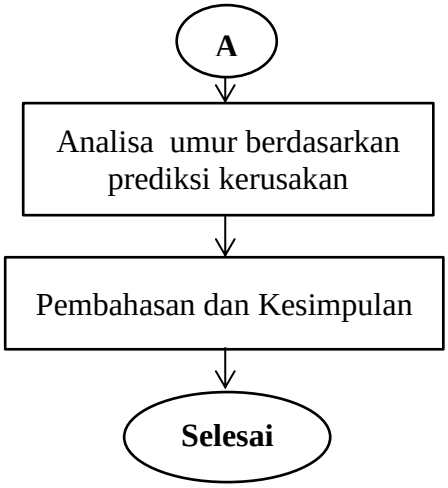
Perbedaan pemodelam linear elastik dan viskoelastik disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Perbedaan Pemodelan Linear Elastik dan Viskoelastik

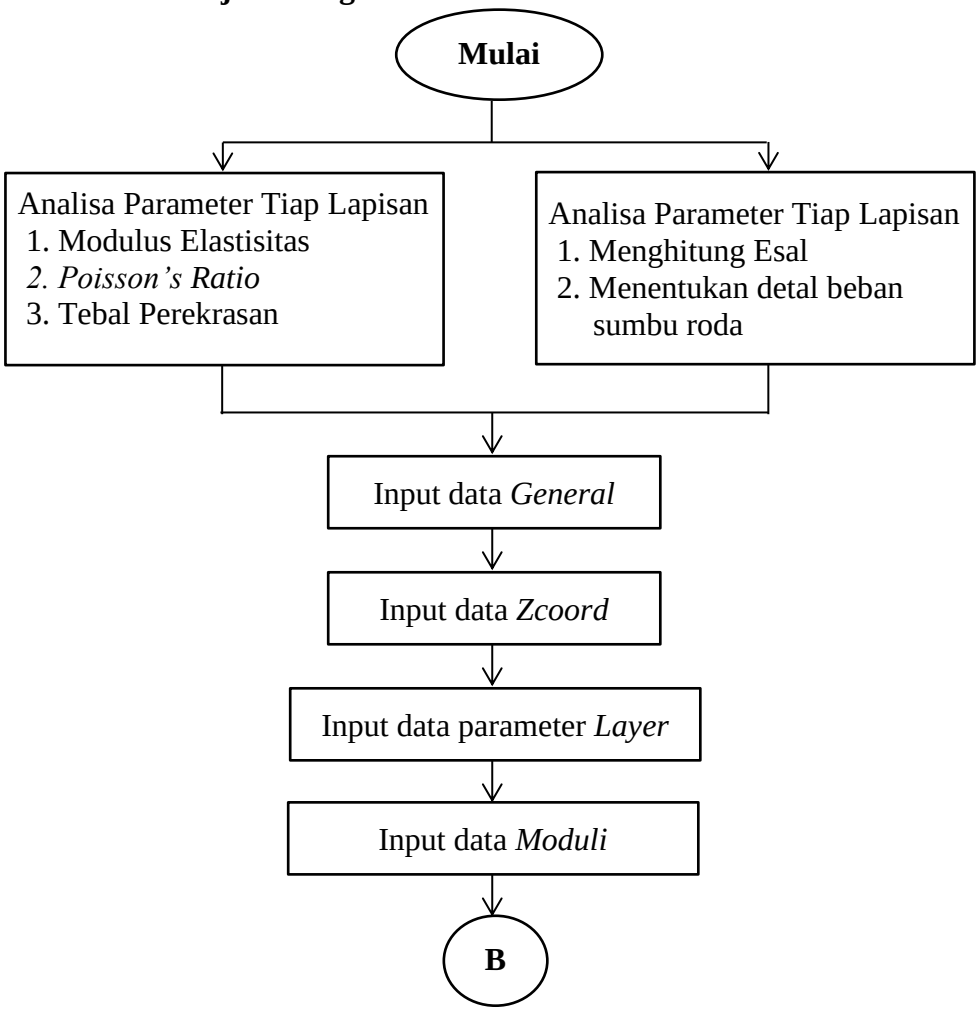
Perbedaan	Elastik Linear	Viskoelastik
Konsep	Semua lapisan dianggap memiliki sifat elastis yang berarti lapisan akan kembali ke awal ketika tegangan dilepaskan dan deformasi sebanding dengan beban yang diberikan.	Memiliki sifak viskoelastis pada karakteristik material dan elastis pada pondasi sehingga lapisan tidak kembali langsung ke bentuk semula setelah menerima tegangan
Parameter	Karena memiliki sifat elastis, maka pemodelan menggunakan Modulus Elastisitas	Dalam pemodelan menggunakan input data *creep compliances* tiap lapisan, *time of durations for creep compliances* dan input data temperatur perkerasan tahunan
Asumsi Desain	Tiap lapisan bersifat elastis, sehingga tiap lapisan memilik Modulus Elastisitas sendiri	Tiap lapisan bersifat viskoelastik, tiap lapisan modulus elastisitas tidak konstan
Prosedur	Dapat dilihat pada Gambar 5.9	Dapat dilihat pada Gambar 5.10



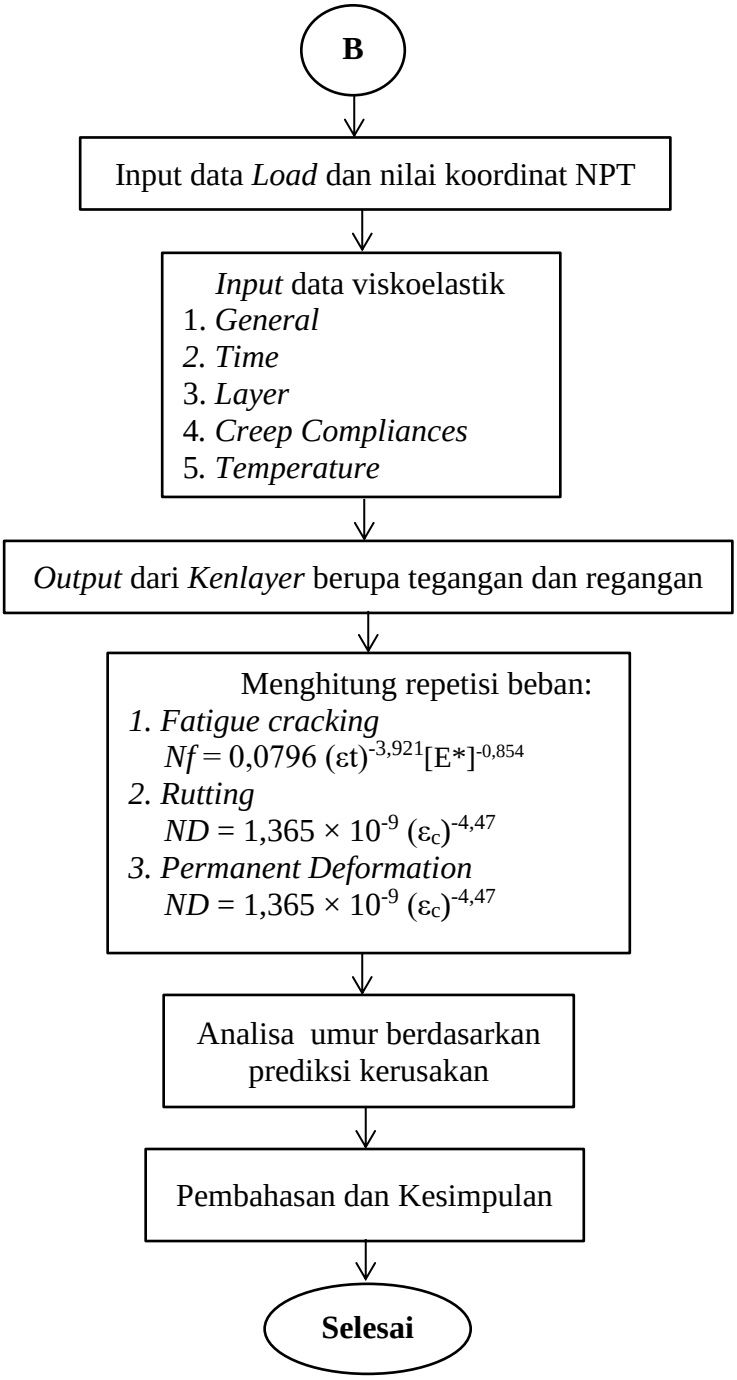
Gambar 5.11 Bagan Alir Prosedur Pemodelan Linear Elastik



Gambar 5.11 Lanjutan Bagan Alir Prosedur Pemodelan Linear Elastik



Gambar 5.12 Bagan Alir Prosedur Pemodelan Viskoealastik



Gambar 5.12 Lanjutan Bagan Alir Prosedur Pemodelan Viskoelastik

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang didapatkan dari evaluasi tebal perkerasan perkerasan lentur dengan pendekatan metode mekanistik-empiris berdasarkan teori lapis elastik dan lapis viskoelastik studi kasus pada ruas jalan Klangon – Tempel, didapatkan kesimpulan dari beberapa hal sebagai berikut.

1. Dalam pemodelan elastik linear perkerasan lentur eksisting Bina Marga 2013, didapatkan beban repetisi beban pada tiap-tiap perkiraan kerusakan yang akan terjadi. Nilai repitisi beban untuk kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) sebesar 176.377.787,8 *ESAL*, untuk nilai kerusakan retak alur (*rutting*) 25.031.114,85 *ESAL* dan untuk nilai kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*) sebesar 126.338.768,2 *ESAL*. Pada pemodelan ini, kerusakan yang akan terjadi terlebih dahulu adalah kerusakan alur (*rutting*) karena mendekati dari beban lalu lintas yang terjadi yaitu 25.031.114,85 *ESAL* > 2.017.492,458 *ESAL*.
2. Dalam pemodelan viskoelastik perkerasan lentur eksisting Bina Marga 2013 didapatkan, beban repetisi beban pada tiap-tiap perkiraan kerusakan yang akan terjadi. Nilai repitisi beban untuk kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) sebesar 111.141.140,9 *ESAL*, untuk nilai kerusakan retak alur (*rutting*) 7.930.470,642 *ESAL* dan untuk nilai kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*) sebesar 97.679.302,88 *ESAL*. Pada pemodelan ini, kerusakan yang akan terjadi terlebih dahulu adalah kerusakan alur (*rutting*) karena mendekati dari beban lalu lintas yang terjadi yaitu 7.930.470,642 *ESAL* > 2.017.492,458 *ESAL*.
3. Nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan pada pemodelan linear elastik untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,0001912 pada kedalaman 17,495 cm, kerusakan *rutting* sebesar 0,000233 pada

kedalaman 17,495 cm, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,0001623 pada kedalaman 67,495 cm. Pada pemodelan viskoelastik untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,000214 pada kedalaman 17,495 cm, kerusakan *rutting* sebesar 0,000301 pada kedalaman 17,495 cm, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,000172 pada kedalaman 67,495 cm

4. Untuk masa pelayanan dari tiap perkerasan dengan pemodelan elastik linear dan viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut ini.

Tabel 6.1 Masa Pelayanan Perkerasan Lentur Eksisting

Jenis Kerusakan	Perkerasan Bina Marga 2013 (Tahun)			
	Linear Elastis i = 3,5%	Viskoelastis i = 3,5%	Linear Elastis i = 5%	Viskoelastis i = 5%
Fatigue Cracking	111	98	85	76
Rutting	58	32	47	27
Permanent Deformation	101	94	78	73

5. Perbedaan dari program *Kenpave* untuk pemodelan linear elastis dan viskoelastis adalah sebagai berikut.
   a. Dalam pemodelan linear elastis setiap lapisan dianggap memiliki sifat elastis yang artinya setiap lapisan akan kembali ke awal ketika tegangan dilepaskan dan deformasi sama dengan beban yang diterapkan. Oleh karena itu persamaan linear elastis menggunakan Modulus Elastisitas (E) dikarenakan semua lapisan dianggap konstan.
   b. Sedangkan dalam pemodelan viskoelastik semua lapisan dianggap viskoelastis. Viskoelastis berarti perilaku yang ditunjukan oleh keseluruhan deformasi secara statik maupun dinamik yang ketika diberi tegangan tidak segera dan tidak dapat langsung kembali ke bentuk semula. Oleh karena itu pemodelan viskoelastis tidak menggunakan modulus elastitisas (E) akan tetapi menggunakan input

data *creep compliances* tiap lapisan, *time of durations for creep compliances* dan data input temperatur perkerasan tahunan.

6.2 Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, adapun saran yang diberikan adalah sebagai berikut.

1. Pihak perencana dapat menentukan metode metode terbaru agar memberikan perkerasan alternatif yang lebih aman dan efisien.
2. Kasus *overloading* sebaiknya diperhatikan, karena di Indonesia sering dijumpai kasus *overloading* yang menyebabkan umur perkerasan hampir tidak pernah sesuai rencana perkerasan yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, A.H.F., Subagio, B.S., Hariyadi, E.S,. Weningtyas, W. 2015. Evaluasi Struktural Perkerasan Lentur Menggunakan Metode *ASSHTO* 1993 dan Metode Bina Marga 2013. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.22 No.2. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Emor, E.K.M ., Lalamentik, L.G.J., Wanni, J.E. 2018. Pengaruh Beban Gandar Kumulatif Terhadap Penurunan Kinerja Jalan. *Jurnal Sipil Statik*. Vol 6 No.4. Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Hakim, I.N 2019. Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lenut Pada Ruas Jalan Pakem – Prambanan Untuk Mengantisipasi Peningkatan Kelas Jalan. *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

Oktavianadin, D.T.A 2018. Perancangan Perkerasan Kaku Pada Simpang Bersinyal Seturan Berdasarkan Metode *AASHTO* 1993 Dan Metode Bina Marga 2017. *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Ramadhani, R.I dan Fauziah, M. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik-Empiris Menggunakan Program *KENPAVE* pada Ruas Jalan Jogja-Solo. *Prosiding CEES 2018: ISBN 978-602-71762-6-3*. Yogyakarta

Suwanda, M.A, 2020, Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik Pada Ruas Jalan Tempel-Pakem Yogyakarta, Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia.

Purnaningrum, K.N. 2018. Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan *AASHTO* 1993 Menggunakan Data Lendutan. *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

KENPAVE. *Tugas Akhir*, *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatra Utara* Universitas Sumatera Utara, Medan.

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

The Asphalt Institute, 1970. *Thickness Design-Full Depth Ashpalt Pavement Structure for Highways and Streets* . Maryland

Widiastuti, A.P 2018. Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan LenturMenggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas jalan Legundi-Kanigoro-Planjan. *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Yoder, E.J. and Witzcak, M.W., 1975, *Principles of Pavement Design, 2nd Edition*, John Willey & Son, Inc. New York

LAMPIRAN

REKAPITULASI HASIL SURVEI PERHITUNGAN LALU LINTAS																		
BIDANG BINA MARGA DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH PROPINSI DIY																		
TAHUN ANGGRAN 2005																		
No	Nomor Ruas	Rama Ruas Jalan	Panjang sesuai Mendagri dan Otda	Titik Pengenal Pangkal	Pembetulan	Lama waktu survei jam	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8
							sepeda motor, sekuter, sepeda kumbang dan roda 3	Sedan, Jeep, dan Stasiun wagon	Opelet, Pick up, Sub urban, Combi dan Minibus	Pick up, Truck, dan Mobil Hantaran	Bus Kecil	Bus Besar	Truk 2 sumbu ringan	Truk 2 sumbu sedang	Truk 3 Sumbu	Truk Gandengan	Truk Semi Trailer	Kendaraan Tidak Bermotor
							0,5	1	1	1	2,5	3	2,5	2,5	3	3	3	0
			km	km	km		Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam	Rata-rata perjam
7	40	Klangon-Tempel	22.48	14.16	-	16	3263	757,67	1	24	1	1	5,33	114,33	0,13	-	0,56	4

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.348E+06 2 3.150E+05
3 2.100E+05 4 1.500E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS
CONTACT RADIUS (CR)---------- = 11
CONTACT PRESSURE (CP)---------- = 550
NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 3
WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)---------- = 0
WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)---------- = 33

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0.000 0.000 2 0.000 10.000
3 0.000 16.500

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	17.49500	0.02609	140.707	141.549	-282.238	-215.793
	(STRAIN)		2.335E-04	2.343E-04	-1.901E-04	-1.901E-04
1	17.50500	0.02608	140.623	143.043	4.010	16.760
	(STRAIN)		4.170E-04	4.277E-04	-1.902E-04	-1.902E-04
1	67.49500	0.01501	23.674	24.118	-8.391	-6.738
	(STRAIN)		1.407E-04	1.437E-04	-7.306E-05	-7.306E-05
1	67.50500	0.01501	23.669	24.278	0.625	1.462
	(STRAIN)		1.497E-04	1.556E-04	-7.305E-05	-7.305E-05
2	17.49500	0.02681	124.807	124.979	-254.728	-116.496
	(STRAIN)		1.889E-04	1.891E-04	-1.912E-04	-1.912E-04
2	17.50500	0.02681	124.764	125.210	3.557	34.302
	(STRAIN)		3.474E-04	3.494E-04	-1.913E-04	-1.913E-04
2	67.49500	0.01539	25.088	25.160	-8.892	-7.442
	(STRAIN)		1.504E-04	1.509E-04	-7.609E-05	-7.609E-05
2	67.50500	0.01539	25.083	25.182	0.631	1.581
	(STRAIN)		1.603E-04	1.612E-04	-7.608E-05	-7.608E-05
3	17.49500	0.02676	113.519	113.519	-233.894	-62.678
	(STRAIN)		1.612E-04	1.612E-04	-1.867E-04	-1.867E-04
3	17.50500	0.02676	113.492	113.492	3.315	41.906
	(STRAIN)		3.029E-04	3.029E-04	-1.868E-04	-1.868E-04
3	67.49500	0.01546	25.355	25.355	-8.987	-7.575
	(STRAIN)		1.523E-04	1.523E-04	-7.666E-05	-7.666E-05
3	67.50500	0.01546	25.350	25.350	0.632	1.605
	(STRAIN)		1.623E-04	1.623E-04	-7.665E-05	-7.665E-05

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	17.49500	0.02751	161.250	162.316	-195.324	-143.924
	(STRAIN)		3.012E-04	3.027E-04	-2.151E-04	-2.151E-04
1	17.50500	0.02751	161.149	163.457	5.808	20.487
	(STRAIN)		4.753E-04	4.855E-04	-2.151E-04	-2.151E-04
1	67.49500	0.01544	25.015	25.507	-8.888	-7.035
	(STRAIN)		1.485E-04	1.518E-04	-7.751E-05	-7.751E-05
1	67.50500	0.01543	25.010	25.682	0.649	1.593
	(STRAIN)		1.580E-04	1.645E-04	-7.750E-05	-7.750E-05
2	17.49500	0.02818	138.705	139.209	-172.322	-57.310
	(STRAIN)		2.354E-04	2.364E-04	-2.142E-04	-2.142E-04
2	17.50500	0.02817	138.653	139.639	4.926	41.403
	(STRAIN)		3.801E-04	3.845E-04	-2.143E-04	-2.143E-04
2	67.49500	0.01584	26.578	26.657	-9.446	-7.802
	(STRAIN)		1.593E-04	1.598E-04	-8.089E-05	-8.089E-05
2	67.50500	0.01584	26.573	26.681	0.653	1.732
	(STRAIN)		1.697E-04	1.707E-04	-8.089E-05	-8.089E-05
3	17.49500	0.02807	123.768	123.768	-155.981	-11.482
	(STRAIN)		1.959E-04	1.959E-04	-2.081E-04	-2.081E-04
3	17.50500	0.02806	123.742	123.742	4.469	51.347
	(STRAIN)		3.220E-04	3.220E-04	-2.081E-04	-2.081E-04
3	67.49500	0.01592	26.873	26.873	-9.552	-7.947
	(STRAIN)		1.613E-04	1.613E-04	-8.153E-05	-8.153E-05
3	67.50500	0.01591	26.868	26.868	0.653	1.759
	(STRAIN)		1.719E-04	1.719E-04	-8.152E-05	-8.152E-05