

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN MEKANISTIK-
EMPIRIS STRUKTUR PERKERASAN LENTUR
DENGAN PEMODELAN ELASTIK DAN
VISKOELASTIK : STUDI KASUS PADA RUAS JALAN
MILIR-SENTOLO**

***(COMPARATIVE ANALYSIS MECHANISTIC-
EMPIRICAL DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENT
WITH ELASTIC AND VISCOELASTIC METHODS :
STUDY CASE MILIR – SENTOLO ROAD SECTION)***

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



**Muh Iqbal Fajar Satria
15 511 137**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN MEKANISTIK- EMPIRIS STRUKTUR PERKERASAN LENTUR DENGAN PEMODELAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK : STUDI KASUS PADA RUAS JALAN MILIR-SENTOLO

*(COMPARATIVE ANALYSIS MECHANISTIC-
EMPIRICAL DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENT
WITH ELASTIC AND VISCOELASTIC METHODS :
STUDY CASE MILIR – SENTOLO ROAD SECTION)*

Disusun oleh:

Muh Iqbal Fajar Satria

15 511 137

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

Diuji pada tanggal 15 Februari 2022

Oleh dewan penguji

Pembimbing

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

Penguji I

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

Penguji II

Aisvah Nur Jannah, S.T., M.Sc
NIK: 205111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK : 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, 17 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



Muh Iqbal Fajar Satria
(15 511 137)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga Tugas Akhir yang berjudul Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik : Studi Kasus Ruas Jalan Milir-Sentolo ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak hambatan, namun berkat saran, kritik, doa serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Berlian Kushari, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, kritik dan saran selama pelaksanaan penyusunan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D , ibu Aisyah Nur Jannah, S.T., M.Sc dan bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan serta membimbing dan mengarahkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
3. seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan wawasan semasa perkuliahan,
4. orangtua penulis, Bapak Muhammad Bambang Setiawan dan Ibu Deviana Sunanti serta Abang beserta istri serta anaknya, Muhammad Septian Alamsyah Putra, Afra Aprilia dan Naveen Rayyanza Alamsyah yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa yang tidak terputus sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah memberikan kasih sayang yang begitu dalam ini,
5. Endah Saivira Mauliasari, terima kasih atas segala waktu, dukungan, semangat, doa dan dukungan serta memberikan nasehat-nasehat membangun kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir ini,

6. Sahabat-sahabat Amerex yang telah menemani penulis dari awal kuliah sampai sekarang menyelesaikan Tugas Akhir ini. Berkat bantuan dan motivasi mereka penulis dapat terus bertahan,
7. Saudara seperkuliahan Teknik Sipil 2015.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam Tugas Akhir ini, oleh karna itu penulis meminta maaf jika ada yang kurang berkenan dalam Tugas Akhir ini. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan semua pihak yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 1 Januari 2022

Muh Iqbal Fajar Satria
15 511 137

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program <i>Kenpave</i> | 5 |
| 2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan pendekatan <i>Layered Elastic dan Layered Viscoelastic</i> | 6 |
| 2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis | 10 |
| BAB III LANDASAN TEORI | 11 |
| 3.1 Perkerasan Lentur | 11 |
| 3.2 Metode Mekanistik Empiris | 16 |
| 3.2.1 Fungsi Transfer | 17 |

| | | |
|-------------------------------|--|----|
| 3.3 | Teori Sistem Lapis Banyak | 18 |
| 3.4 | Karakteristik Material | 21 |
| 3.4.1 | Lapisan Viskoelastik | 21 |
| 3.4.2 | Lapisan Elastik | 22 |
| 3.5 | Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Program <i>Kenpave</i> | 22 |
| 3.5.1 | Program <i>Kenpave</i> | 23 |
| 3.5.2 | Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan | 25 |
| BAB IV METODE PENELITIAN | | 29 |
| 4.1 | Metode Penelitian | 29 |
| 4.2 | Pengumpulan Data | 29 |
| 4.3 | Lokasi Penelitian | 32 |
| 4.4 | Prosedur Perancangan | 33 |
| 4.4.1 | Tahapan Penelitian | 33 |
| 4.4.2 | Prosedur Metode <i>Kenpave</i> | 34 |
| 4.4.3 | Program <i>Kenlayer</i> | 36 |
| BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN | | 44 |
| 5.1 | Desain Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program <i>Kenpave</i> Pemodelan Viskoelastik | 56 |
| 5.2 | Desain Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program <i>Kenpave</i> Pemodelan Viskoelastik | 56 |
| 5.3 | Pembahasan | 69 |
| 5.3.1 | Nilai Tegangan dan Regangan Struktur Perkerasan Eksisting untuk Pemodelan Viskoelastik dan Elastis | 71 |
| 5.3.2 | Umur Masa Layanan Struktur Perkerasan Eksisting untuk Pemodelan Viskoelastik dan Elastis | 71 |

| | |
|---|----|
| 5.3.3 Perbedaan Program <i>Kenpave</i> Pemodelan Viskoelastik dan Elastik | 72 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 77 |
| 6.1 KESIMPULAN | 77 |
| 6.2 SARAN | 78 |
| DAFTAR PUSTAKA | 79 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu | 8 |
| Tabel 3.1 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Bahan Perkerasan | 25 |
| Tabel 3.2 Nilai <i>Poisson Ratio</i> | 26 |
| Tabel 4.1 Data Nilai CBR | 30 |
| Tabel 4.2 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Milir-Sentolo | 31 |
| Tabel 5.1 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan | 44 |
| Tabel 5.2 Input General | 45 |
| Tabel 5.3 Input <i>Zcoord</i> | 47 |
| Tabel 5.4 Input Parameter <i>Layer</i> | 48 |
| Tabel 5.5 Input <i>Moduli</i> | 48 |
| Tabel 5.6 Koordinat NPT | 49 |
| Tabel 5.7 Hasil Analisis Eksisting Pemodelan Elastik | 50 |
| Tabel 5.8 Rekapitulasi Regangan Maksimum | 51 |
| Tabel 5.9 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Pemodelan Elastik | 55 |
| Tabel 5.10 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan | 56 |
| Tabel 5.11 Input General | 58 |
| Tabel 5.12 Input <i>Zcoord</i> | 59 |
| Tabel 5.13 Input Parameter <i>Layer</i> | 60 |
| Tabel 5.14 Input <i>Moduli</i> | 60 |
| Tabel 5.15 Koordinat NPT | 61 |
| Tabel 5.16 <i>Time of Durations for Creep Compliances</i> | 62 |
| Tabel 5.17 Nilai <i>Creep Compliances</i> | 63 |

| | |
|--|----|
| Tabel 5.18 Hasil Analisis Eksisting Pemodelan Viskoelastik | 64 |
| Tabel 5.19 Rekapitulasi Regangan Maksimum | 65 |
| Tabel 5.20 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik | 69 |
| Tabel 5.21 Perbedaan Pemodelan Viskoelastik dan Pemodelan Elastik | 72 |
| Tabel 6.1 Masa Pelayanan Perkerasan Lentur Eksisting | 77 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 3.1 Komponen Lapis Perkerasan Lentur | 11 |
| Gambar 3.2 Ilustrasi Distribusi Beban pada Lapis Perkerasan | 12 |
| Gambar 3.3 Jenis Tanah Dasar Ditinjau Dari Muka Tanah Asli | 16 |
| Gambar 3.4 Sistem satu lapis | 19 |
| Gambar 3.5 Sistem dua lapis | 19 |
| Gambar 3.6 Sistem tiga lapis | 20 |
| Gambar 3.7 <i>Multi-Layered Elastic System</i> | 20 |
| Gambar 3.8 Tampilan Menu Program <i>Kenpave</i> | 23 |
| Gambar 3.9 Sumbu Standar Ekuivalen | 28 |
| Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Milir-Sentolo km 21+525 sampai dengan km 22+525 | 32 |
| Gambar 4.2 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Milir-Sentolo km 21+525 sampai dengan km 22+525 | 33 |
| Gambar 4.3 Bagan Alir Tahapan Penelitian | 34 |
| Gambar 4.4 Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program <i>Kenpave</i> | 36 |
| Gambar 4.5 Tampilan Menu <i>Layerinp</i> | 37 |
| Gambar 4.6 Tampilan Menu <i>General</i> | 38 |
| Gambar 4.7 Tampilan Menu <i>Zcoord</i> | 40 |
| Gambar 4.8 Tampilan Menu <i>Layer</i> | 40 |
| Gambar 4.9 Tampilan Menu <i>Interface dengan NBOND = 1</i> | 41 |
| Gambar 4.10 Tampilan Menu <i>Interface dengan NBOND = 2</i> | 41 |
| Gambar 4.11 Tampilan Menu <i>Moduli</i> | 42 |
| Gambar 4.12 Tampilan Menu <i>Moduli for Period</i> | 42 |
| Gambar 4.13 Tampilan Menu <i>Load</i> | 43 |
| Gambar 5.1 Tampilan <i>Layerinp</i> | 45 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5.2_ <i>Data Input</i> pada Menu <i>General</i> | 46 |
| Gambar 5.3_ Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan | 47 |
| Gambar 5.4_ <i>Plan View of Multiple Wheels</i> | 49 |
| Gambar 5.5_ Tampilan <i>Layernip</i> | 57 |
| Gambar 5.6_ <i>Data Input</i> pada Menu <i>General</i> | 58 |
| Gambar 5.7_ Titik Kerusakan yang Ditinjau | 59 |
| Gambar 5.8_ <i>Plan View of Multiple Wheels</i> | 61 |
| Gambar 5.9_ Letak Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Lentur Eksisting | 71 |
| Gambar 5.10_ Bagan Alir Prosedur Pemodelan Elastik | 73 |
| Gambar 5.11 Bagan Alir Prosedur Pemodelan Viskoelastik | 75 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu lintas Harian Rata-Rata

81



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|----------------|--|
| <i>AC-WC</i> | = <i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i> |
| <i>AC-BC</i> | = <i>Asphalt Concrete-Binder Course</i> |
| <i>AC-Base</i> | = <i>Asphalt Concrete-Base</i> |
| <i>CBR</i> | = <i>California Bearing Ratio</i> |
| <i>CESA</i> | = <i>Cumulative Equivalent Standard Axle</i> |
| Cm | = sentimeter |
| <i>CP</i> | = <i>Contact Pressure</i> |
| <i>CR</i> | = <i>Contact Radius</i> |
| d | = Jarak antar roda ganda |
| DD | = Faktor distribusi arah |
| DL | = faktor distribusi lajur |
| E | = Modulus Elastisitas |
| ESA | = <i>Equivalent Standard Axle</i> |
| ESAL | = <i>Equivalent Standard Axle Load</i> |
| f_4, f_5 | = Koefisien kriteria deformasi permanen |
| i | = Faktor pertumbuhan lalu lintas\ |
| kg | = Kilogram |
| kPa | = Kilopascal |
| LHR | = Lalulintas Harian Rerata |
| LHRT | = Lalulintas Harian Rerata Tahunan |
| LPA | = Lapis Pondasi Atas |
| MKJI | = Manual Kapasitas Jalan Indonesia |
| m | = meter |
| Nd | = Nilai repetisi beban standar pemicu kerusakan <i>permanent deformation</i> |
| Nf | = Nilai repetisi beban gandar pemicu kerusakan <i>fatigue cracking</i> |

| | |
|------------|--|
| P | = Beban terpusat roda |
| R | = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas |
| UR | = Umur rencana |
| VDF | = <i>Vehicle Damage Factor</i> |
| ϵ | = regangan |
| σ | = tegangan |
| μ | = <i>poisson ratio</i> |



ABSTRAK

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dalam sektor perhubungan, terutama untuk kesinambungan distribusi barang dan jasa maupun orang. Adanya suatu sistem transportasi yang baik dan bermanfaat menjadi salah satu syarat penting bagi perkembangan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Jalan Milir-Sentolo merupakan salah satu jalur yang menghubungkan Provinsi DIY dengan Provinsi Jawa Tengah dan mendukung pengembangan wilayah Kabupaten Kulon Progo. Selain untuk menunjang sektor ekonomi wilayah Kabupaten Kulon Progo, ruas jalan Milir-Sentolo juga menjadi akses menuju Bandara Kulon Progo dari Provinsi Yogyakarta serta Jawa Tengah.

Dalam mendesain struktur perkerasan Jalan Milir-Sentolo ini menggunakan data yang dikumpulkan dari Satuan Kerja Pelaksana Jalan Nasional (P2JN). Pada penelitian ini tebal perkerasan dianalisis menggunakan metode mekanistik-empiris yaitu Program Kenpave dengan pemodelan elastik dan viskoelastik.

Setelah dilakukannya analisis dengan aplikasi *KENPAVE* dengan pemodelan elastik dan viskoelastik menggunakan tebal perkerasan eksisting *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, *AC-Base* 20 cm dan LPA kelas A 30 cm didapatkan respon repetisi beban gandar sebesar 154.797.390 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *permanent deformation* dengan pendekatan elastik dan 85.478.748 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *permanent deformation* dengan pendekatan viskoelastik. Dari repetisi beban gandar tersebut didapatkan masa layanan perkerasan lentur eksisting selama 21 tahun dengan pendekatan elastik dan 14 tahun dengan pendekatan viskoelastik. Simulasi ini menunjukkan bahwa perkerasan lentur eksisting dengan pemodelan elastik yang dirancang mampu mengakomodasi beban lalu lintas dengan baik selama umur yang direncanakan yakni 21 tahun sampai mengalami kerusakan *permanent deformation* namun untuk pemodelan viskoelastik hanya mampu menahan hingga 14 tahun sampai mengalami kerusakan *permanent deformation*.

Kata Kunci : Mekanistik-Empiris, Program *Kenpave*, Kerusakan

ABSTRACT

Roads are land transportation infrastructure that playing an important role in the transport and communications sector, especially for continuity of the distribution of goods and services as a person. The existence of a good and useful transportation system is one of the important requirements for development and improving the welfare of the community. Milir-Sentolo road is one of the routes that connects the DIY Province with Central Java Province and supports the development of the Kulon Progo district. In addition to support the economic sector at Kulon Progo district, Milir-Sentolo road also can be access road to the Kulon Progo airport from province of Yogyakarta and Central Java.

In designing the pavement structure of Milir-Sentolo road, data is collected from Satuan Kerja Pelaksana Jalan Nasional (P2JN). In this research, the pavement thickness was analyzed using the mechanistic empirical method namely KENPAVE program with elastic and viscoelastic modeling.

After analyzing using KENPAVE program with elastic and viscoelastic modeling using the existing pavement thickness AC-WC 4 cm thick, AC- BC 6 cm thick, AC-Base 20 cm thick and A class LPA 30 cm thick, the response of the axle load repetitions was 154,797,390 ESAL until permanent deformation damage happened with elastic model and 85,378,748 ESAL until permanent deformation damage happened with viscoelastic model. From the repetition of the axle load, the existing flexible pavement service life is 21 years with elastic model and 14 years with viscoelastic model. This simulation shows that the existing flexible pavement with elastic modeling is able to accommodate traffic loads well during the planned age of 21 years until it is damaged by permanent deformation, but for viscoelastic modeling it is only able to withstand up to 14 years until it is damaged by permanent deformation.

Key Words : *Mechanistic-Empiric, Kenpave program, Damage*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dalam sektor perhubungan, terutama untuk kesinambungan distribusi barang dan jasa maupun orang. Adanya suatu sistem transportasi yang baik dan bermanfaat menjadi salah satu syarat penting bagi perkembangan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Mengingat manfaatnya yang begitu penting maka pembangunan dan pemeliharaan jalan perlu untuk diprioritaskan.

Jalan Milir-Sentolo merupakan salah satu jalur yang menghubungkan Provinsi DIY dengan Provinsi Jawa Tengah dan mendukung pengembangan wilayah Kabupaten Kulon Progo. Selain untuk menunjang sektor ekonomi wilayah Kabupaten Kulon Progo, ruas jalan Milir-Sentolo juga menjadi akses menuju Bandara Kulon Progo dari Provinsi Yogyakarta serta Jawa Tengah.

Jalan Milir-Sentolo yang saat ini melayani lalu lintas harian rerata hingga mencapai 38.269 kendaraan/hari (P2JN 2017). Ruas jalan Milir-Sentolo juga merupakan jalan yang telah mengalami rekonstruksi pada tahun 2018. Struktur perkerasan ruas jalan ini merupakan perkerasan lentur dengan Lapis pondasi Atas 30 cm, AC-Base 20 cm, AC-BC 6 cm, AC-WC 4 cm. Setelah direkonstruksi, jalan ini diharapkan dapat menampung volume kendaraan yang lebih besar, khususnya setelah Bandara Kulon Progo mulai beroperasi serta dapat menahan beban angkutan berat yang melintas.

Perencanaan dari tebal perkerasan memerlukan perhitungan perencanaan volume lalu lintas untuk periode tertentu yang dinyatakan dalam istilah lalu lintas rancangan (*design traffic*). Pertimbangan pertimbangan yang harus diperhatikan mencakup besarnya beban gandar, konfigurasi dan jumlah pengulangan beban atau jumlah beban gandar total. Jalan direncanakan dengan menentukan umur rencana jalan, yaitu umur rencana yang direncanakan ketika jalan dibangun yang melayani lalu lintas dengan kondisi beban sesuai dengan perencanaan sehingga selama umur

rencana tersebut jalan dapat beroperasi dengan baik, namun pada kondisi di lapangan terdapat beberapa masalah yang sering terjadi, diantaranya berkurangnya kenyamanan dan keamanan pada saat melintas yang diakibatkan oleh kerusakan jalan terutama pada struktur perkerasannya.

Ada beberapa faktor yang membuat ruas jalan dikatakan mencapai tingkat keamanan dan kenyamanan yang tinggi yaitu direncanakan sesuai dengan metode yang telah ditetapkan. Untuk perencanaan perancangan perkerasan jalan dapat menggunakan dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan empiris dan mekanistik empiris. Metode empiris merupakan pendekatan yang menghubungkan antara kerusakan jalan dengan parameter-parameter input desain yang diformulasikan berdasarkan hubungan statistik. Untuk pengertian metode mekanistik empiris sendiri merupakan pendekatan berdasarkan karakteristik material dan kaidah mekanik, dengan meninjau respon struktur perkerasan terhadap pembebanan roda kendaraan.

Metode mekanistik empiris ini memiliki dua bagian, yang pertama adalah mekanistik yang merupakan hubungan antara respon struktur jalan (tegangan, regangan dan lendutan) dengan parameter input desain yang diformulasikan berdasarkan sifat-sifat mekanika bahan perkerasan. Sedangkan bagian kedua merupakan empiris yakni menghubungkan antara respon struktur dengan jumlah lintasan beban yang akan menyebabkan kerusakan jenis tertentu menggunakan fungsi-fungsi transfer tertentu. Keuntungan dari metode mekanistik-empiris adalah dapat menghubungkan secara lebih langsung antara pembebanan, karakteristik material perkerasan, dan kerusakan struktur perkerasan.

Berdasarkan uraian di atas, penulis akan menganalisis apakah struktur perkerasan eksisting pada ruas jalan Milir-Sentolo setelah direkonstruksi mampu mencapai umur optimum dalam menahan beban kendaraan dalam rentang waktu yang sudah direncanakan serta mencari jumlah repetisi beban dan tahun pelayanan beberapa perkerasan eksisting ruas jalan Milir-Sentolo akan mengalami kerusakan menggunakan metode mekanistik empiris dengan pemodelan viskoelastik dan pemodelan elastis yang dibantu dengan program *KENPAVE*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dapat dilihat di bawah ini.

1. Apakah desain perkerasan lentur eksisting (Bina Marga 2017) mampu menahan beban kendaraan selama umur rencana yang telah direncanakan?
2. Pada saat jumlah repetisi beban dan tahun pelayanan seberapa perkerasan struktur eksisting (Bina Marga 2017) akan mengalami kerusakan retak leleh, deformasi menurut metode mekanistik empiris dengan pemodelan viskoelastik?
3. Pada saat jumlah repetisi beban dan tahun pelayanan seberapa perkerasan struktur eksisting (Bina Marga 2017) akan mengalami kerusakan retak leleh, deformasi menurut metode mekanistik empiris dengan pemodelan elastik?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kemampuan dari perkerasan lentur eksisting (Bina Marga 2017) dalam menahan beban kendaraan selama umur rencana yang telah direncanakan.
2. Memperkirakan jumlah repetisi beban dan masa pelayanan struktur perkerasan eksisting (Bina Marga 2017) yang diusulkan akan mengalami kerusakan retak leleh dan deformasi menurut metode mekanistik empiris dengan pemodelan viskoelastik.
3. Memperkirakan jumlah repetisi beban dan masa pelayanan struktur perkerasan eksisting (Bina Marga 2017) yang diusulkan akan mengalami kerusakan retak leleh dan deformasi menurut metode mekanistik empiris dengan pemodelan elastik.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil Penelitian diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai berikut.

Dapat memperkirakan untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation* dengan pemodelan elastik dan viskoelastik pada ruas Jalan Milir - Sentolo.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, diberikan batasan masalah agar penelitian daftar terfokus. Batasan masalah tersebut sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian dilaksanakan pada Ruas Jalan Milir-Sentolo Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.
2. Data seperti LHR, nilai CBR dan tebal perkerasan eksisting menggunakan data yang diperoleh dari Kantor PPK Jombor-Yogyakarta-Karangnongko.
3. Data seperti Modulus Elastisitas, *poisson ratio*, sumbu standar ekivalen dan sebagainya menggunakan data yang diperoleh dari asumsi-asumsi dari MDP 2017, Modul Huang serta peneliti-peneliti terdahulu.
4. Perhitungan respon tegangan dan regangan menggunakan program *KENPAVE*.
5. Perhitungan dengan metode mekanistik empiris menggunakan pemodelan elastik dan viskoelastik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *Kenpave*.

Rahmawati (2017) telah melakukan penelitian pada Ruas Jalan Gumenter – Kabuaran, Kecamatan Kutowinangun, Kabupaten Kebumen. Penelitian ini menggunakan metode Analisa Komponen 1987 dan Metode *Asphalt Institute* 1999 serta menganalisis kerusakan perkerasan lentur berupa *fatigue cracking* dan *rutting* menggunakan program *Kenpave* guna mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan akibat beban lalu lintas. Pada hasil penelitian respon tegangan-regangan pada kedalaman 17,51 didapatkan nilai repetisi beban untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 143.483 ESAL (Analisa Komponen) dan 90.160 ESAL (*Asphalt Institute*). Sedangkan untuk kerusakan *rutting* didapatkan nilai repetisi beban sebesar 208.241 ESAL (Analisa Komponen) dan 99.386 ESAL (*Asphalt Institute*). Hasil dari nilai repetisi beban ini membuktikan bahwa menggunakan Analisa Komponen 1987 dan *Asphalt Institute* tidak layak untuk digunakan karena N_r lebih besar dari N_f .

Setiawan (2018) telah melakukan penelitian pada Ruas Jalan Maospati – Sukomoro, Kabupaten Magetan. Penelitian ini menggunakan metode *Asphalt Institute* dan dibantu program *Kenpave*. Setelah dilakukan analisis menggunakan program *Kenpave* didapatkan nilai repetisi beban pada kerusakan *fatigue cracking* sebesar $1,42 \times 10^{11}$, artinya nilai N_f memenuhi syarat karena melebihi persyaratan beban lalu lintas rencana sebesar $1,42 \times 10^6$. Sehingga kerusakan akan terjadi pada saat jalan telah memenuhi beban lalu lintas rencana. Sedangkan untuk kerusakan *rutting* didapatkan nilai repetisi beban sebesar $2,12 \times 10^9$, lebih besar dari beban lalu lintas rencana. dengan kata lain kerusakan *rutting* akan terjadi pada saat jalan telah memenuhi beban lalu lintas rencana.

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.

Widodo (2018) telah melakukan penelitian pada ruas jalan Magelang – Yogyakarta stasiun 11±000 sampai stasiun 12±000. Metode yang digunakan adalah metode *Pavement Condition Index (PCI)* dan Metode Bina Marga (2011) menggunakan nilai *IRI* dan nilai *SDI*. *Kenpave* digunakan untuk mengetahui respon tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas sebagai dasar analisis metode *MEPDG (Mechanistic-Empiric Pavement Design Guide)* untuk mengetahui nilai repetisi yang terjadi dan memprediksi kerusakan yang terjadi pada tahun ke – n. Kemudian memprediksi sisa umur rencana yang tersedia. Respon tegangan-regangan maks pada kedalaman 9,998 cm dengan nilai repetisi yang mampu diakomodasi pada kerusakan *rutting* sebesar 52.590.326 ESAL, *fatigue cracking* sebesar 109.907.262 ESAL dan *deformation* sebesar 20.891.833 ESAL. Sisa prediksi umur layanan akibat deformasi pada beban standar pada tahun ke-1 sebesar 75,86% dan akan tersisa sebesar 16,08% pada pertengahan tahun ke-4. Akibat *rutting* pada tahun ke-1 sebesar 91,95% dan akan tersisa umur layanan sebesar 7,82% pada pertengahan tahun ke-8 sebelum terjadi *failure* pada tahun ke- 8

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan pendekatan *Layered Elastic* dan *Layered Viscoelastic*.

Suwanda MA (2020) telah melakukan penelitian pada ruas jalan Tempel – Pakem, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan metode mekanistik empiris Bina Marga 2017 dan dibantu Program *Kenpave*. Pada penelitian ini perencana membandingkan 2 metode yaitu Bina

Marga 2013 dan Bina Marga 2017 menggunakan program *Kenpave* dengan pemodelan viskoelastik dengan pemodelan elastik. Untuk pemodelan viskoelastik didapatkan nilai kerusakan *permanent deformation* sebesar 11.594.650 ESAL, nilai kerusakan *fatigue cracking* sebesar 60.682.360 ESAL dan kerusakan *rutting* sebesar 14.504.833 ESAL dengan metode Bina Marga 2013 dan nilai kerusakan *permanent deformation* sebesar 20.360.498 ESAL, nilai *fatigue cracking* sebesar 110.135.188 ESAL dan *rutting* sebesar 28.693.872 ESAL dengan metode Bina Marga 2017. Untuk pemodelan elastik didapatkan nilai kerusakan *permanent deformation* sebesar 14.653.797 ESAL, nilai kerusakan *fatigue cracking* sebesar 118.861.382 ESAL dan kerusakan *rutting* sebesar 27.801.770 ESAL dengan metode Bina Marga 2013 dan nilai kerusakan *permanent deformation* sebesar 26.719.771 ESAL, nilai *fatigue cracking* sebesar 196.022.664 ESAL dan *rutting* sebesar 56.577.124 ESAL dengan metode Bina Marga 2017.

Hakim IN (2020) telah melakukan penelitian pada Ruas Jalan Pakem-Tempel-Prambanan menggunakan metode mekanistik empirik Bina Marga 2017 dan dibantu Program *Kenpave*. Pada penelitian ini setelah perencana melakukan analisis desain tebal perkerasan dengan menggunakan *Kenpave*, lapis perkerasan eksisting tidak dapat menahan beban selama umur rencana. Dengan lapis perkerasan eksisting, beban kerusakan *permanent deformation* struktur perkerasan hanya dapat menahan selama 18 tahun. Setelah mendesain ulang menggunakan desain lapis perkerasan alternatif, didapatkan tebal *Hot Mix Asphalt* 19 cm dan LPA 30 cm dan dapat menahan beban yang mengakibatkan kerusakan *fatigue cracking* selama 64 tahun, kerusakan *rutting* selama 27 tahun, dan kerusakan *permanent deformation* selama 22 tahun dan terdapat perbedaan tebal lapis *AC Base* yaitu untuk lapis perkerasan eksisting setebal 8cm dan untuk lapis perkerasan alternatif setebal 9 cm.

Perbandingan penelitian terdahulu tentang Program *Kenpave* dan Model pendekatan *Layered Elastic* dan *Layered Viscoelastic* disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti (Tahun) | Judul Penelitian dan Lokasi Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|-------------------|--|--|---|
| 1 | Rahmawati (2017)) | Evaluasi Tebal dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisa Komponen, <i>Austrroads, Asphalt Institute</i> dan Program <i>Kenpave</i> Proyek Jalan Gumenter-Kabuaran, Kecamatan Kutowinangun, Kabupaten Kebumen | Metode Analisa Komponen, <i>Austrroads, Asphalt Institute</i> dan Program <i>Kenpave</i> | Didapatkan nilai repetisi beban untuk kerusakan <i>fatigue cracking</i> sebesar 143.483 ESAL (Analisa Komponen) dan 90.160 ESAL (<i>Asphalt Institute</i>) sedangkan untuk kerusakan <i>rutting</i> sebesar 208.241 ESAL (Analisa Komponen) dan 99.386 ESAL (<i>Asphalt Institute</i>) |
| 2 | Setiawan (2018)) | Perbandingan Tebal dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Program <i>Kenpave</i> dan Metode <i>Asphalt Institute</i> Ruas Jalan Maospati – Sukomoro, Kabupaten Magetan | Program <i>Kenpave</i> dan Metode <i>Asphalt Institute</i> | Tebal perkerasan yang diperoleh melalui Bina Marga 1987 menunjukkan menunjukkan bahwa tebal perkerasan yang dirancang tidak mampu melayani beban lalu lintas yang direncanakan. Sedangkan tebal perkerasan yang dirancang dengan metode AASHTO 1993 mampu melayani lalu lintas yang direncanakan |
| 3 | Widiastuti (2018) | Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi-Kanigoro-Planjan | Menggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris | Respon tegangan dan regangan maksimum penyebab terjadinya <i>permanent deformation</i> terjadi di titik kritis pada permukaan tanah dasar (<i>subgrade</i>), sehingga dilakukan perhitungan beban gandar 8.000 kg dengan hasil 139.684.993 Esal dan dapat diperoleh umur perkerasan sebesar 28 tahun dimana angka tersebut melampaui angka umur rencana yang telah direncanakan oleh Bina Marga 2017 yaitu 20 tahun |

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Metode Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti (Tahun) | Judul Penelitian dan Lokasi Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|-------------------|---|---|---|
| 4 | Widodo (2018) | Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode <i>Pavement Condition Index</i> , Bina Marga dan Metode Mekanistik Empirik Dengan Program <i>Kenpave</i> Ruas Jalan Magelang – Yogyakarta stasiun 11±000 sampai stasiun 12±000 | Metode <i>Pavement Condition Index</i> , Bina Marga dan Metode Mekanistik Empirik Dengan Program <i>Kenpave</i> | Respon tegangan-regangan maksimum pada kedalaman 9,998 cm dengan nilai repitisi yang mampu di akomodasi pada kerusakan <i>rutting</i> sebesar 52.590.326 <i>ESAL</i> , <i>fatigue cracking</i> sebesar 109.907.262 <i>ESAL</i> dan untuk <i>Deformation</i> sebesar 20.891.833 <i>ESAL</i> . |
| 5 | Suwanda MA (2020) | Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik Pada Ruas Jalan Tempel-Pakem Yogyakarta | Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik Pada Ruas Jalan Tempel-Pakem Yogyakarta | Didapatkan nilai kerusakan <i>permanent deformation</i> sebesar 11.594.650 <i>ESAL</i> , nilai kerusakan <i>fatigue cracking</i> sebesar 60.682.360 <i>ESAL</i> dan kerusakan <i>rutting</i> sebesar 14.504.833 <i>ESAL</i> dengan metode Bina Marga 2013 dan nilai kerusakan <i>permanent deformation</i> sebesar 20.360.498 <i>ESAL</i> , nilai <i>fatigue cracking</i> sebesar 110.135.188 <i>ESAL</i> dan <i>rutting</i> sebesar 28.693.872 <i>ESAL</i> dengan metode Bina Marga 2017 untuk Model Viskoelastik serta didapatkan nilai kerusakan <i>permanent deformation</i> sebesar 14.653.797 <i>ESAL</i> , nilai kerusakan <i>fatigue cracking</i> sebesar 118.861.382 <i>ESAL</i> dan kerusakan <i>rutting</i> sebesar 27.801.770 <i>ESAL</i> dengan metode Bina Marga 2013 dan nilai kerusakan <i>permanent deformation</i> sebesar 26.719.771 <i>ESAL</i> , nilai <i>fatigue cracking</i> sebesar 196.022.664 <i>ESAL</i> dan <i>rutting</i> sebesar 56.577.124 <i>ESAL</i> dengan metode Bina Marga 2017 |

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Metode Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti (Tahun) | Judul Penelitian dan Lokasi Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|------------------|---|--|---|
| 6 | Hakim IN (2020) | Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur pada Ruas Jalan Pakem-Prambanan Untuk Mengantisipasi Peningkatan Kelas Jalan pada Ruas Jalan Pakem-Tempel-Prambanan | Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dan Program <i>Kenpave</i> | Lapis perkerasan eksisting tidak dapat menahan beban selama umur rencana dan hanya dapat menahan selama 18 tahun untuk beban kerusakan <i>permanent deformation</i> . Setelah mendesain ulang menggunakan desain lapis perkerasan alternatif, didapatkan tebal <i>Hot Mix Asphalt</i> 19 cm dan LPA 30 cm dan dapat menahan beban yang mengakibatkan kerusakan <i>fatigue cracking</i> selama 64 tahun, kerusakan <i>rutting</i> selama 27 tahun, dan kerusakan <i>permanent deformation</i> selama 22 tahun dan terdapat perbedaan tebal lapis <i>AC Base</i> yaitu untuk lapis perkerasan eksisting setebal 8cm dan untuk lapis perkerasan alternatif setebal 9 cm. |

Sumber: Rahmawati (2017), Setiawan (2018), Widiastuti (2018), Widodo (2018), MA Suwanda (2020), IN Hakim (2020)

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

Adapun perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu adalah pada penelitian terdahulu hanya pada ruas jalan yang ditinjau dikarenakan pada penelitian terdahulu sudah menggunakan program *KENPAVE* untuk menjadi salah satu metode pembanding.

BAB III

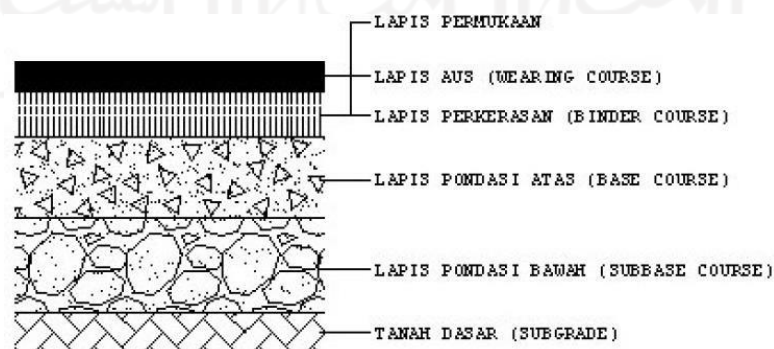
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang terbuat dari berbagai fraksi batuan membentuk gradasi batuan yang sesuai dengan persyaratan dan diikat oleh bahan pengikat aspal. Perkerasan lentur umumnya mempunyai kelenturan yang cukup tinggi kalau dibandingkan dengan lapis perkerasan kaku, sehingga sangat baik digunakan pada konstruksi jalan yang mengalami lendutan yang relatif besar akibat beban lalu lintas.

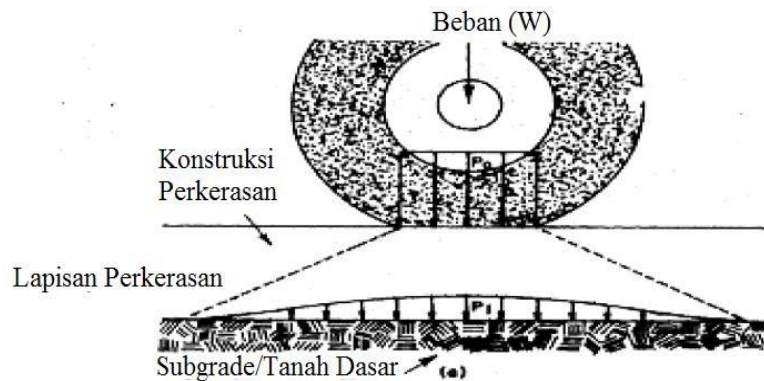
Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987) yang dimaksud dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Bagian perkerasan jalan umumnya terdiri dari lapis permukaan (*Surface Course*), Lapis pondasi (*base course*), dan lapis pondasi bawah (*sub base course*). Berikut merupakan konstruksi dari lapisan untuk perkerasan lentur.

Menurut Sukirman (1999) yang dimaksud dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Untuk komponen lapisan perkerasan lentur dan ilustrasi distribusi beban pada lapis perkerasan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.1 Komponen Lapisan Perkerasan Lentur

(Sumber: Sukirman, 2003)



Gambar 3.2 Ilustrasi Distribusi Beban Pada Lapis Perkerasan

(Sumber: Sukirman, 1999)

Menurut Sukirman (1999), perkerasan lentur tersusun dari empat lapisan utama, yaitu :

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan adalah lapisan yang terletak paling atas dari susunan lapisan perkerasan lentur dan bersentuhan langsung dengan beban roda lalu lintas. Lapis permukaan memiliki fungsi sebagai berikut.

- a. Lapisan yang langsung menahan beban akibat beban roda lalu lintas.
- b. Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus).
- c. Sebagai lapisan yang kedap air, karena air dapat merusak lapisan yang ada di bawah lapisan permukaan, maka dari itu lapisan permukaan harus dibuat kedap air.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban yang diterima langsung dari beban lalu lintas ke lapisan-lapisan di bawahnya.

Pada lapisan permukaan sendiri masih dibagi lagi menjadi 2 lapisan, yaitu:

1) Lapis Aus (*Wearing Course*)

Lapis aus (*wearing course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (*binder course*). Fungsi dari lapis aus sebagai berikut.

- a) Mengamankan perkerasan dari pengaruh air.
- b) Menyediakan permukaan yang halus.

c)Menyediakan permukaan yang kesat.

2) Lapis Antara (*Binder Course*)

Lapis antara (*binder course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*). Fungsi dari lapis antara sebagai berikut.

a) Mengurangi tegangan.

b) Menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis Pondasi Atas (LPA) adalah suatu lapisan kedua setelah lapisan permukaan. Lapisan ini berada di bawah lapis permukaan dan diatas lapis pondasi bawah. Kualitas material pada lapis pondasi atas ini lebih baik daripada lapis pondasi bawah. Fungsi lapisan pondasi atas sebagai berikut.

a. Sebagai tempat meletakkan lapis permukaan (*surface course*)

b. Lapisan yang menyebabkan gaya akibat beban lalu lintas dari lapis permukaan ke lapis pondasi bawah.

c. Sebagai pencegah air masuk ke pondasi bawah, apabila air masuk atau meresap dari lapis permukaan, maka lapis pondasi atas dapat mengalirkan air keluar melalui retakan atau rongga dari pondasi atas ke drainase. Beberapa tipe struktural lapis pondasi atas yang ada di Indonesia sebagai berikut.

1) Lapis Batu Belah (*telford*)

Lapis *telford* dibuat dari batu belah ukuran 15-25 cm dan batu pengunci atau pengisi. Batu belah diatur diatas pasir dengan tebal 10 cm yang digunakan sebagai peresapan.

2) Lapis Macadam Basah

Lapis macadam basah dibuat dengan bahan batu pecah bergradasi tertentu dengan syarat bersih, awet, keras, bersudut tajam dan tahan aus. Batu pecah tersebut harus ditambahkan dengan lapis pengikat yaitu tanah liat dan umumnya bergradasi terbuka. Dalam pelaksanaannya batu pecah dihamparkan kemudian dilakukan penggilasan, bahan ikat ditaburkan, disiram air agar butiran bahan ikat masuk ke dalam rongga.

3) Lapis Macadam Kering

Bahan yang dipakai sama dengan lapis macadam basah yang membedakan hanya saat pelaksanaannya tanpa diberi siraman air. Untuk pematatannya menggunakan alat pemadat getar.

4) Lapis Batu Pecah (*Aggregate Base Dry Stone*)

Lapis batu pecah dikembangkan sebagai pengganti lapis pondasi batu belah atau *telford*. Prinsipnya hampir sama dengan macadam. Bahan yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran batu sebagai berikut:

- a) Batu pecah kelas A
- b) Batu pecah kelas B
- c) Batu pecah kelas C

4. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan pondasi bawah terletak diantara lapis pondasi atas dan tanah dasar (Sukirman, 1999). Lapis pondasi bawah merupakan lapisan paling tebal dari lapisan lainnya, namun memiliki kualitas material yang lebih rendah daripada lapis pondasi atas, tetapi masih lebih tinggi dari kualitas material tanah dasar (Hardiyanto, 2015). Adapun fungsi lapis pondasi bawah antara lain sebagai berikut.

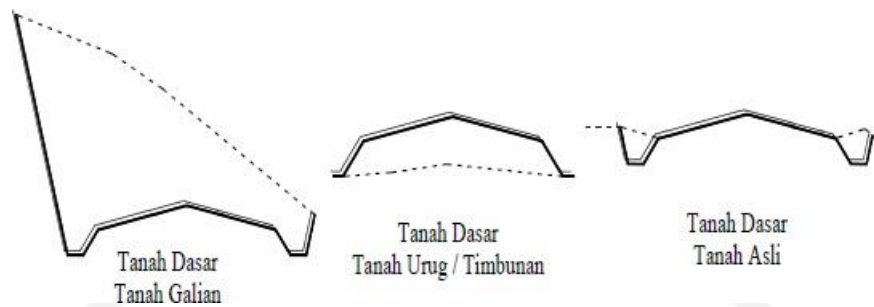
- a. Lapisan struktur perkerasan yang mendukung dan mendistribusikan beban ke tanah dasar.
- b. Sebagai penutup tanah dasar dari pengaruh cuaca sehingga tanah dasar dapat mempertahankan daya dukungnya.
- c. Efisiensi penggunaan material, dimana material pondasi bawah relatif lebih murah dibandingkan lapis diatasnya.
- d. Sebagai lapis peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- e. Sebagai lapisan pertama agar pekerjaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda alat besar.
- f. Sebagai lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

Berikut bahan yang sering digunakan untuk lapisan pondasi bawah antara lain:

1. Lapis aspas beton (laston)
 2. Pasir dan batu (sirtu) kelas A
 3. Pasir dan batu (sirtu) kelas B
 4. Pasir dan batu (sirtu) kelas C
 5. Tanah atau lempung kepasiran
5. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar merupakan lapisan paling bawah pada suatu perkerasan lentur. Tanah dasar yang digunakan dalam perkerasan dipadatkan terlebih dahulu sampai tingkat kepadatan tertentu agar mempunyai daya dukung tanah yang baik. Tanah dasar sebagai pondasi suatu jalan dapat berupa permukaan tanah asli, tanah galian ataupun tanah timbunan. Beban yang diterima oleh lapisan perkerasan akan didistribusikan sampai ke tanah dasar. Tanpa dukungan tanah dasar, lapisan perkerasan akan mengalami kerusakan yang akan menimbulkan deformasi permanen sehingga lapisan permukaan akan bergelombang dan dapat mengalami kegagalan struktur perkerasan. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan dibedakan atas:

- a. Lapisan tanah dasar tanah galian adalah lapis tanah dasar yang lokasinya terletak di bawah muka tanah asli
- b. Lapisan tanah dasar tanah timbunan atau urug adalah lapis tanah dasar yang lokasinya terletak diatas muka tanah asli.
- c. Lapisan tanah dasar tanah asli adalah tanah dasar yang merupakan muka tanah asli dilokasi jalan tersebut. Pada umumnya lapis tanah dasar ini disiapkan hanya dengan membersihkan, dan memadatkan lapis atas setebal 30-50 cm dari muka tanah dimana struktur perkerasan direncanakan akan diletakkan.



Gambar 3.3 Jenis Tanah Dasar Ditinjau dari Muka Tanah Asli

(Sumber: Sukirman, 2010)

3.2 Metode Mekanistik Empirik

Metode Mekanistik Empirik adalah metode perancangan tebal perkerasan berdasarkan penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan atau tegangan yang timbul berulang-ulang pada lapis perkerasan sampai terjadi kerusakan yang telah ditetapkan sebelumnya sebagai batas tingkat kerusakan yang dapat diterima oleh lapis perkerasan. Metode desain mekanistik empirik sendiri didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon ini digunakan untuk memprediksi tekanan dari data kinerja lapangan dan tes laboratorium. Pengamatan pada kinerja perkerasan sangat perlu dilakukan karena teori dianggap belum cukup terbukti untuk desain perkerasan secara realistik (Huang, 2014).

Dalam metode mekanistik empiris terdapat penyelesaian secara analisis yang disebut *Multilayer Elastic System* (Sistem Multilapis Elastis). Sistem ini menggunakan asumsi-asumsi untuk menghitung respon struktur seperti tegangan, regangan dan lendutan akibat respon dari beban roda kendaraan. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan menurut Yodder dan Witczak (1975) adalah sebagai berikut.

1. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan dianggap homogen,
2. Tiap lapisan memiliki batas ketebalan,
3. Antara tiap lapisan menggunakan friksi *Interface*,
4. Pada permukaan tidak terjadi gaya geser.

3.2.1 Fungsi Transfer

Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan 2017, model kinerja fungsi transfer adalah suatu fungsi yang menghubungkan respons perkerasan terhadap beban (berupa tegangan atau regangan) dengan kinerja perkerasan yaitu berupa retak lelah dan deformasi permanen.

Sedangkan model kinerja atau fungsi transfer menurut *The Asphalt Institute* terbagi menjadi retak lelah (N_f) dan retak deformasi permanen (N_d).

1. Retak Lelah (*Fatigue Cracking*)

Kerusakan retak lelah meliputi bentuk perkembangan dari retak di bawah beban berulang dan kegagalan ini ditemukan pada saat permukaan perkerasan tertutup oleh retakan dengan persentase yang tinggi. Pembebanan berulang yang terjadi terus-menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking* walaupun tegangan yang terjadi masih di bawah batas *ultimate*-nya. Untuk material perkerasan, beban berulang berasal dari lintasan bebab (as) kendaraan yang secara terus menerus, dengan intensitas yang berbeda-beda dan bergantung kepada jenis kendaraan dan terjadi secara acak.

Persamaan retak lelah perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan adalah sebagai berikut.

$$N_f = f_1 (\epsilon_t)^{f^2} (E_1)^{f^3} \quad (3.1)$$

dengan:

N_f = jumlah nilai pengulangan beban yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*,

f_1 = nilai yang diperoleh dari pengujian lelah (*fatigue*) di laboratorium. Untuk nilainya menurut *Asphalt Institute* yaitu 0,0796,

f^2 = nilai yang diperoleh dari pengujian lelah (*fatigue*) di laboratorium. Untuk nilainya menurut *Asphalt Institute* yaitu 3,921,

f^3 = nilai yang diperoleh dari pengujian lelah (*fatigue*) di laboratorium. Untuk nilainya menurut *Asphalt Institute* yaitu 0,854,

ϵ_t = regangan tarik pada bagian bawah lapisan *AC-Base*, dan

E = modulus elastis pada lapis permukaan atau lapis *HMA*.

2. Retak Deformasi Permanen (*Permanent Deformation*)

Persamaan deformasi permanen untuk mengetahui jumlah repetisi beban pada perkerasan lentur adalah sebagai berikut.

$$N_d = f_4 (\varepsilon_t)^{-f_5} \quad (3.2)$$

dengan:

N_d = jumlah nilai pengulangan beban yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*,

ε_t = regangan tarik vertikal diantara Lapisan Pondasi Atas dan *Subgrade*,

f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

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

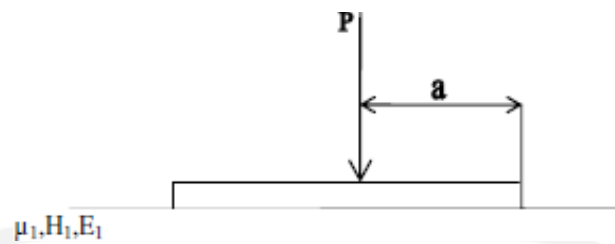
3.3 Teori Sistem Lapis Banyak

Teori sistem lapis banyak adalah adalah konsep metode mekanistik dalam desain struktur perkerasan. Respon dari perkerasan sendiri yaitu tegangan, regangan dan lendutan sebagai sistem struktur multi lapisan terhadap beban roda kendaraan. Pada metode mekanistik sistem lapis banyak sendiri merupakan salah satu sistem yang penyelesaiannya secara analisis. Solusi sistem berlapis ini pertama kali dikembangkan oleh Burnister (1943) dengan sistem dua lapis dan diperpanjang oleh Burnister (1945) menjadi sistem tiga lapis. Dengan adanya kemampuan komputer, teori tersebut dapat di aplikasikan menjadi *multi-layered system* dengan berapapun jumlah lapisannya (Huang, 1967).

Terdapat tiga sistem dalam metode sistem lapis banyak yaitu sebagai berikut.

1. Sistem satu lapis

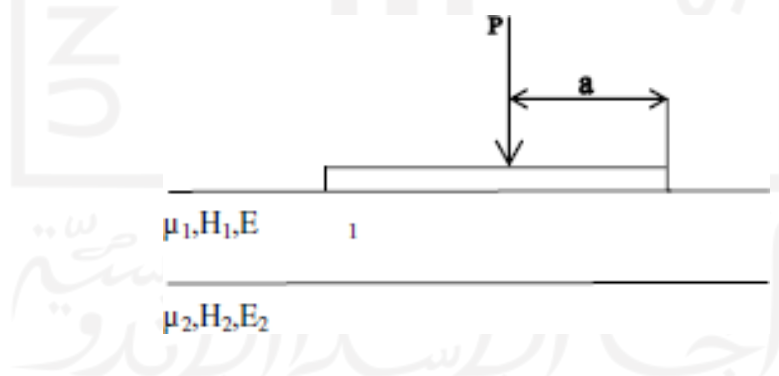
Dalam sistem struktur satu lapis, struktur perkerasan dianggap sebagai kesatuan struktur dengan bahan yang homogen. Untuk sistem satu lapis pada teori sistem lapis banyak dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Sistem Satu Lapis

2. Sistem dua lapis

Dalam pemecahan sistem dua lapis, beberapa asumsi dibuat batas dan kondisi sifat bahan, yaitu homogen, isotropik dan elastik. Sistem ini dimodelkan dengan membedakan tanah dasar dan lapisan perkerasan di atasnya, atau dengan kata lain membedakan lapisan aspal dan lapisan agregat (termasuk tanah dasar). Lapisan permukaan diasumsikan tidak terbatas, namun kedalamannya terbatas. Sedangkan lapisan bawahnya atau tanah dasar tidak terbatas baik arah horizontal maupun vertikal. Untuk sistem dua lapis pada teori sistem lapis banyak dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.

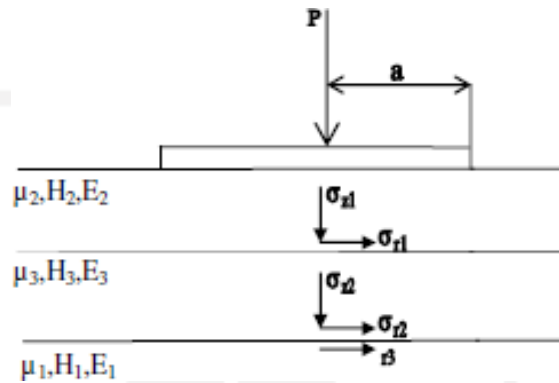


Gambar 3.5 Sistem Dua Lapis

3. Sistem tiga lapis

Sistem struktur tiga lapis dapat memodelkan lapisan aspal, lapisan agregat dan tanah dasar terpisah. Pemodelan ini, selain lebih mewakili struktur perkerasan yang dibangun, juga dapat mempertimbangkan ketiga sifat bahan perkerasannya

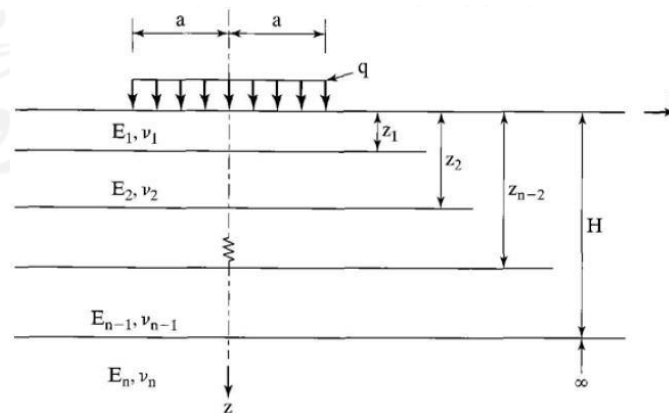
yang pada hakikatnya berbeda. Untuk sistem tiga lapis pada teori sistem lapis banyak dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Sistem Tiga Lapis

Berikut adalah beberapa asumsi yang digunakan untuk menghitung respon struktur pada *multi-layered system* (Huang, 2004). Untuk *multi-layered system* dapat dilihat pada Gambar 3.7

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



Gambar 3.7 Multi-layered Elastic System

(Sumber : Huang, 2004)

Berdasarkan Gambar 3.7 tiap lapisan dari perkerasan memiliki kedalaman yang berbeda serta memiliki nilai modulus elastisitas 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 pada Persamaan 3.3; 3.4; 3.5 berikut.

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.3)$$

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

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

ε = regangan,

$q(t)$ = beban merata,

h_n = kedalaman tiap lapisan,

E = modulus elastisitas tiap lapisan,

μ = nilai *poisson ratio* tiap lapisan,

σ = tegangan normal, dan

τ = tegangan geser.

3.4 Karakteristik Material

Dalam perkerasan dapat menggunakan beberapa karakteristik material, yaitu lapisan viskoelastik dan lapisan elastik. Penjelasan lapisan viskoelastik dan lapisan elastik dapat dilihat di bawah ini

3.4.1 Lapisan Viskoelastik

Untuk menganalisis lapisan aspal menerapkan sifat viskoelastik dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi dari layer viscoelastik ini

diperoleh melalui prinsip koresponden elastis – viscoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu (Huang, 2004). Adapun metode untuk mengkarakterkan bahan viskoelastik 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.

$$Dt = \frac{1}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i} \left[1 - \exp \left(\frac{-t}{T_i} \right) \right] \quad (3.6)$$

Untuk mengukur *creep compliance* 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.

3.4.2 Lapisan Elastik

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

3.5 Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Program *Kenpave*

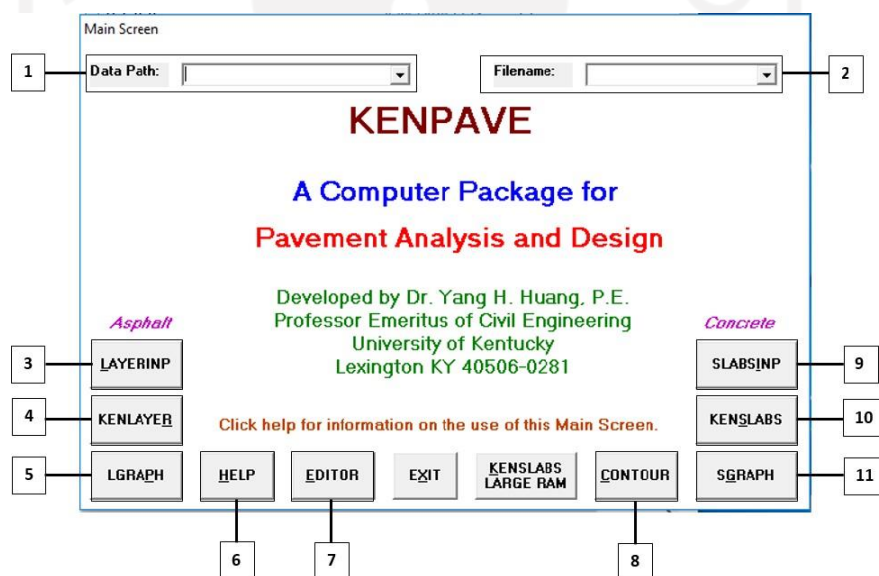
Program *KENPAVE* merupakan *software* yang berbasis desain perencanaan perkerasan dengan fungsi untuk menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan lebih mudah dan fleksibel. Program ini sendiri dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*.

Program *KENPAVE* memiliki 4 pilihan utama, yaitu, *LAYERINP*, *KENLAYER*, *SLABINP*, *KENLABS*, selain itu ada beberapa menu tambahan untuk menjalankan program. *LAYERINP* dan *KENLAYER* merupakan program analisis untuk perkerasan lentur, sedangkan *SLABINP* dan *KENSLABS* merupakan program analisis untuk perkerasan kaku. Untuk menjalankan program *KENPAVE* dibutuhkan data-data karakteristik dan material dari suatu perkerasan jalan, seperti modulus elastisitas, *poisson ratio* setiap lapisan, beban roda, tekanan ban dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan. Pada penelitian ini yang

akan digunakan adalah program *LAYERINP* dan *KENLAYER* yang berfokus kepada perkerasan lentur.

3.5.1 Program *Kenpave*

Dalam penggunaannya, program *Kenpave* memiliki menu-menu utama untuk mendesain dan menganalisis perkerasan. Pada tampilan awal program *KENPAVE*, terdiri dari 2 menu pada bagian atas dan 11 menu bagian bawah. Tiga menu pada bagian kiri digunakan untuk perkerasan lentur, dan tiga menu pada bagian kanan digunakan untuk perkerasan kaku, dan lima menu lainnya yang terletak di bagian bawah digunakan untuk tujuan umum. Tampilan Menu yang disediakan oleh Program *Kenpave* dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Tampilan Menu Program *Kenpave*

1. *Data Path*

Merupakan tempat penyimpanan data, pada program *KENPAVE* pada *Data Path* sudah terisi otomatis dengan C:/KENPAVE\ dikarenakan lokasi pada saat proses instalasi.

2. *Filename*

Pada menu *Filename* akan ditunjukkan file baru yang dibuat untuk menganalisis menggunakan *LAYERINP* dan *SLABINP*. Pada *filename* file yang dibuat otomatis muncul, jadi tidak perlu mengisi nama. Semua file

memiliki ekstensi DAT. Nama file yang ditampilkan dalam kotak akan digunakan dalam file lain yang dihasilkan pada perkerasan *KENLAYER* dan *KENSLAB*.

3. *LAYERINP*

LAYERINP digunakan untuk membuat data file sebelum *KENLAYER* dapat dijalankan pada perkerasan lentur.

4. *KENLAYER*

KENLAYER merupakan program utama yang digunakan untuk menganalisa perkerasan lentur dan hanya dapat digunakan setelah file data telah diisi. Program ini akan membaca file data yang sudah diisi.

5. *LGRAPH*

LGRAPH digunakan untuk menampilkan grafik rencana dan penampang perkerasan lentur dengan beberapa informasi tentang *input* dan *output*.

6. *HELP*

Menu *HELP* yaitu bantuan yang menjelaskan parameter *input* dan penggunaan yang tepat dari program. *Textbox* dan bentuk data yang kebanyakan berada pada layar yang sama. Beberapa menu memiliki bantuan menu atau tombol yang harus diklik jika ingin membacanya

7. *EDITOR*

EDITOR merupakan menu yang dapat digunakan untuk mengedit, memeriksa dan mencetak data file. Pada penggunaan *LAYERINP* dan *SLABINP* sangat direkomendasikan menggunakan menu editor. Setelah analisis yang dikerjakan selesai klik *EXIT* untuk menutup program *KENPAVE*.

8. *CONTOUR*

CONTOUR berfungsi untuk plot kontur tekanan atau momen dalam arah x atau y. Plot kontur digunakan untuk perkerasan kaku.

9. *SLABINP*

SLABINP digunakan untuk membuat data file sebelum *KENLABS* dapat dijalankan pada perkerasan kaku.

10. KENLABS

KENLABS merupakan program utama yang digunakan untuk menganalisa perkerasan kaku dan hanya dapat digunakan setelah file data telah diisi. Program ini akan membaca file data yang sudah diisi.

11. SGRAPH

SGRAPH digunakan untuk menampilkan grafik rencana dan penampang perkerasan kaku dengan beberapa informasi tentang *input* dan *output*.

3.5.2 Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan

1. Parameter tiap lapisan

a. Modulus Elastisitas

Merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda. Modulus elastisitas dapat juga disebut *Modulus Young* yang dilambangkan dengan E. Adapun rumus Modulus Elastisitas menggunakan persamaan 3.7.

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

dengan :

E = modulus elastisitas (Psi atau kPa),

σ = tegangan (kPa), dan

ε = regangan.

Nilai modulus elastisitas untuk beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Bahan Perkerasan

| Material | Modulus Elastisitas | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Psi | Kpa |
| <i>Cement-treated granular base</i> | $1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$ | $7 \times 10^6 - 14 \times 10^6$ |
| <i>Cement aggregate mixture</i> | $5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ | $35 \times 10^5 - 7 \times 10^6$ |
| <i>Asphalt treated base</i> | $7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$ | $49 \times 10^5 - 3 \times 10^6$ |
| <i>Asphalt concrete</i> | $2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ | $14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$ |

Lanjutan Tabel 3.1 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Bahan Perkerasan

| Material | Modulus Elastisitas | |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|
| | Psi | Kpa |
| <i>Bituminous stabilized mixture</i> | $4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$ | $28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$ |
| <i>Lime stabilized</i> | $2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$ | $14 \times 10^4 - 49 \times 10^4$ |
| <i>Unbound granular materials</i> | $15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$ | $105 \times 10^3 - 31 \times 10^3$ |
| <i>Fine grained or natural subgrade materials</i> | $3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$ | $21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$ |

(Sumber : Huang, 2004)

b. *Poisson Ratio*

Merupakan angka perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Nilai *poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut

Tabel 3.2 Nilai *Poisson Ratio*

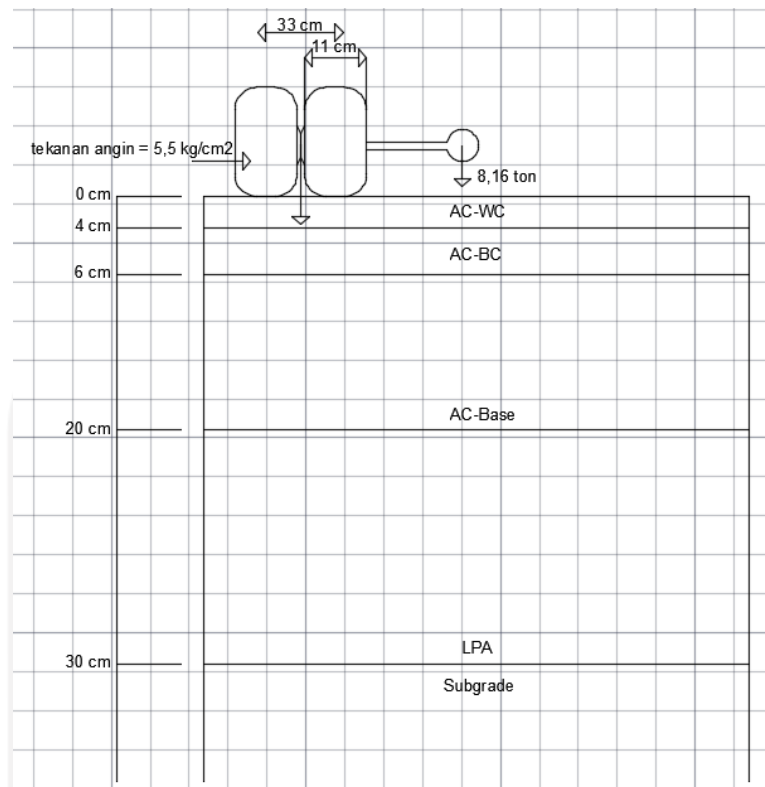
| Material | Nilai v | V tipikal |
|---|-------------|-----------|
| <i>Hot mix asphalt</i> (Campuran Aspal Panas) | 0,30 – 0,40 | 0,35 |
| <i>Portland cement concrete</i> (Semen Beton) | 0,15 – 0,20 | 0,15 |
| <i>Untreated granular material</i> (Agregat kasar) | 0,30 – 0,40 | 0,35 |
| <i>Cement treated granular material</i> (Campuran semen dengan agregat kasar) | 0,10 – 0,20 | 0,15 |

Lanjutan Tabel 3.2 Nilai *Poisson Ratio*

| Material | Nilai ν | V tipikal |
|--|-------------|-----------|
| <i>Cement treated fine grained material</i> (Campuran semen dengan agregat halus) | 0,15 – 0,35 | 0,25 |
| <i>Lime stabilizied material</i> (Bahan kapur stabil) | 0,10 – 0,25 | 0,20 |
| <i>Lime fly ash mixture</i> (Campuran kapur dengan abu terbang) | 0,10 – 0,15 | 0,15 |
| <i>Loose sand / silty sand</i> (Pasir berpori/pasir berlumpur) | 0,20 – 0,40 | 0,30 |
| <i>Dense sand</i> (Pasir padat) | 0,30 – 0,45 | 0,35 |
| <i>Fine grained soil</i> (Tanah berbutir halus) | 0,30 – 0,50 | 0,40 |
| <i>Saturated soft clay</i> (Tanah liat jenuh) | 0,40 – 0,40 | 0,45 |

(Sumber : Huang, 2004)

Nilai tebal perkerasan didapatkan melalui perhitungan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017. Nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 3.1, untuk nilai *poisson ratio* didapat pada Tabel 3.2. Untuk kondisi sendiri terdiri dari beberapa data, yaitu beban roda (P) dengan satuan kN/lbs, data tekanan ban (q) dengan satuan kPa/psi, dan data jarak antar roda ganda (d) dengan satuan cm/inch dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut



Gambar 3.9 Sumbu Standar Ekivalen

Pada penelitian ini digunakan data kondisi beban berdasarkan data yang digunakan di Indonesia menurut Sukirman (1993) sebagai berikut.

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

Dalam teori elastis lapis banyak diperlukan ketebalan setiap lapis perkerasan sebagai input dalam penyelesaian menggunakan program. Satuan yang digunakan pada ketebalan setiap lapis adalah mm atau *inch*.

3. Kondisi beban.

Data ini terdiri atas data beban roda, P (kN/Lbs), tekanan ban, q (Kpa/Psi) dan khusus untuk sumbu roda belakang jarak antara roda ganda, d (mm/*inch*). Nilai P dipengaruhi oleh barang yang diangkut oleh kendaraan sehingga beban pada sumbu roda depan dan sumbu roda belakang berbeda. Sedangkan untuk nilai q dan d itu ditentukan sesuai data spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah tata cara yang dilakukan dalam penelitian dengan tujuan menggali informasi atau data terkait, serta investigasi mengenai data yang didapatkan sehingga tujuan dan jawaban dari suatu permasalahan yang dilakukan penelitian dapat tercapai. Tujuan dari metode penelitian sendiri untuk mempelajari tentang pengetahuan yang baru didalam bidang tertentu, dan untuk menguji mengenai kebenaran pengetahuan tersebut.

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian menggunakan metode deskriptif. Metode penelitian ini dapat digunakan untuk menjawab permasalahan yang akan terjadi pada masa mendatang. Metode deskriptif dilakukan dengan tahap pengumpulan data yang diperlukan, melakukan klasifikasi data, data di analisis atau diolah sehingga didapatkan kesimpulan mengenai gambaran secara objektif dalam sebuah deskripsi.

Penelitian yang dilakukan adalah menganalisis umur berdasarkan prediksi kerusakan menggunakan Program *Kenpave* pemodelan viskoelastik dan elastik

4.2 Pengumpulan Data

Sumber data didalam penelitian merupakan faktor yang sangat penting, karena sumber data akan menyangkut kualitas dari hasil suatu penelitian. Oleh karena itu, sumber data menjadi bahan pertimbangan dalam penentuan metode pengumpulan data. Sumber data dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu data primer dan data sekunder:

1. **Data Primer**

Data primer adalah data yang diambil langsung oleh peneliti di objek penelitian atau hasil pengujian di lab maupun dilapangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari laporan yang disusun dari instansi terkait, maupun literatur lainnya, baik yang dipublikasikan maupun yang tidak di publikasikan.

Dalam penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data sekunder. Adapun data yang digunakan dalam analisis menggunakan Program *Kenpave* pemodelan Viskoelastik dan Elastik di ruas jalan Milir-Sentolo km 21+525 sampai dengan km 22+525 ini adalah:

1. Data tanah dasar (*CBR*)

Data nilai *CBR* merupakan data sekunder yang didapat dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I. Yogyakarta. Nilai *CBR* berurutan dari terkecil hingga terbesar dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Data Nilai CBR

| No | CBR (%) |
|----|---------|
| 1 | 7,58 |
| 2 | 7,75 |
| 3 | 8,22 |
| 4 | 8,24 |
| 5 | 8,7 |
| 6 | 9,03 |

(Sumber : Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I.Yogyakarta, 2018)

Dari data diatas dapat diambil nilai *CBR* optimum yang digunakan adalah angka persentil ke 100 dengan besaran 7,58%.

2. Data tebal perkerasan eksisting menggunakan Bina Marga 2017

Ruas jalan Milir-Sentolo merupakan jalan yang mulai mengalami rekonstruksi terhitung tanggal 21 Januari 2018 sampai 31 Desember 2018. Berdasarkan data yang didapatkan dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan

Nasional D.I. Yogyakarta, tebal perkerasan ruas Jalan Milir-Sentolo ini adalah sebagai berikut.

| | |
|-----------------------------|---------|
| <i>AC-WC</i> | = 4 cm |
| <i>AC-BC</i> | = 6 cm |
| <i>AC-Base</i> | = 20 cm |
| Lapis Pondasi Agregat (LPA) | = 30 cm |

3. Volume lalu lintas harian (LHR)

Data lalu lintas pada ruas Jalan Milir-Sentolo merupakan data sekunder yang diperoleh dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I.Y Yogyakarta tahun anggaran 2017. Ruas jalan Milir-Sentolo merupakan jalan nasional dengan lebar jalan 11 meter, memiliki 2 jalur dengan 4 lajur dan 2 arah. Berdasarkan data sekunder dari laporan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I.Y Yogyakarta didapatkan hasil perhitungan lalu lintas berdasarkan golongan kendaraan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Milir-Sentolo

| Gol | Jenis Kendaraan | LHR 2017 (Unit) |
|-----|----------------------------|-----------------|
| 1 | Motor | 27.677 |
| 2 | Sedan, Jeep | 8086 |
| 3 | Pick-up | 294 |
| 4 | Truk 2 As (L), Truk Kecil | 1447 |
| 5a | Bus Kecil | 446 |
| 5b | Bus Besar | 630 |
| 6a | Truk 2 As (H) | 371 |
| 6b | Truk 2 As (H) | 1140 |
| 7a | Truk 3 As | 420 |
| 7b | Trailer 4 As, Truk Gandeng | 128 |

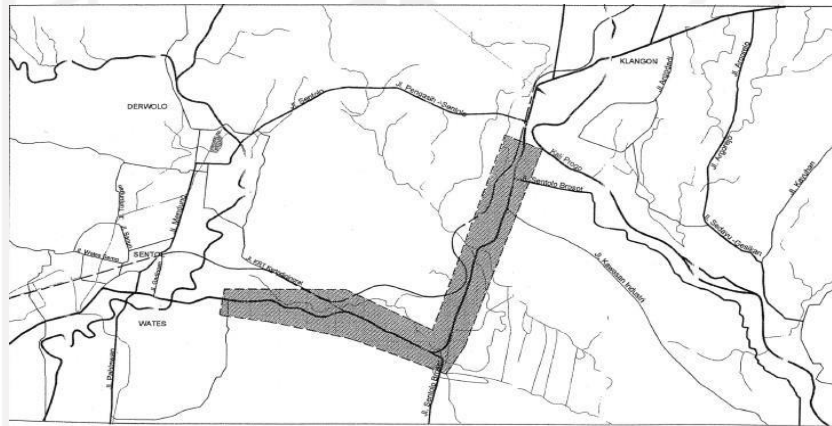
Lanjutan Tabel 4.2 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Milir-Sentolo

| Gol | Jenis Kendaraan | LHR 2017 (Unit) |
|-----|--------------------------|-----------------|
| 7c | Truk Semi Trailer | 166 |
| | Kendaraan Tidak Bermotor | 181 |

(Sumber: Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I.Yogyakarta, 2018)

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi yang ditinjau sebagai objek studi kasus dalam penelitian ini adalah Ruas Jalan Milir-Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Milir-Sentolo km 21+525 sampai dengan km 22+525

(Sumber : Gambar Rencana Ruas Jalan Milir-Sentolo, 2018)



Gambar 4.2 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Milir-Sentolo km 21+525 sampai dengan km 22+525

(Sumber : *Google Earth*, 2018)

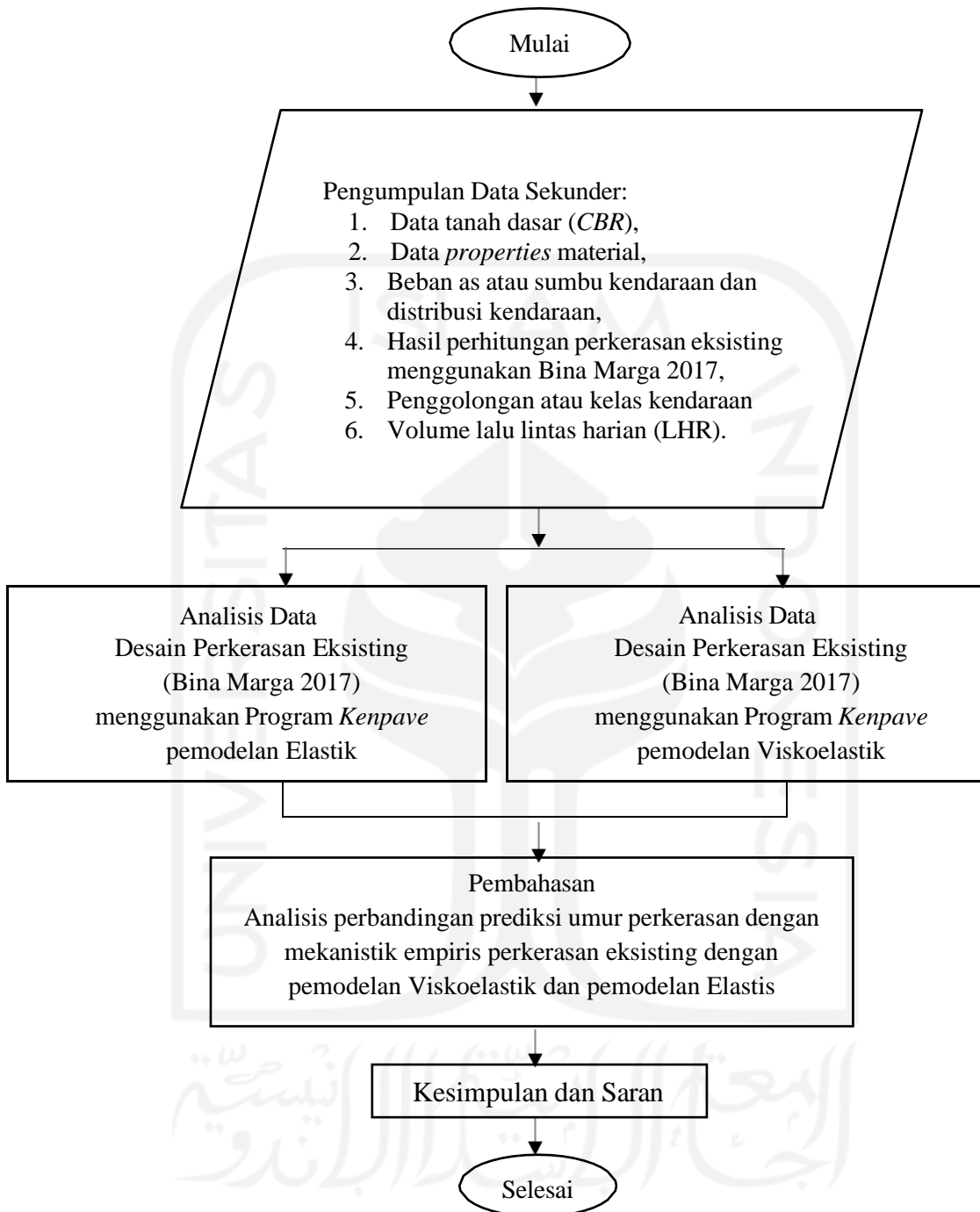
4.4 Prosedur Perancangan

Agar mempermudah penulis dalam melakukan perhitungan, dibuat bagan alir prosedur perancangan. Beberapa bagan alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahapan penelitian
2. Prosedur metode *Kenpave*
3. Prosedur penggunaan program *Kenlayer*

4.4.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian secara umum dapat dilihat pada bagan alir Gambar 4.3 di bawah.



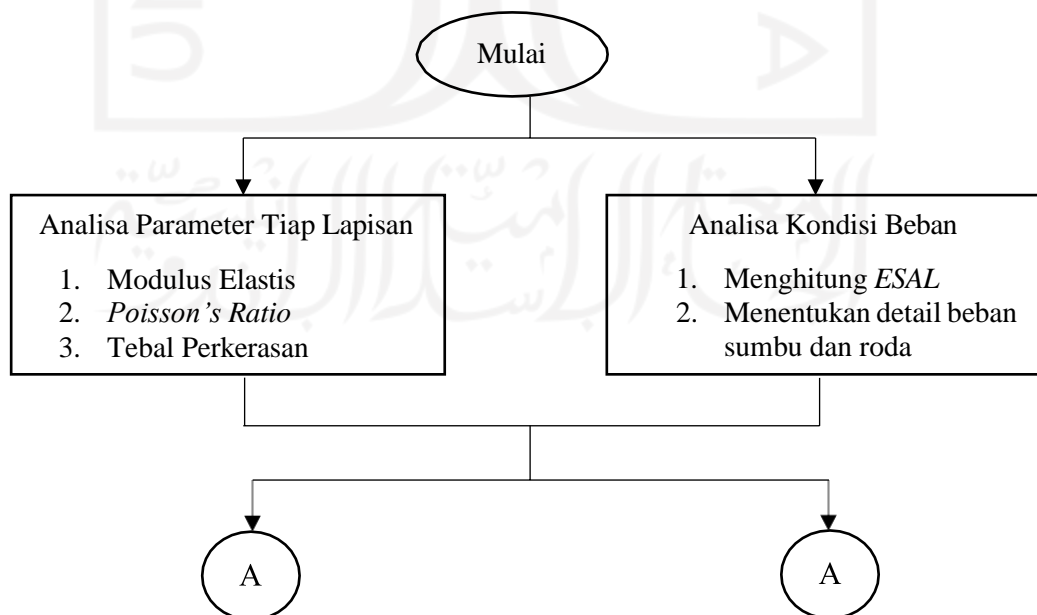
Gambar 4.3 Bagan Alir Tahapan Penelitian

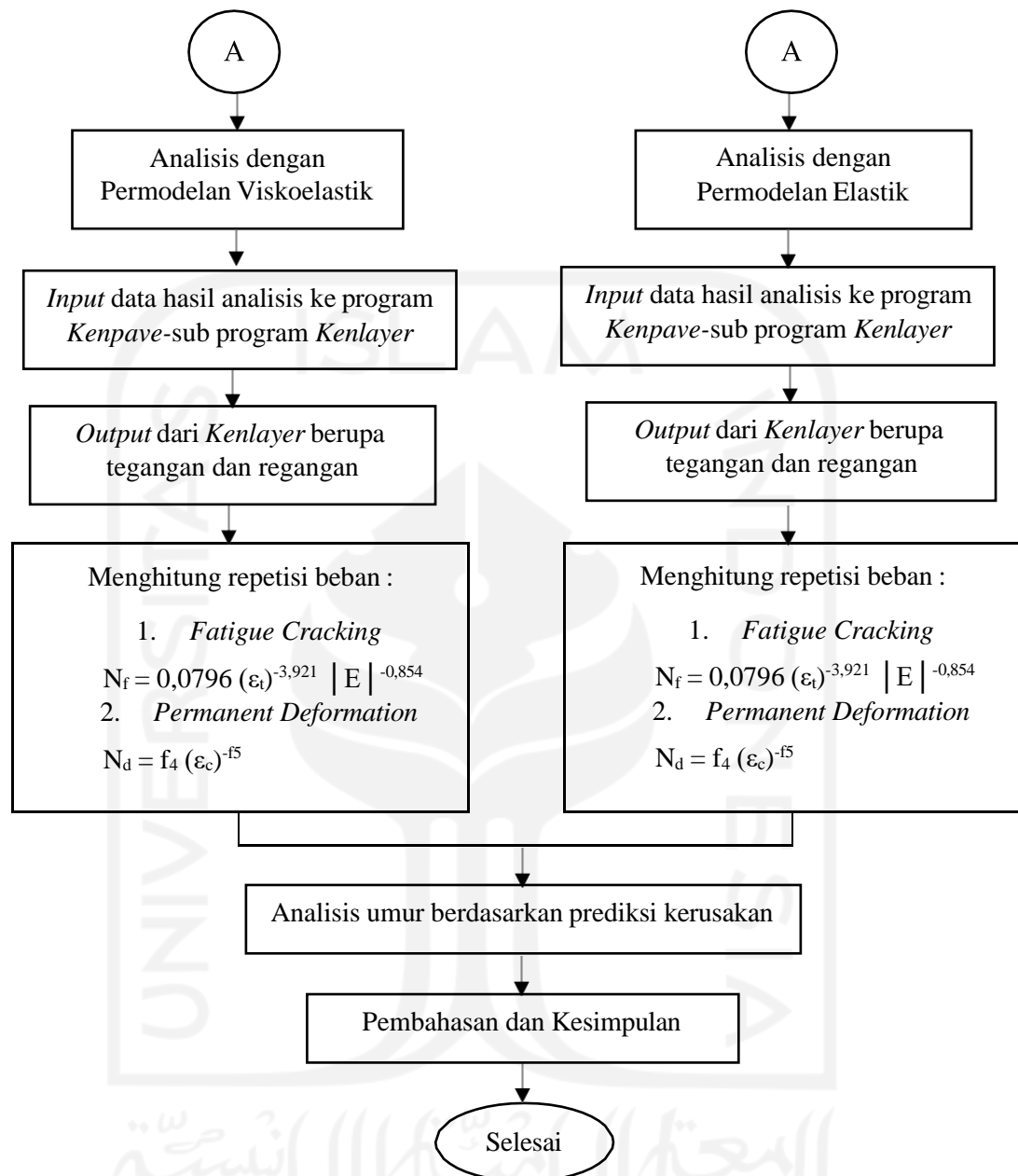
4.4.2 Prosedur Metode *Kenpave*

Adapun prosedur dalam melakukan pemodelan struktur perkerasan jalan menggunakan program *Kenpave* dan perkerasan lentur dengan *Kenlayer* untuk beban gandar standar adalah sebagai berikut.

1. Menentukan data *properties* material untuk pemodelan struktur antara lain :
 - a. tebal lapisan tiap perkerasan,
 - b. nilai modulus elastisitas (E) tiap lapis perkerasan,
 - c. nilai *poisson's ratio* tiap lapis perkerasan.
2. Menganalisis data lalu lintas antara lain :
 - a. menentukan periode waktu tinjauan analisis perkerasan,
 - b. menghitung *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*,
 - 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 Viskoelastik dan Elastik.
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.

Agar lebih mempermudah pemahaman akan prosedur penggunaan Program *Kenpave* maka dibuatkan bagan alir seperti pada Gambar 4.4 berikut.





Gambar 4.4 Bagan Alir Prosedur Penggunaan Program *Kenpave*

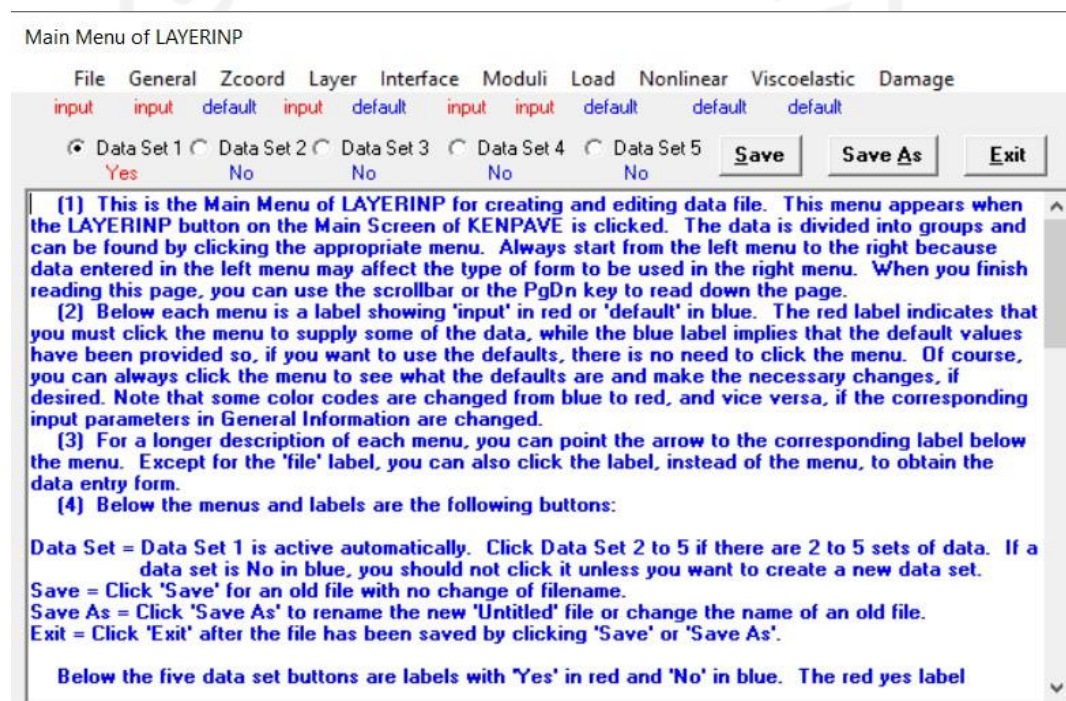
3.5.3 Program *Kenlayer*

Program *Kenlayer* ini merupakan program yang hanya dapat digunakan pada perkerasan lentur. Program *Kenlayer* memiliki kegunaan untuk menentukan rasio kerusakan perkerasan lentur menggunakan model tekanan (*distress models*). *Distress model* ini merupakan deformasi dan retak yang dapat digunakan untuk memprediksi umur perkerasan dengan mengasumsi konfigurasi perkerasan. Jika

reliabilitas atau kemampuan *distress* tertentu lebih kecil dari tingkat minimum yang dibutuhkan, maka konfigurasi perkerasan yang diasumsi harus dirubah atau direvisi.

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

Program *KENLAYER* dimulai dari input data melalui menu *LAYERINP* pada program *KENPAVE* seperti Gambar 4.5 Menu *LAYERINP*. Setiap menu diisi dengan data yang tersedia.



Gambar 4.5 Tampilan Menu *Layerinp*

1. File

Menu ini digunakan untuk memulai *file* yang baru (*New*) dan membuka *file* yang sudah ada (*Old*) yang tertera pada Gambar 4.6 di bawah.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

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

(6) NLG (number of load groups): Axle loads can be divided into a maximum of 12 groups for damage analysis, each with different wheel loads and configuration. NLG should not be confused with NLOAD which specifies the number of wheels for each load group.
 (7) DEL (tolerance for numerical integration): A default of 0.001 implies an accuracy of 0.1%.
 (8) NL (number of layers, maximum 19): The default NL is 3 which you probably would like to change, as indicated in red.
 (9) NZ (number of vertical coordinates at which responses are to be computed): When NDAMA = 1, NZ can be left 0 because it will be determined by the program based on the number of locations at which damage analysis are to be made.
 (10) ICL (Maximum number of integration cycles, 80 suggested): The actual number of cycles, as shown on the computer screen during execution should be smaller than ICL. Otherwise, the results have

Gambar 4.6 Tampilan Menu General

2. *General*

Pada menu General, terdapat beberapa menu untuk memasukkan data dan dapat dilihat pada Gambar 4.6 diatas.

a. *Title*

Memasukkan judul dari analisis

b. *MATL*

Memilih tipe dari material. (1) jika lapisan merupakan elastis, (2) jika lapisan merupakan nonlinier elastis, (3) jika lapisan merupakan viskoelastis, (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan diatas.

c. *NDAMA*

Memilih analisa kerusakan, (0) jika tidak ada kerusakan analisis, (1) jika terdapat kerusakan analisis dan ada hasil *print out*, (2) jika terdapat kerusakan analisis dan data ada hasil *print out* yang lebih detail.

d. *DEL*

Nilai alurasi hasil analisa. Standar akurasi : 0,001

e. NL

Jumlah *layer/lapis*, maksimal dari lapis sebanyak 19 lapis

f. NZ

Letak koordinat z yang akan dianalisa jika NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0, karena program akan menganalisa di koordinat yang mengalami analisa kerusakan.

g. NSTD

(1) Untuk *vertical displacement*, (5) untuk *vertical displacement* dan nilai regangan, (9) untuk *vertical displacement*, nilai regangan dan tegangan.

h. NBOND

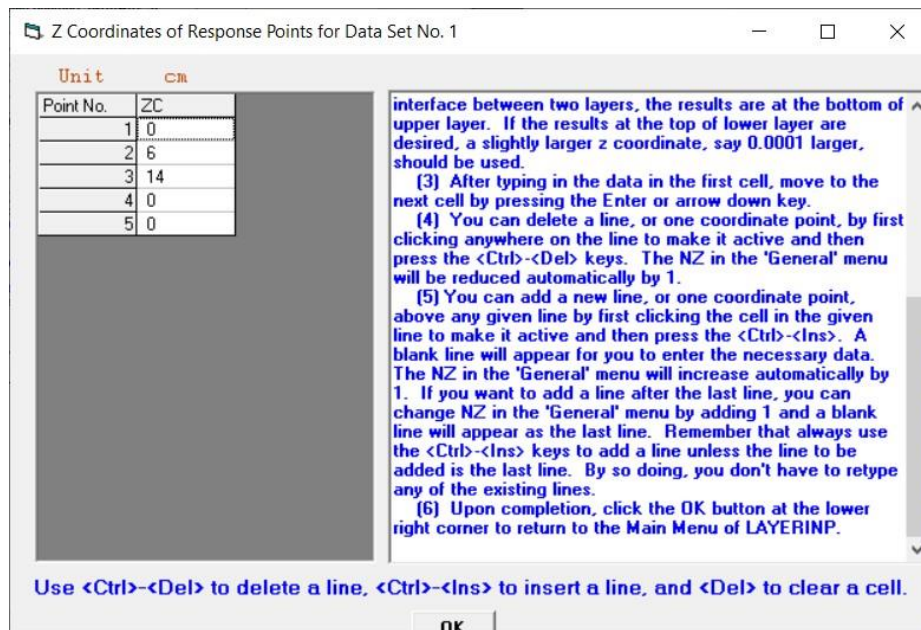
(2) Jika antar semua lapisan saling berhubungan, (2) jika tiap antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.

a. NUNIT

(1) untuk Satuan Internasional dan (0) untuk Satuan *English*.

3. *Zcoord*

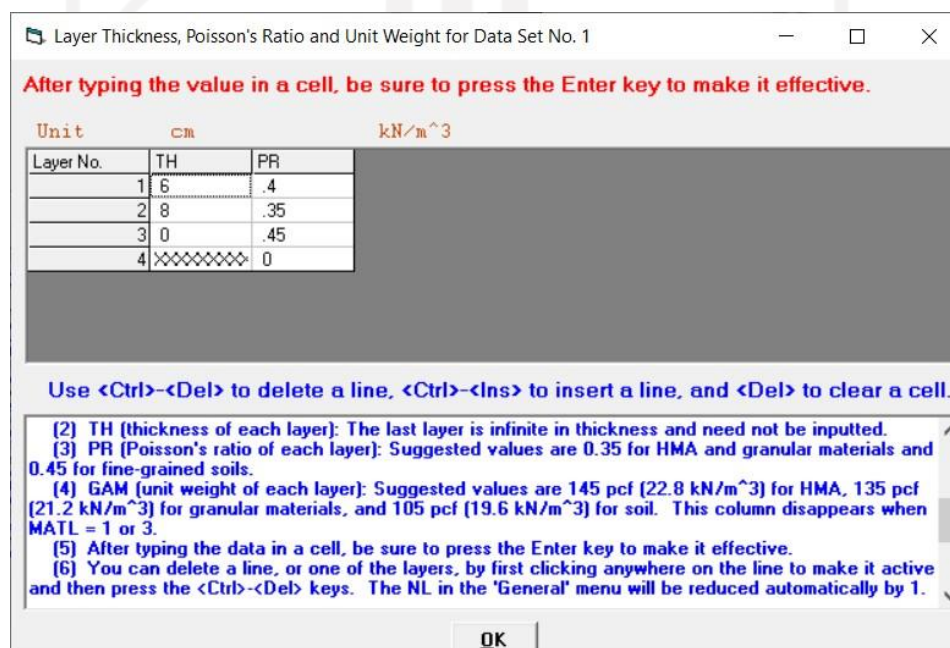
Zcoord adalah menu yang berfungsi untuk menganalisa lapisan perkerasan pada koordinat Z . Jumlah poin yang terdapat dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu *General*. ZC sendiri adalah jarak vertikal atau jarak dalam arah Z yang akan dianalisis oleh program. Program menu *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Tampilan Menu *Zcoord*

4. *Layer*

Layer adalah menu yang digunakan untuk memasukkan data berupa jumlah berapa banyak lapis perkerasan. TH merupakan tebal tiap *layer*. PR adalah *Poisson's Ratio* tiap *layer*. Menu *layer* dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



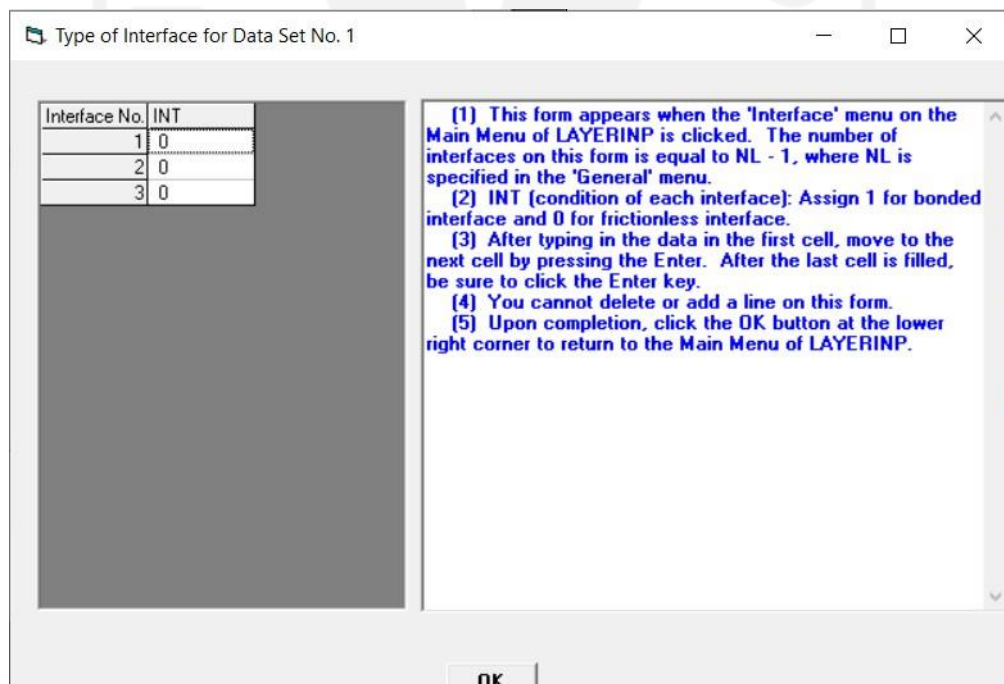
Gambar 4.8 Tampilan Menu *Layer*

5. *Interface*

Interface merupakan menu yang berkaitan dengan data NBOND yang terdapat pada menu *General*. Jika NBOND = 1, maka menu *interface* akan mendefault dan tidak dapat dibuka seperti Gambar 4.9 di bawah. Jika nilai NBOND = 2, maka menu *interface* akan keluar seperti Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.9 Tampilan Menu *Interface* dengan NBOND = 1



Gambar 4.10 Tampilan Menu *Interface* dengan NBOND = 2

6. *Moduli*

Moduli adalah jumlah periode dalam menu ini sama dengan jumlah NPY dalam menu *General*. Maksimal periode dalam menu ini adalah 12. E adalah nilai modulus elastisitas tiap *layer*. Untuk tampilan *Moduli* dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan tampilan *Moduli for Period* pada Gambar 4.12 berikut.

Layer Modulus of each period for Data Set No. 1

Period1
input

[1] This form appears when the 'Moduli' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of periods on this form is equal to NPY, as specified in the 'General' menu. The 12 buttons on the form indicates that a maximum of 12 periods may be used. However, only the periods being actually specified are marked with the period number on the button.

[2] Below the period button is a label showing 'input' in red, indicating that there are no defaults and you must enter the elastic modulus for each layer. After the data are entered, the letter 'input' will be changed to 'done'.

[3] Now you can click the Period1 button to enter the data. After the data for all periods are entered, as indicated by 'done' under each period button, click OK to return to the Main Menu of LAYERINP.

OK

Gambar 4.11 Tampilan Menu *Moduli*

Layer Moduli for Period No. 1 and Data Set No. 1

Unit kPa

| Layer No. | E |
|-----------|--------|
| 1 | 740000 |
| 2 | 23000 |
| 3 | 11000 |
| 4 | 0 |

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

[2] E (elastic modulus of each layer): Use as the assumed modulus for the first iteration when the layer is nonlinear. If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer.

[3] After typing the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.

[4] You can delete a line, or one layer, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>- keys. The NL in the 'general' menu will be reduced automatically by 1.

[5] You can add a new line, or one more layer, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NL in the 'General' menu will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NL in the 'General' menu by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins>

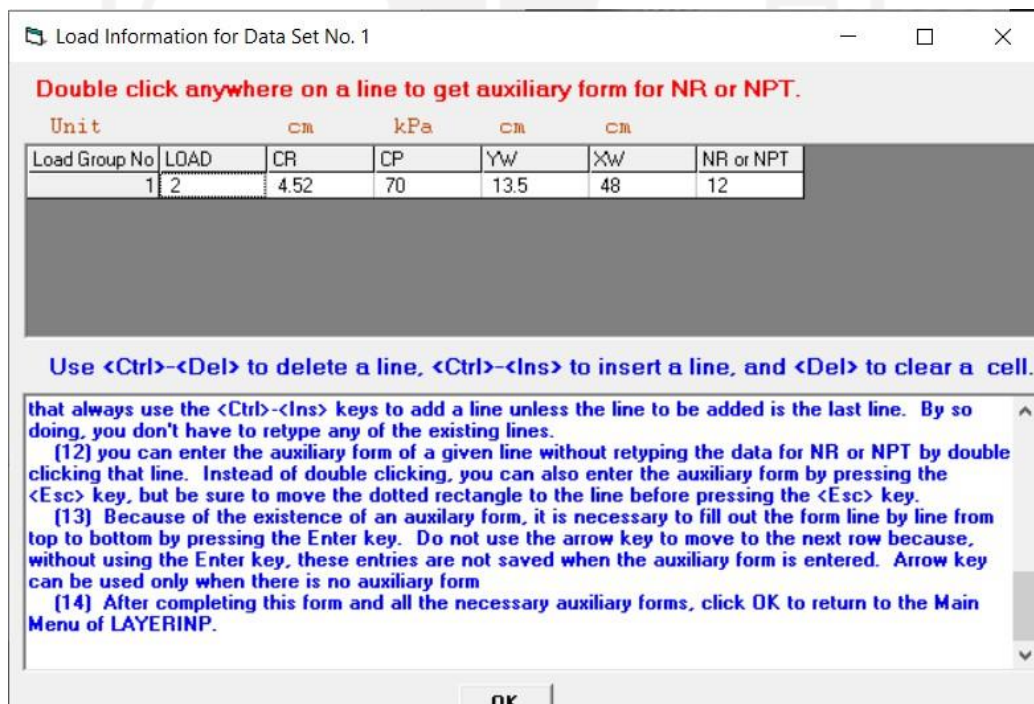
Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Gambar 4.12 Tampilan Menu *Moduli for Period*

7. Load

Dalam menu ini, jumlah unit yang ada sama dengan jumlah NPG yang ada di dalam menu *General*. Untuk kolom *LOAD* dengan nilai (0), ditujukan untuk sumbu tunggal roda tunggal, (1) ditujukan untuk sumbu tunggal roda ganda, (2) ditujukan untuk sumbu tandem, (3) ditujukan untuk sumbu *triple*. Kolom *CR* adalah radius kontak pembebanan. Kolom *CP* adalah nilai beban. Kolom *YW* dan *YX* merupakan jarak antar roda arah y dan arah x. Jika kolom *LOAD* = 0, maka kolom *YW* dan *YX* = 0. *NR* dan *NPT* adalah jumlah nilai titik yang akan kita tinjau pada lapis perkerasan. Tampilan layar menu *Load* dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Tampilan Menu *Load*

- Parameter seperti *Nonlinier*, *Viscoelastic*, *Damage* akan mengikuti nilai dengan sendirinya sesuai dengan input nilai yang sudah di *input* sebelum data ini.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Desain Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program *Kenpave* Pemodelan Elastik

Data tebal perkerasan eksisting yang telah didapatkan dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta dapat diolah langsung menggunakan program *Kenpave* untuk mengetahui besaran kerusakan yang terjadi.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

- 1) Beban sumbu standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
- 2) Tekanan roda untuk satu ban sebesar $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa}$.
- 3) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
- 4) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis ini lapisan *hot mix asphalt*, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan menggunakan material berbahan elastik. Jadi pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan

| | | |
|-----------------|---------------------|---------------|
| AC-WC | Modulus Elastis (E) | 1.100.000 KPa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,35 |
| AC-BC | Modulus Elastis (E) | 1.200.000 KPa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,35 |
| AC-Base | Modulus Elastis (E) | 1.600.000 Kpa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,35 |
| Pondasi Kelas A | Modulus Elastis (E) | 250.000 Kpa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,4 |
| Tanah Dasar | Modulus Elastis (E) | 150.000 KPa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,45 |

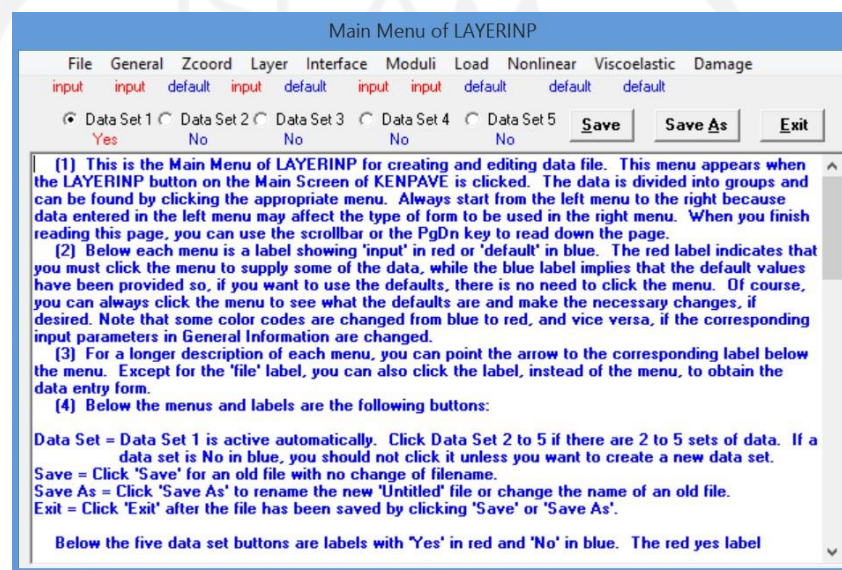
Sumber : Huang (2004)

2. Input program *Kenpave*

Berikut ini akan dilakukan analisis perkerasan eksisting menggunakan program *Kenpave* dengan beberapa tahap pengerjaan untuk mendapatkan tegangan dan regangannya.

a. Input *Layernip*

Untuk memulai melakukan input data, klik pada bagian menu *Layernip*



Gambar 5.1 Tampilan *Layernip*

Untuk memulai halaman baru pada *Layernip* klik file dan klik new. Maka data yang diinputkan akan kembali ke default.

b. General

Setelah itu masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Input General

| <i>Title</i> | Trial | Keterangan |
|--------------|-------|--|
| MATL | 1 | Lapis perkerasan adalah Elastik |
| NDAMA | 0 | Diawal tidak terdapat analisis kerusakan |
| NPY | 1 | Mengikuti <i>Kenpave</i> |

Lanjutan Tabel 5.2 Input General

| Title | Trial | Keterangan |
|-------|-------|--|
| NLG | 1 | Mengikuti <i>Kenpave</i> |
| DEL | 0,001 | Akurasi analisis |
| NL | 5 | Jumlah Lapis Perkerasan (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA, Subgrade</i>) |
| NZ | 5 | Jumlah titik tinjau kerusakan |
| ICL | 80 | Mengikuti <i>Kenpave</i> |
| NSDT | 9 | Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan |
| NBOND | 1 | Semua lapisan perkerasan saling terikat |
| NLBT | 0 | |
| NLTC | 0 | |
| NUNIT | 1 | Unit satuan Standar Internasional |

General Information of LAYERINP for Set No. 1

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

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

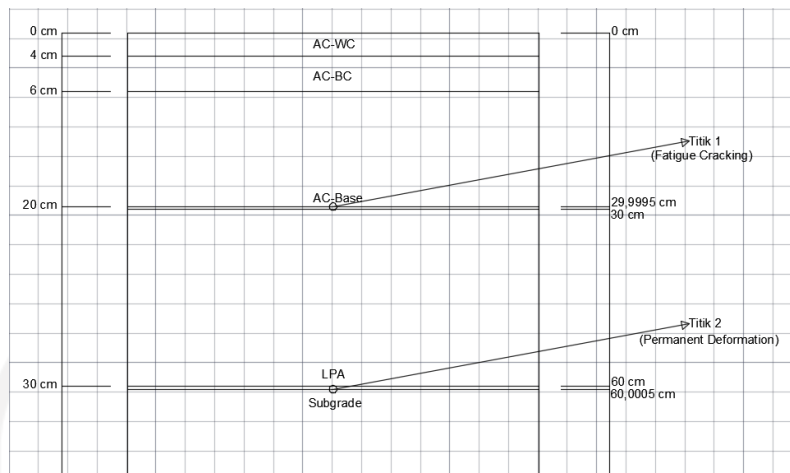
(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Gambar 5.2 Data Input pada Menu General

c. Zcoord

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Kedalaman Titik Tinjau Kerusakan

Untuk pemodelan elastis, titik kedalaman yang ditinjau adalah 29,995 dan 60,005 untuk melihat tegangan dan regangan pada lokasi kerusakan. Untuk detail kedalaman input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Input *Zcoord*

| No | Kedalaman | Keterangan |
|----|-----------|----------------------------|
| 1 | 0 | Permukaan lapis perkerasan |
| 2 | 29,995 | Dasar lapis perkerasan |
| 3 | 30 | Permukaan lapis pondasi |
| 4 | 60 | Dasar lapis pondasi |
| 5 | 60,005 | <i>Subgrade</i> |

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk *input* data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut diperoleh dari Huang (2004) dan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Input Parameter Layer

| No Layer | Tebal (cm) | Poisson's Ratio | Keterangan |
|----------|------------|-----------------|------------|
| 1 | 4 | 0,35 | AC-WC |
| 2 | 6 | 0,35 | AC-BC |
| 3 | 20 | 0,35 | AC-Base |
| 4 | 30 | 0,4 | LPA A |
| 5 | ∞ | 0,45 | Subgrade |

e. *Moduli*

Menu *moduli* berfungsi untuk *input* parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari Huang (2004) dan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

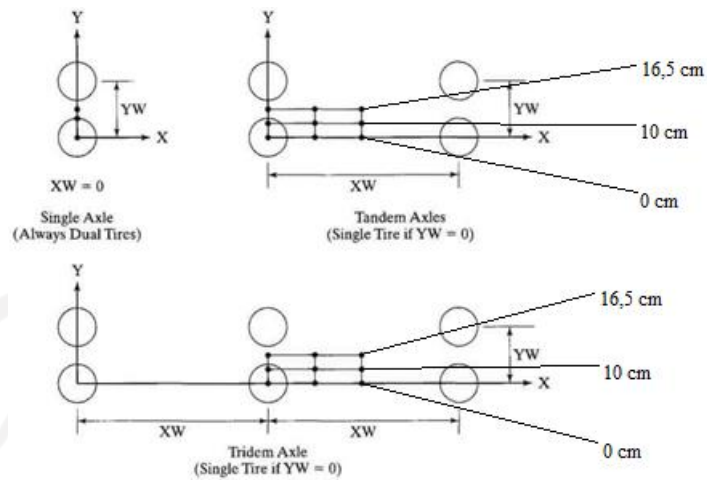
Tabel 5.5 Input Moduli

| No | Modulus Elastisitas (KPa) |
|----|---------------------------|
| 1 | 1.100.000 |
| 2 | 1.200.000 |
| 3 | 1.600.000 |
| 4 | 250.000 |
| 5 | 150.000 |

f. *Load*

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

- 1) *Load* = 1 (*single axle road*, roda gandar ganda)
- 2) CR, berdasarkan nilai jarak antar ban = 11 cm
- 3) CP, berdasarkan nilai tekanan ban = 0,55 MPa = 550 KPa
- 4) YW dan XW, merupakan roda *single axle dual tires* maka nilai YW = 33 dan XW = 0



Gambar 5.4 Plan View of Multiple Wheels

(Sumber : Huang, 2004)

- 5) NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Koordinat NPT

| X | Y |
|---|------|
| 0 | 0 |
| 0 | 10 |
| 0 | 16,5 |

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *Kenpave*. Data akan dijalankan dengan klik menu *Kenlayer*. Lalu untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu *Editor* yang ada di menu utama *Kenpave* dan buka nama file.

3. Hasil Analisis

Berikut adalah hasil output tegangan dan regangan pada pemodelan elastik menggunakan program *Kenlayer*.

Tabel 5.7 Hasil Analisis Eksisting Pemodelan Elastik

| Point | Koordinat Vertikal | Regangan Vertikal | Regangan Horizontal |
|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 550 | 685,275 |
| | | $2,462 \times 10^{-4}$ | $1,587 \times 10^{-4}$ |
| | 29,995 | 58,370 | -162,297 |
| | | $1,172 \times 10^{-4}$ | $-1,070 \times 10^{-4}$ |
| | 30 | 58,358 | -162,393 |
| | | $1,173 \times 10^{-4}$ | $-1,070 \times 10^{-4}$ |
| | 60 | 23,502 | -9,394 |
| | | $1,269 \times 10^{-4}$ | $-6,923 \times 10^{-5}$ |
| 60,005 | 23,500 | 2,396 | |
| | $1,432 \times 10^{-4}$ | $-6,923 \times 10^{-5}$ | |
| 2 | 0 | 550 | 360,877 |
| | | $7,706 \times 10^{-5}$ | $9,424 \times 10^{-5}$ |
| | 29,995 | 60,310 | -157,465 |
| | | $1,193 \times 10^{-4}$ | $-1,136 \times 10^{-4}$ |
| | 30 | 60,300 | 157,550 |
| | | $1,194 \times 10^{-4}$ | $-1,137 \times 10^{-4}$ |
| | 60 | 24,879 | -10,417 |
| | | $1,357 \times 10^{-4}$ | $-7,225 \times 10^{-5}$ |
| 60,005 | 24,877 | 2,555 | |
| | $1,533 \times 10^{-4}$ | $-7,224 \times 10^{-5}$ | |
| 3 | 0 | 0 | 290,647 |
| | | $3,624 \times 10^{-5}$ | $8,278 \times 10^{-5}$ |
| | 29,995 | 59,888 | -150,789 |
| | | $1,174 \times 10^{-4}$ | $-1,144 \times 10^{-4}$ |
| | 30 | 59,879 | -150,865 |
| | | $1,174 \times 10^{-4}$ | $-1,144 \times 10^{-4}$ |
| | 60 | 25,136 | -10,607 |
| | | $1,373 \times 10^{-4}$ | $-7,282 \times 10^{-5}$ |
| 60,005 | 25,133 | 2,587 | |
| | $1,551 \times 10^{-4}$ | $-7,281 \times 10^{-5}$ | |

Tabel 5.8 Rekapitulasi Regangan Maksimum

| | Regangan Horizontal 29,995 | Regangan Vertikal 60,005 |
|-------|-------------------------------|-----------------------------|
| Beban | $1,070 \times 10^{-4}$ | $1,432 \times 10^{-4}$ |
| | $1,136 \times 10^{-4}$ | $1,533 \times 10^{-4}$ |
| | $1,144 \times 10^{-4}$ | $1,551 \times 10^{-4}$ |
| Max | $1,144 \times 10^{-4}$ | $1,551 \times 10^{-4}$ |

Dari Tabel 5.7 dapat dilihat hasil dari analisis Program *Kenpave* berupa tegangan dan regangan yang dialami oleh perkerasan. Tegangan yang ditampilkan sesuai dengan tiap-tiap kedalaman yang *diinput*. Lalu pada Tabel 5.8 dapat dilihat tegangan maksimum yang dihasilkan dari tiap kerusakan yang akan digunakan untuk kontrol jumlah beban gandar dan umur pelayanan.

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan, lalu dilanjutkan dengan menganalisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* sebagai bentuk kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol ini dilakukan dengan cara menghitung nilai N_f (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*) dan N_d (jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi.

a. Perhitungan nilai N_f (*fatigue cracking*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (1.144 \times 10^{-4})^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 1.141.579.498 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai N_d (*permanent deformation*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (1.551 \times 10^{-4})^{-4,477}$$

$$N_d = 154.797.390 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dari hasil perhitungan analisis program *Kenlayer* diketahui bahwa Jalan Milir-Sentolo mengalami kerusakan *fatigue cracking* setelah dilalui beban gandar sebesar 1.141.579.498 ESAL sedangkan kerusakan *permanent deformation* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 154.797.390 ESAL. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali merupakan *permanent deformation*. Maka dari besaran beban gandar ini dapat dihitung prediksi umur pelayanan dari Jalan Milir-Sentolo terhadap kerusakan menggunakan data-data LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas. Berikut adalah uraiannya.

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

$$154.797.390 = [29005 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[8474 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[308 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[1516 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[467 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[660 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[389 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[1195 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$[440 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01)^{(4,8)^{UR-1}}}{0,01 \times 4,8}] +$$

$$\begin{aligned}
& [134 \times 18,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [174 \times 19,8 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [190 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
154.797.390 &= [17060,39 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [120493,8 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [39026,6 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [2005934,88 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [1156740,48 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [445559,3 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [628633,37 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] \\
154.797.390 &= ((1,048)^{UR}-1) \times (355424,83+2510287,5+813054,23+ \\
& 41790310+24098760+9282485,33+13096528,5) \\
154.797.390 &= ((1,048)^{UR}-1) \times 91946850,4 \\
1,683552937 &= ((1,048)^{UR}-1) \\
2,683552937 &= (1,048)^{UR} \\
UR &= {}^{1,048} \log 2,683552937 \\
UR &= \frac{{}^p \log b}{{}^p \log a} \\
UR &= \frac{{}^1 \log 2,683552937}{{}^1 \log 1,048} \\
UR &= 21,05516505 \text{ tahun} \approx 21 \text{ tahun}
\end{aligned}$$

$$CESA_{Cracking} = \sum (LHRT_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times \frac{(1+0,01i)^{UR-1}}{0,01i}$$

$$\begin{aligned}
1.141.579.498 &= [29005 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [8474 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [308 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [1516 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [467 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [660 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [389 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [1195 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [440 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [134 \times 18,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [174 \times 19,8 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [190 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
1.141.579.498 = & [17060,39 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [120493,8 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [39026,6 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [2005934,88 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [1156740,48 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [445559,3 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [628633,37 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] \\
1.141.579.498 = & ((1,048)^{UR-1}) \times (355424,83+2510287,5+813054,23+ \\
& 41790310+24098760+9282485,33+13096528,5) \\
1.141.579.498 = & ((1,048)^{UR-1}) \times 91946850,4 \\
12,415664548 = & ((1,048)^{UR-1}) \\
13,415664548 = & (1,048)^{UR} \\
UR = & {}^{1,048} \log 13,415664548
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{UR} &= \frac{^a p \log b}{^a p \log a} \\ \text{UR} &= \frac{^1 \log 13,415664548}{^1 \log 1.048} \\ \text{UR} &= 55,380214 \text{ tahun} \approx 55 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Dari analisis perkerasan lentur eksisting menggunakan pemodelan Elastis didapatkan output berupa beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh Jalan Milir-Sentolo dari setiap kerusakan yang terjadi dan umur rencana yang menunjukkan lama Jalan Milir-Sentolo menahan beban gandar maksimum tersebut sampai terjadi kerusakan. Untuk nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Eksisting Pemodelan Elastik

| Jenis Kerusakan | Beban Ganda Maksimum (ESAL) | Umur Pelayanan (Tahun) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| <i>Fatigue Cracking</i> | 1.141.579.498 | 55 |
| <i>Permanent Deformation</i> | 154.797.390 | 21 |

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali pada Jalan Milir-Sentolo adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 154.797.390 ESAL dengan umur pelayanan 21 tahun. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa tebal perkerasan lentur eksisting dengan pemodelan elastis mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa Jalan Milir-Sentolo juga sudah mampu menahan beban maksimum untuk kerusakan *fatigue cracking* selama masa umur rencana.

5.2 Desain Perkerasan Lentur Eksisting Menggunakan Program *Kenpave* Pemodelan Viskoelastik

Data tebal perkerasan eksisting yang telah didapatkan dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I Yogyakarta dapat diolah langsung menggunakan program *Kenpave* untuk mengetahui besaran kerusakan yang terjadi.

1. Data Analisis

a. Detail beban sumbu roda

Data detail sumbu roda yang digunakan diambil berdasarkan Gambar 3.6 yang merupakan data detail sumbu roda di Indonesia menurut Sukirman (1992), sebagai berikut.

- 1) Beban sumbu standar kendaraan sebesar 18.000 pon atau 8,16 ton.
- 2) Tekanan roda untuk satu ban sebesar $0,55 \text{ kg/cm}^2 = 0,55 \text{ Mpa}$.
- 3) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm.
- 4) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm.

b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis lapisan permukaan perkerasan ini menggunakan material berbahan viskoelastik, sehingga perhitungan ini dilakukan berdasarkan *creep compliances*. Sedangkan pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan tetap menggunakan mterial berbahan elastik. Jadi pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis dan *poisson ratio* yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan

| | | |
|-----------------|---------------------|---------------|
| <i>AC-WC</i> | Modulus Elastis (E) | 1.100.000 KPa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,35 |
| <i>AC-BC</i> | Modulus Elastis (E) | 1.200.000 KPa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,35 |
| <i>AC-Base</i> | Modulus Elastis (E) | 1.600.000 Kpa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,35 |
| Pondasi Kelas A | Modulus Elastis (E) | 250.000 Kpa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,4 |

Lanjutan Tabel 5.10 Parameter Tiap Lapisan Perkerasan

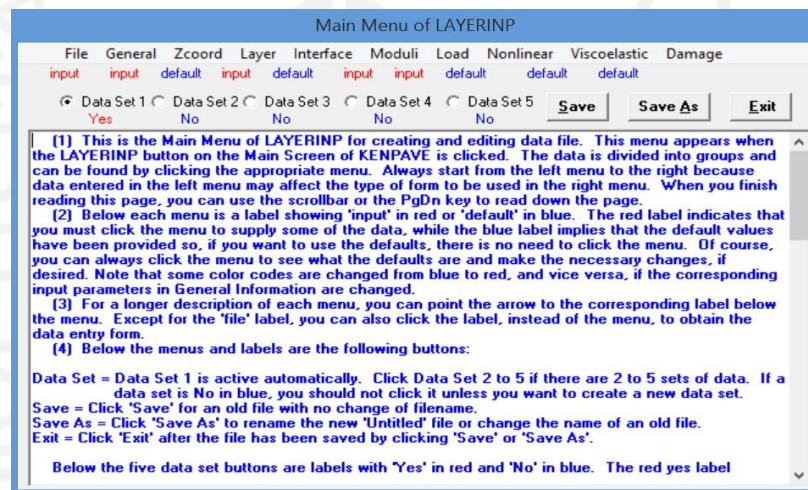
| | | |
|-------------|---------------------|-------------|
| Tanah Dasar | Modulus Elastis (E) | 150.000 KPa |
| | <i>Poison Ratio</i> | 0,45 |

(Sumber : Huang, 2004)

2. Input program *Kenpave*

a. Input *Layernip*

Pada menu *Layernip* ini disediakan beberapa pilihan untuk mengisi data-data yang dibutuhkan sesuai dengan bahan propertis dari perkerasan lentur yang di analisis.



Gambar 5.5 Tampilan *Layernip*

Untuk memulai halaman baru pada *Layernip* klik file dan klik new. Maka data yang diinputkan akan kembali ke default.

b. General

Setelah itu masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.6 berikut ini.

Tabel 5.11 Input General

| Title | Trial | Keterangan |
|-------|-------|--|
| MATL | 3 | Lapis perkerasan adalah Viskoelastik |
| NDAMA | 0 | Diawal tidak terdapat analisis kerusakan |
| NPY | 1 | Mengikuti <i>Kenpave</i> |
| NLG | 1 | Mengikuti <i>Kenpave</i> |
| DEL | 0,001 | Akurasi analisis |
| NL | 5 | Jumlah Lapis Perkerasan (<i>AC-WC, AC-BC, AC Base, LPA A, Subgrade</i>) |
| NZ | 5 | Jumlah titik tinjau kerusakan |
| ICL | 80 | Mengikuti <i>Kenpave</i> |
| NSDT | 9 | Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan |
| NBOND | 1 | Semua lapisan perkerasan saling terikat |
| NLBT | 0 | |
| NLTC | 0 | |
| NUNIT | 1 | Unit satuan Standar Internasional |

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE: Wisko Iqbal Fajar

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

OK

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

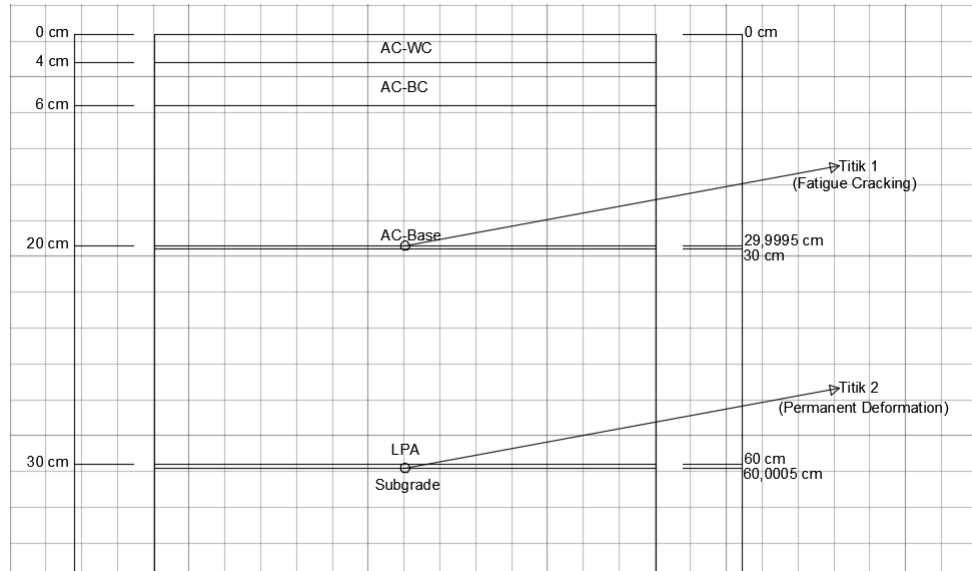
(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Gambar 5.6 Data Input pada Menu General

c. *Zcoord*

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



Gambar 5.7 Titik Kerusakan yang Ditinjau

Dari gambar 5.7 dapat dilihat bahwa terdapat dua titik tinjau kerusakan, dimana titik 1 merupakan kedalaman tinjauan untuk kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*). Perbedaannya terletak pada regangan, dimana untuk retak lelah menggunakan regangan horizontal. Untuk titik 2 sendiri adalah kedalaman tinjauan untuk kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*). Untuk detail kedalaman input *Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Input *Zcoord*

| No | Kedalaman (cm) | Keterangan |
|----|----------------|----------------------------|
| 1 | 0 | Permukaan lapis perkerasan |
| 2 | 29,995 | Dasar lapis perkerasan |
| 3 | 30 | Permukaan lapis pondasi |
| 4 | 60 | Dasar lapis pondasi |
| 5 | 60,005 | <i>Subgrade</i> |

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk *input* data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *Poisson's ratio*. Nilai parameter tersebut diperoleh dari Bina Marga 2017 dan dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Input Parameter Layer

| No Layer | Tebal (cm) | <i>Poisson's Ratio</i> | Keterangan |
|----------|------------|------------------------|-----------------|
| 1 | 4 | 0,35 | <i>AC-WC</i> |
| 2 | 6 | 0,35 | <i>AC-BC</i> |
| 3 | 20 | 0,35 | <i>AC-Base</i> |
| 4 | 30 | 0,4 | LPA A |
| 5 | ∞ | 0,45 | <i>Subgrade</i> |

e. *Moduli*

Menu *moduli* berfungsi untuk *input* parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari Bina Marga 2017 dan dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Input Moduli

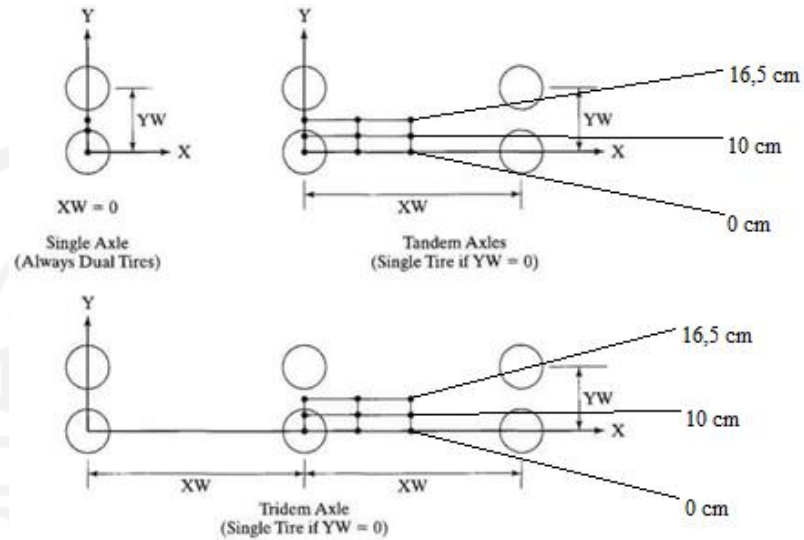
| No | Modulus Elastisitas (KPa) |
|----|---------------------------|
| 1 | 1.100.000 |
| 2 | 1.200.000 |
| 3 | 1.600.000 |
| 4 | 250.000 |
| 5 | 150.000 |

f. *Load*

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

- 1) *Load* = 1 (*single axle road*, roda gandar ganda)
- 2) CR, berdasarkan nilai jarak antar ban = 11 cm

- 3) CP, berdasarkan nilai tekanan ban = 0,55 MPa = 550 KPa
 4) YW dan XW, merupakan roda single axle dual tires maka nilai YW = 33 dan XW = 0



Gambar 5.8 Plan View of Multiple Wheels

(Sumber : Huang, 2004)

- 5) NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Koordinat NPT

| X | Y |
|---|------|
| 0 | 0 |
| 0 | 10 |
| 0 | 16,5 |

g. *Viscoelastic*

1) *General*

Load Duration (DUR) = 0,1

Number of viscoelastic layers = 3

Number of time durations for creep compliances = 11

2) *Time*

Creep compliances dihitung menggunakan 11 variasi waktu dan dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 *Time of Durations for Creep Compliances*

| <i>Sequance</i> | <i>Time</i> |
|-----------------|-------------|
| 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)

3) *Layer*

Nilai beta (β) = 0,113 (Huang, 2004)

Temperature = 25°C

4) *Creep Compliances*

Pada menu *creep*, nilai-nilai angka *creep compliances* akan secara otomatis terisi pada menu ini. Nilai *Creep compliances* adalah sama dengan NTYME pada *Viscoelastis General Information*. Satuan pada waktu NTYME akan dikonversikan secara otomatis ke KPa di menu ini. Untuk nilai *creep compliances* dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.17 Nilai Creep Compliances

| <i>Time</i> | <i>Creep</i> |
|-------------|------------------------|
| 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)

5) *Temperature*

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

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama *Kenpave*. Data akan dijalankan dengan klik menu *Kenlayer*. Untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu *Editor* yang berada di menu utama *Kenpave* dan buka nama file yang akan dijalankan.

3. Hasil Analisis

Hasil analisis yang dilakukan oleh *Kenlayer* mengeluarkan *output* analisis berupa tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Respon yang diberikan untuk *single axle load* (roda gandar tunggal) pada analisis ini berupa *vertical compressive strain* yang terdapat pada permukaan tanah dasar dan radial (*tangential*) *tensile strain* yang terletak di aspal bagian bawah. Tegangan dan regangan yang ada pada Tabel 5.18 didapat ketika struktur perkerasan jalan sudah dibebani. Untuk Tabel 5.19 sendiri merupakan hasil rekapitulasi nilai tegangan dan regangan terbesar dari tiap *layer*.

Tabel 5.18 Hasil Analisis Eksisting Pemodelan Viskoelastik

| Point | Koordinat Vertikal | Regangan Vertikal | Regangan Horizontal | |
|--------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0 | 550 | 762,178 | |
| | | $2,802 \times 10^{-4}$ | $2,245 \times 10^{-4}$ | |
| | 29,995 | 70,110 | -100,916 | |
| | | $1,64 \times 10^{-4}$ | $-1,328 \times 10^{-4}$ | |
| | 30 | 70,095 | -100,978 | |
| | | $1,64 \times 10^{-4}$ | $-1,328 \times 10^{-4}$ | |
| | 60 | 26,277 | -10,961 | |
| | | $1,437 \times 10^{-4}$ | $-7,980 \times 10^{-5}$ | |
| | 60,005 | 26,274 | 2,326 | |
| | | $1,624 \times 10^{-4}$ | $-7,979 \times 10^{-5}$ | |
| | 2 | 0 | 550 | 374,426 |
| | | | $8,397 \times 10^{-5}$ | $1,168 \times 10^{-4}$ |
| 29,995 | | 72,284 | -94,926 | |
| | | $1,664 \times 10^{-4}$ | $-1,414 \times 10^{-4}$ | |
| 30 | | 72,271 | -94,981 | |
| | | $1,664 \times 10^{-4}$ | $-1,415 \times 10^{-4}$ | |
| 60 | | 27,965 | -12,215 | |
| | | $1,546 \times 10^{-4}$ | $-8,360 \times 10^{-5}$ | |
| 60,005 | | 27,962 | 2,523 | |
| | | $1,748 \times 10^{-4}$ | $-8,359 \times 10^{-5}$ | |
| 3 | | 0 | 0 | 293,290 |
| | | | $3,955 \times 10^{-5}$ | $9,804 \times 10^{-5}$ |
| | 29,995 | 71,629 | -89,576 | |
| | | $1,634 \times 10^{-4}$ | $-1,424 \times 10^{-4}$ | |
| | 30 | 71,617 | -89,626 | |
| | | $1,635 \times 10^{-4}$ | $-1,424 \times 10^{-4}$ | |
| | 60 | 28,279 | -12,447 | |
| | | $1,566 \times 10^{-4}$ | $-8,432 \times 10^{-5}$ | |
| | 60,005 | 28,276 | 2,563 | |
| | | $1,771 \times 10^{-4}$ | $-8,431 \times 10^{-5}$ | |

Tabel 5.19 Rekapitulasi Regangan Maksimum

| Beban | Regangan Horizontal 29,995 cm | Regangan Vertikal 60,005 |
|-------|----------------------------------|-----------------------------|
| | | $1,328 \times 10^{-4}$ |
| | $1,414 \times 10^{-4}$ | $1,748 \times 10^{-4}$ |
| | $1,424 \times 10^{-4}$ | $1,771 \times 10^{-4}$ |
| Max | $1,424 \times 10^{-4}$ | $1,771 \times 10^{-4}$ |

Dari Tabel 5.18 dapat dilihat hasil dari analisis Program *Kenpave* berupa tegangan dan regangan yang dialami oleh perkerasan. Tegangan yang ditampilkan sesuai dengan tiap-tiap kedalaman yang diinput. Lalu pada Tabel 5.19 dapat dilihat tegangan maksimum yang dihasilkan dari tiap kerusakan yang akan digunakan untuk kontrol jumlah beban gandar dan umur pelayanan.

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan, lalu dilanjutkan dengan menganalisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* sebagai bentuk kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol ini dilakukan dengan cara menghitung nilai N_f (jumlah nilai beban pengulangan yang diizinkan beban pengulangan untuk mengontrol *fatigue cracking*) dan N_d (jumlah nilai beban pengulangan yang diizinkan untuk pengulangan untuk mengontrol *permanent deformation*) harus lebih besar dari *CESA* yang telah diprediksi. Untuk nilai f_4 dan f_5 mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Intitute*.

a. Perhitungan nilai N_f (*fatigue cracking*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diizinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*.

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

$$N_f = 0,0796 (1,424 \times 10^{-4})^{-3,921} | 1.600.000 |^{-0,854}$$

$$N_f = 483.817.902,7 \text{ ESAL}$$

b. Perhitungan nilai N_d (*permanent deformation*)

Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (1.771 \times 10^{-4})^{-4,477}$$

$$N_d = 85.478.748 \text{ ESAL}$$

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dari hasil perhitungan analisis program *Kenlayer* diketahui bahwa Jalan Milir-Sentolo mengalami kerusakan *fatigue cracking* setelah dilalui beban gandar sebesar 483.817.902,7 ESAL sedangkan kerusakan *permanent deformation* terjadi setelah dilalui beban gandar sebesar 85.478.748 ESAL. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali merupakan *permanent deformation*. Maka dari besaran beban gandar ini dapat dihitung prediksi umur pelayanan dari Jalan Milir-Sentolo terhadap kerusakan menggunakan data-data LHR, *VDF*, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur dan juga nilai faktor pertumbuhan lalu lintas. Berikut adalah uraiannya.

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

$$\begin{aligned} 85.478.748 &= [29005 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [8474 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [308 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [1516 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [467 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [660 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [389 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [1195 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [440 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\ & [134 \times 18,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [174 \times 19,8 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [190 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
85.478.748 &= [17060,39 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [120493,8 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [39026,6 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [2005934,88 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [1156740,48 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [445559,3 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [628633,37 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] \\
85.478.748 &= ((1,048)^{UR-1}) \times (355424,83+2510287,5+813054,23+ \\
& 41790310+24098760+9282485,33+13096528,5) \\
85.478.748 &= ((1,048)^{UR-1}) \times 91946850,4 \\
0,929653899 &= ((1,048)^{UR-1}) \\
1,929653899 &= (1,048)^{UR} \\
UR &= {}^{1,048} \log 1,929653899 \\
UR &= \frac{{}^p \log b}{{}^p \log a} \\
UR &= \frac{{}^1 \log 1,929653899}{{}^1 \log 1,048} \\
UR &= 14,0206993 \text{ tahun} \approx 14 \text{ tahun}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
483.817.902,7 &= [29005 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [8474 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [308 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [1516 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [467 \times 0,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [660 \times 1 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [389 \times 0,55 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [1195 \times 9,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [440 \times 14,4 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [134 \times 18,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [174 \times 19,8 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
& [190 \times 0 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,01^{(4,8)})^{UR-1}}{0,01 \times 4,8}] + \\
483.817.902,7 = & [17060,39 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [120493,8 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [39026,6 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [2005934,88 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [1156740,48 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [445559,3 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] + \\
& [628633,37 \times \frac{(1,048)^{UR-1}}{0,048}] \\
483.817.902,7 = & ((1,048)^{UR-1}) \times (355424,83+2510287,5+813054,23+ \\
& 41790310+24098760+9282485,33+13096528,5) \\
483.817.902,7 = & ((1,048)^{UR-1}) \times 91946850,4 \\
5,261939132 = & ((1,048)^{UR-1}) \\
6,261939132 = & (1,048)^{UR} \\
UR = & {}^{1,048} \log 6,261939132 \\
UR = & \frac{\wedge p \log b}{\wedge p \log a}
\end{aligned}$$

$$UR = \frac{^1 \log 6,261939132}{^1 \log 1.048}$$

$$UR = 39,1285869 \text{ tahun} \approx 39 \text{ tahun}$$

Dari analisis perkerasan lentur eksisting menggunakan pemodelan Viskoelastik didapatkan output berupa beban gandar maksimum yang dapat ditahan oleh Jalan Milir-Sentolo dari setiap kerusakan yang terjadi dan umur rencana yang menunjukkan lama Jalan Milir-Sentolo menahan beban gandar maksimum tersebut sampai terjadi kerusakan. Untuk nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Eksisting Pemodelan Viskoelastik

| Jenis Kerusakan | Beban Ganda Maksimum (ESAL) | Umur Pelayanan (Tahun) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| <i>Fatigue Cracking</i> | 483.817.902,7 | 39 |
| <i>Permanent Deformation</i> | 85.478.748 | 14 |

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pertama kali pada Jalan Milir-Sentolo adalah kerusakan *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum 85.478.748 ESAL dengan umur pelayanan 14 tahun. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa tebal perkerasan lentur eksisting dengan pemodelan viskoelastik tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Namun dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa Jalan Milir-Sentolo mampu menahan beban maksimum untuk kerusakan *fatigue cracking* selama masa umur rencana .

5.3 Pembahasan

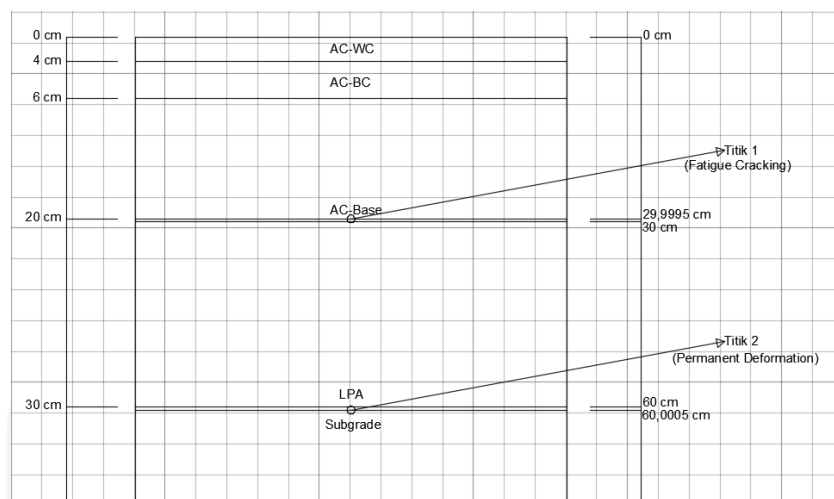
Setelah dilakukannya analisis desain perkerasan lentur Jalan Milir-Sentolo untuk rekonstruksi pada perkerasan eksisting dengan menggunakan program *Kenpave-Kenlayer*, didapatkanlah beberapa hasil sebagai berikut ini.

1. Nilai tegangan dan regangan perkerasan lentur eksisting untuk Jalan Milir-Sentolo menggunakan metode mekanistik empiris yang dibantu dengan program *Kenpave-Kenlayer* menggunakan pemodelan Viskoelastik dan Elastis.
2. Umur masa layanan struktur perkerasan eksisting yang dianalisis menggunakan program *Kenpave*.

5.3.1 Nilai Tegangan dan Regangan Perkerasan Eksisting untuk Pemodelan Viskoelastik dan Elastis.

Program *Kenpave-Kenlayer* ini membantu pengguna untuk memperkirakan tingkat kerusakan perkerasan yang mengacu kepada sifat-sifat fisik perkerasan seperti modulus elastisitas, *poisson ratio*, faktor lingkungan dan tebal perkerasan. Sifat-sifat perkerasan tersebut digunakan untuk menghitung respon perkerasan berupa tegangan dan regangan dari tiap lapisan. Untuk mengetahui seberapa perkerasan mampu menahan beban yang melintasinya, nilai tegangan dan regangan ini termasuk ke parameter yang penting.

Dalam melakukan pembacaan nilai tegangan dan regangan ini berbeda dalam tiap kerusakan. Untuk perkerasan eksisting, pada kerusakan *fatigue cracking* nilai kerusakan dibaca pada *tangential stress* kedalaman 29,995 cm yaitu pada lapisan permukaan bagian bawah. Sedangkan pada kerusakan *permanent deformation* dibaca pada *vertical stress* kedalaman 60,005 cm yaitu pada lapisan tanah dasar bagian atas (Huang, 2004). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Letak Titik Tinjau Kerusakan Perkerasan Lentur Eksisting

Pada hasil perhitungan dapat dilihat bahwa perkerasan lentur eksisting pemodelan Viskoelastik mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 483.817.902,7 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking* dan 85.478.748 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*. Untuk perkerasan lentur eksisting pemodelan Elastik mampu mengakomodasi beban gandar repetisi sebesar 1.141.579.498 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking* dan 154.797.390 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*.

5.3.2 Umur Masa Layanan Struktur Perkerasan Eksisting untuk Pemodelan Viskoelastik dan Elastis

Dalam penelitian ini dapat diprediksi umur pelayanan dari tebal perkerasan tertentu menggunakan angka beban repetisi dari tiap kerusakan sehingga dapat diketahui umur pelayanan sampai terjadi tiap-tiap 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 viskoelastik dengan tebal perkerasan tiap lapisan AC-WC 4 cm, AC-BC 6 cm, AC-Base 20 cm dan LPA 30 cm didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 483.817.902,7 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 39 tahun dan 85.478.748 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 14 tahun. Sedangkan perkerasan lentur

eksisting pemodelan elastik didapatkan beban repetisi maksimum sebesar 1.141.579.498 ESAL (*fatigue cracking*) dengan umur pelayanan 55 tahun dan 154.797.390 ESAL (*permanent deformation*) dengan umur pelayanan 21 tahun.

5.3.3 Perbedaan Program *Kenpave* Pemodelan Viskoelastik dan Elastik

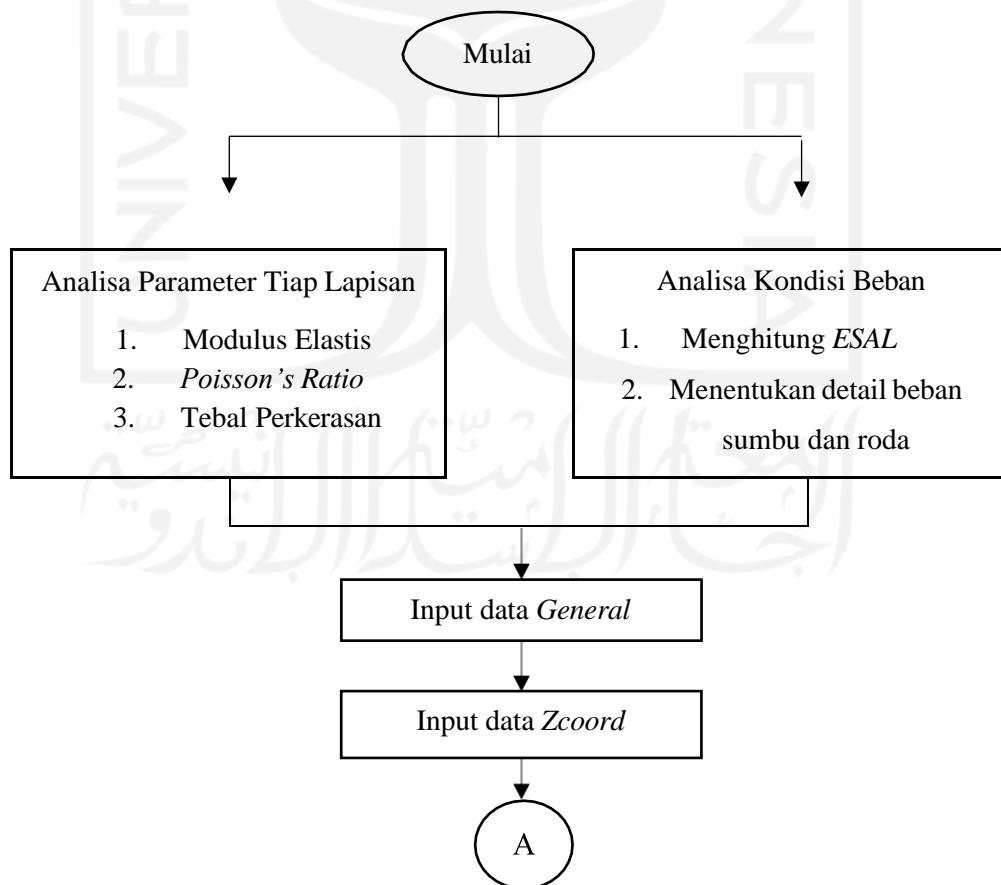
Untuk perbedaan pemodelan viskoelastik dan pemodelan elastik dapat dilihat pada Tabel 5.21 di bawah ini

Tabel 5.21 Perbedaan Pemodelan Viskoelastik dan Pemodelan Elastik

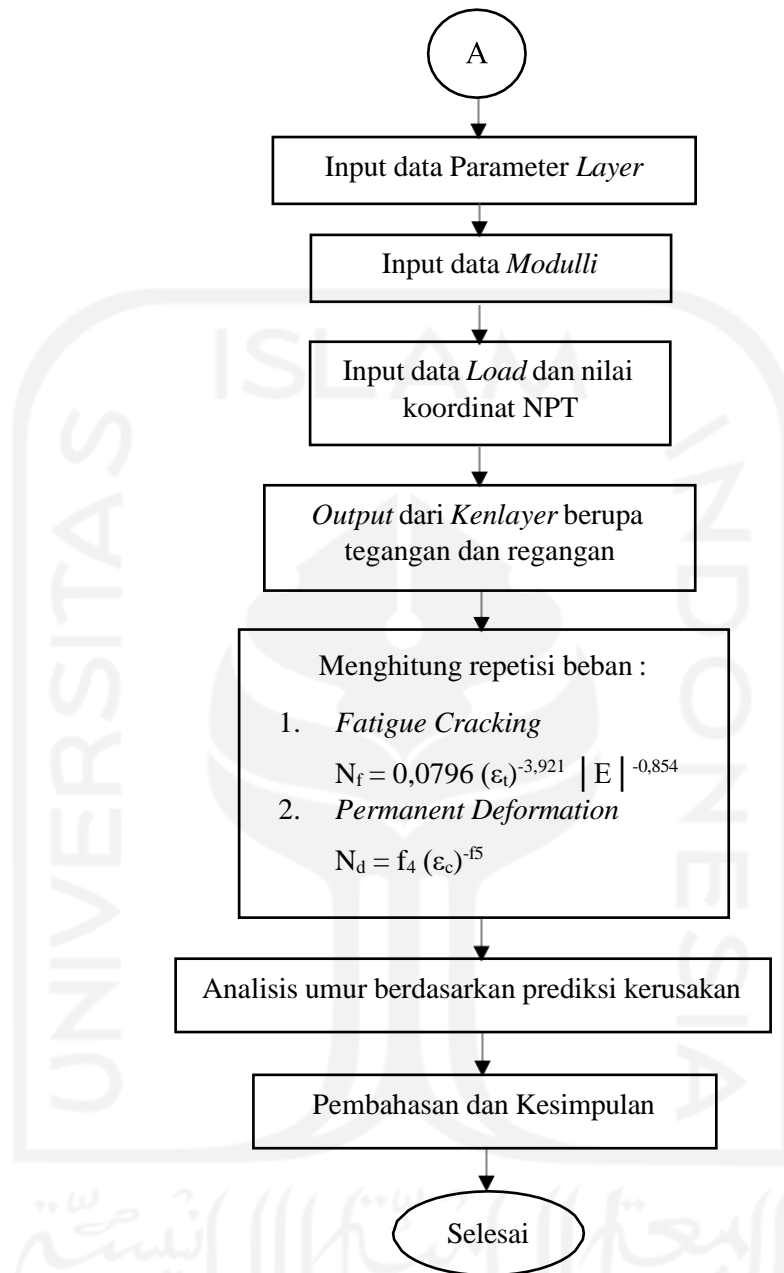
| Analisis Perbandingan | Elastik | Viskoelastik |
|------------------------------|---|---|
| Konsep pendekatan | Untuk elastik, semua lapisan dianggap memiliki sifat elastis sehingga lapisan akan kemabali ke awal ketika tegangan dilepaskan dan deformasi sebanding dengan beban yang diterapkan | Untuk viskoelastik memiliki sifat viskoelastik pada karakteristik material dan sifat elastis pada pondasi sehingga lapisan tidak akan langsung kembali ke bentuk semula setelah menerima tegangan. |
| Paramater pemodelan | Dikarenakan memiliki sifat elastis, maka dalam melakukan pemodelan menggunakan Modulus Elastisitas (E) | Dikarenakan memiliki sifat viskoelastik pada lapisan AC-WC, AC-BC dan AC-Base maka dalam pemodelan menggunakan input data <i>creep compliances</i> tiap lapisan, <i>time of durations for creep compliances</i> dan input data temperatur perkerasan tahunan. |
| Asumsi-asumsi desain | Mengasumsikan tiap lapisan bersifat elastis, sehingga tiap lapisan memiliki Modulus Elastisitas sendiri | Mengasumsikan lapisan AC-WC, AC-BC dan AC-Base bersifat viskoelastik, sehingga tiap lapisan Modulus Elastisitasnya tidak konstan |

Lanjutan Tabel 5.21 Perbedaan Pemodelan Viskoelastik dan Pemodelan Elastik

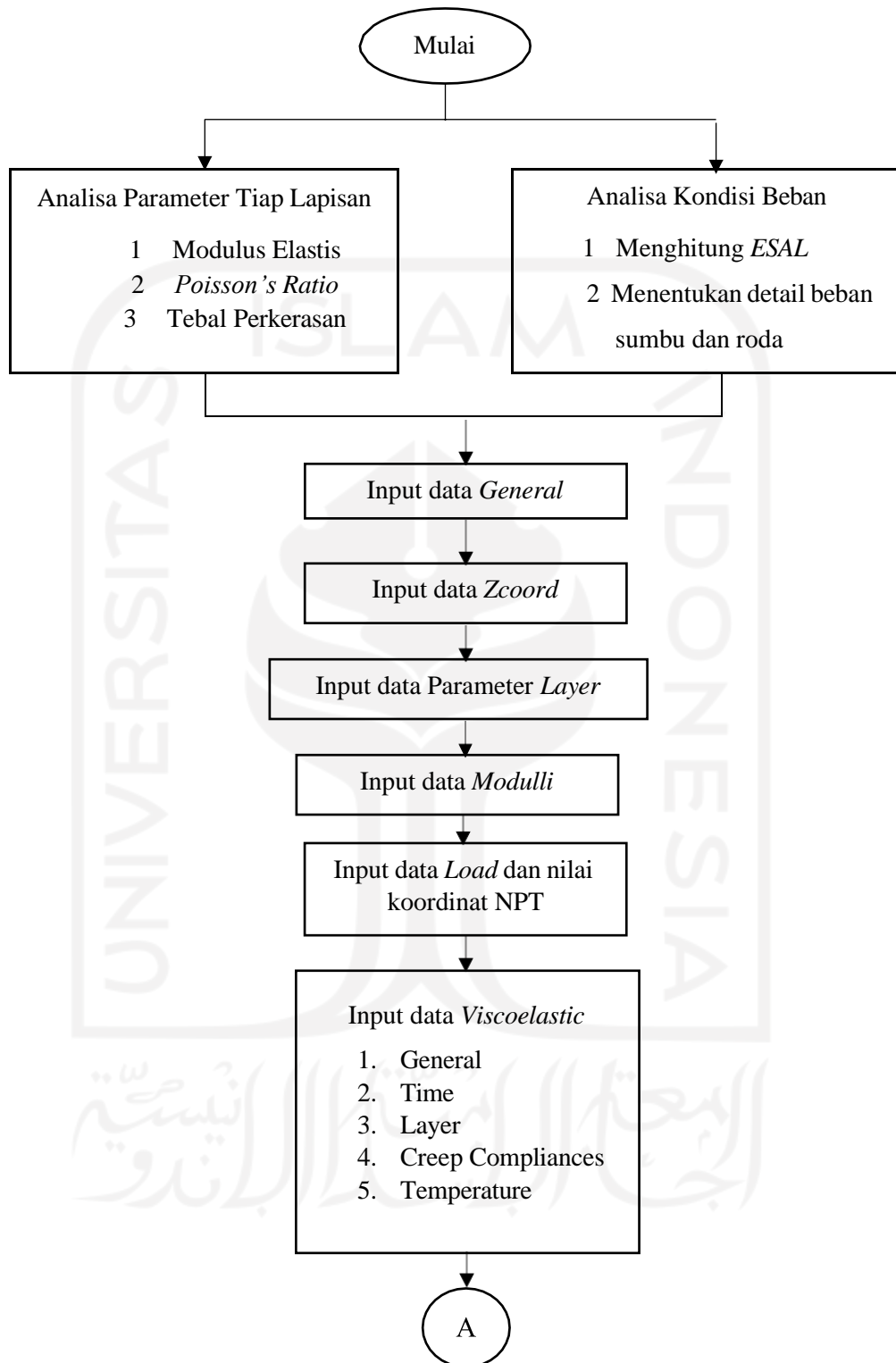
| Analisis Perbandingan | Elastik | Viskoelastik |
|------------------------------|--|--|
| Prosedur desain | Dapat dilihat pada Gambar 5.10 | Dapat dilihat pada Gambar 5.11 |
| Hasil desain | Untuk hasil desain pemodelan ini, perkerasan akan mengalami kerusakan <i>permanent deformation</i> pada tahun ke-21 dan kerusakan <i>Fatigue Cracking</i> pada tahun ke-55 | Untuk hasil desain pemodelan ini, perkerasan akan mengalami kerusakan <i>permanent deformation</i> pada tahun ke-14 dan kerusakan <i>Fatigue Cracking</i> pada tahun ke-39 |



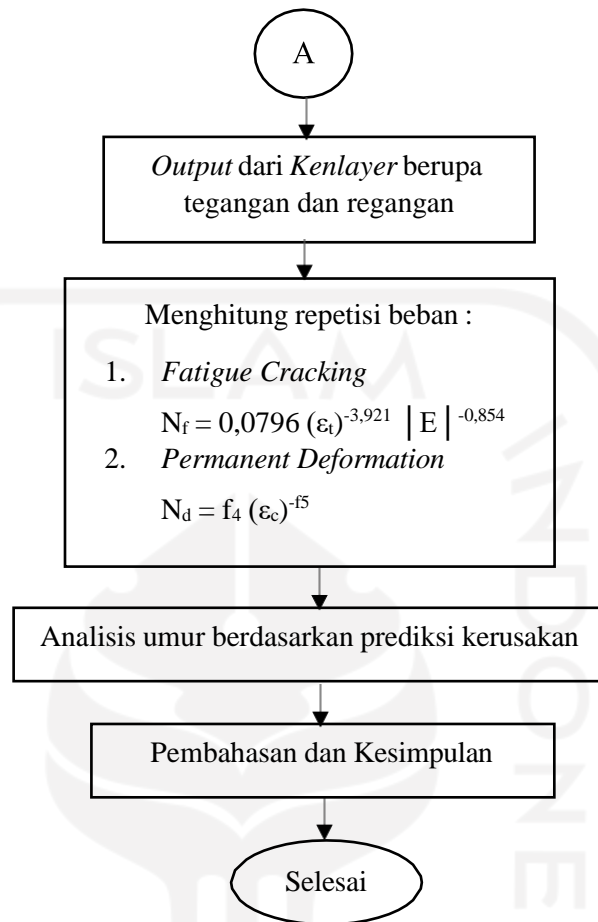
Gambar 5.10 Bagan Alir Prosedur Pemodelan Elastik



Gambar 5.10 Lanjutan Bagan Alir Prosedur Pemodelan Elastik



Gambar 5.11 Bagan Alir Prosedur Pemodelan Viskoelastik



Gambar 5.11 Lanjutan Bagan Alir Prosedur Pemodelan Viskoelastik

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis perkerasan lentur Jalan Milir-Sentolo menggunakan metode mekanistik empiris, didapatkan beberapa poin penting sebagai berikut.

1. Pada pemodelan viskoelastik untuk perkerasan lentur eksisting dalam menggunakan Program *Kenpave* didapatkan respon tegangan dan regangan pada kerusakan *permanent deformation* di kedalaman 60,005 cm sebesar 0,000177 kPa, dan kerusakan *fatigue cracking* di kedalaman 29,995 sebesar 0,000142 kPa. Kerusakan tersebut akan terjadi pada beban repetisi sebesar 483.817.902,7 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking* dan 85.478.748 sampai terjadi *permanent deformation*.
2. Pada pemodelan elastik, perkerasan lentur eksisting didapatkan respon tegangan dan regangan pada kerusakan *permanent deformation* di kedalaman 60,005 cm sebesar 0,000155 kPa dan kerusakan *fatigue cracking* di kedalaman 29,995 sebesar 0,000114 kPa. Kerusakan tersebut akan terjadi pada beban repetisi sebesar 1.141.579.498 ESAL sampai terjadi *fatigue cracking* dan 154.797.390 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*.
3. Untuk masa pelayanan dari tiap perkerasan dengan pemodelan viskoelastik dan elastik dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut ini.

Tabel 6.1 Masa Pelayanan Perkerasan Lentur Eksisting

| Jenis Kerusakan | Perkerasan Bina Marga 2017 (Tahun) | |
|------------------------------|------------------------------------|---------|
| | Viskoelastis | Elastis |
| <i>Fatigue cracking</i> | 39 | 55 |
| <i>Permanent Deformation</i> | 14 | 21 |

4. Perbedaan dari Program *Kenpave* untuk pemodelan viskoelastik dan elastik adalah sebagai berikut.

5. Untuk pemodelan viskoelastik semua lapisan dianggap memiliki sifat viskoelastik pada lapisan *AC-WC*, *AC-BC* dan *AC-Base*. Viskoelastik sendiri menunjukkan perilaku keseluruhan deformasi (perubahan bentuk) secara statik maupun dinamik. Deformasi dapat terjadi karena tarikan, tekanan, atau tegangan geser, atau kombinasi dari dua atau tiga tegangan tersebut. bahan viskoelastis adalah ketika tegangan dihilangkan, bahan tersebut tidak segera dan tidak dapat langsung kembali ke bentuk semula. Maka dari itu pada pemodelan viskoelastik tidak menggunakan Modulus Elastisitas (E) tetapi menggunakan input data *creep compliances* tiap lapisan, *time of durations for creep compliances* dan input data temperature perkerasan tahunan.
6. Sedangkan untuk pemodelan elastik semua lapisan dianggap memiliki sifat elastik. Elastik sendiri menunjukkan perilaku keseluruhan lapisan akan kembali ke awal ketika tegangan dilepaskan dan deformasi sebanding dengan beban yang diterapkan. Maka dari itu persamaan elastik menggunakan Modulus Elastisitas (E) dikarenakan semua lapisan dianggap konstan.

6.2 SARAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, diberikan beberapa saran sebagai berikut ini.

1. Perlu dilakukan evaluasi dan pengecekan ke lapangan sebelum umur ke-14 apakah perkerasan jalan eksisting sudah mengalami kerusakan pertama yaitu *permanent deformation* untuk pemodelan viskoelastik.
2. Perlu dilakukan evaluasi dan pengecekan ke lapangan sebelum umur ke-21 apakah perkerasan jalan eksisting sudah mengalami kerusakan pertama yaitu *permanent deformation* untuk pemodelan elastik.
3. Untuk memastikan tingkat akurasi untuk data seperti Modulus Elastisitas, *Poisson Ratio*, *Creep Compliances* serta suhu perkerasan tahunan, sebaiknya menggunakan data primer atau uji laboratorium agar lebih akurat dalam menganalisis menggunakan program *Kenpave* pemodelan viskoelastik dan elastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Department Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, Juni, 2017, *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017*, Jakarta.
- Hakim, I.N, 2020, Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur pada Ruas Jalan Pakem-Prambanan Untuk Mengantisipasi Peningkatan Kelas Jalan pada Ruas Jalan Pakem-Tempel-Prambanan, Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia.
- Huang, Y.H, 1967, *Evaluation of Integral by The Discrete Ordinary Method*. Pearson Education. United States of America.
- Huang, Y.H, 2004, *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Pearson Education. United States of America.
- Rahmawati, A, 2017, Evaluasi Tebal dan Analisa Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisa Komponen, *Austrroads, Asphalt Institute* dan Program *Kenpave*, Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Gadjah Mada.
- Setiawan, I.W, 2018, Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *Kenpave* di Jalan Masopati – Sukomoro, Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sukirman, S., 1992, *Perkerasaan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- 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.
- Widiastuti, A.P, 2018, Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi-Kanigoro-Planjan, Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia.
- Widodo, A.P, 2018, Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode *Pavement Condition Index*, Bina Marga dan Metode Mekanistik Empirik Dengan Program *Kenpave* Ruas Jalan Magelang – Yogyakarta stasiun 11±000 sampai stasiun 12±000, Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata

| BINA MARGA INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM CENTRAL DATABASE | | TRAFFIC SUMMARY REPORT | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|------------------------|-------|-------|--------|--------|-------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 2017 | | | | | | DI Yogyakarta [26] | | | | | | | | | | 10-Jan-2018 | |
| Link Traffic Post | AADT | | Car % | Bus % | LTTr % | HTTr % | Motor Cycle | Car | Util 1 | Util 2 | Small Bus | Large Bus | Truck 2x a) | Truck 2x b) | Truck 3x a) | Truck 3x b) | Truck 3x c) | No Mot Traf | Survey Year |
| | MBT | Total | | | | | Veh 1 | Veh 2 | Veh 3 | Veh 4 | Veh5a | Veh5b | Veh6a | Veh6b | Veh7a | Veh7b | Veh7c | Veh 8 | |
| 001 - KARANG NONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A001 | 7,366 | 18,354 | 69.89 | 6.76 | 17.66 | 5.69 | 10,612 | 4,077 | 338 | 733 | 137 | 361 | 364 | 937 | 273 | 59 | 87 | 376 | 2017 |
| 002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A002 | 13,905 | 30,481 | 80.89 | 8.82 | 7.45 | 2.84 | 15,974 | 5,955 | 4,389 | 904 | 294 | 932 | 311 | 725 | 263 | 57 | 75 | 602 | 2017 |
| 00211 K - JLN. CHUDORI (WATES) | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A00211 | 8,957 | 39,485 | 65.66 | 8.41 | 20.39 | 5.55 | 30,145 | 2,889 | 1,879 | 1,113 | 123 | 630 | 307 | 1,519 | 241 | 111 | 145 | 383 | 2017 |
| 003 - BTS. KOTA WATES - MILIR | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A003 | 12,164 | 39,785 | 68.77 | 7.97 | 16.82 | 6.45 | 26,433 | 5,044 | 1,458 | 1,863 | 349 | 620 | 533 | 1,513 | 321 | 229 | 234 | 1,188 | 2017 |
| 00311 K - JLN. KOL. SUGYONO (WATES) | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A00311 | 12,712 | 37,868 | 70.53 | 9.50 | 12.69 | 7.28 | 24,417 | 3,274 | 4,680 | 1,012 | 582 | 626 | 622 | 991 | 474 | 254 | 197 | 739 | 2017 |
| 004 - MILIR - SENTOLO | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A004 | 13,158 | 41,018 | 74.91 | 8.18 | 11.48 | 5.43 | 27,677 | 8,086 | 294 | 1,477 | 446 | 630 | 371 | 1,140 | 420 | 128 | 166 | 181 | 2017 |
| 005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A005 | 15,566 | 53,781 | 72.72 | 7.60 | 13.47 | 6.21 | 37,213 | 5,944 | 3,827 | 1,548 | 569 | 614 | 768 | 1,329 | 417 | 329 | 221 | 1,002 | 2017 |
| 006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A006 | 15,169 | 58,991 | 77.03 | 7.09 | 11.35 | 4.53 | 43,519 | 10,000 | 303 | 1,382 | 362 | 714 | 408 | 1,313 | 408 | 103 | 176 | 303 | 2017 |
| 00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA) | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A00611 | 14,420 | 105,528 | 92.74 | 3.33 | 3.73 | 0.20 | 90,020 | 12,006 | 490 | 877 | 177 | 303 | 275 | 263 | 23 | 0 | 6 | 1,088 | 2017 |
| 00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA) | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: N/A | | |
| A00711 | 33,079 | 84,696 | 88.59 | 5.82 | 4.43 | 1.16 | 50,743 | 23,822 | 1,454 | 4,028 | 676 | 1,250 | 395 | 1,070 | 283 | 43 | 58 | 874 | 2017 |
| 008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A008 | 9,794 | 48,941 | 76.67 | 5.76 | 15.72 | 1.85 | 38,593 | 4,528 | 1,284 | 1,697 | 276 | 288 | 365 | 1,175 | 128 | 19 | 34 | 554 | 2017 |
| 009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A009 | 8,463 | 38,537 | 78.32 | 3.80 | 16.86 | 1.02 | 30,065 | 5,375 | 79 | 1,174 | 224 | 98 | 233 | 1,194 | 55 | 1 | 30 | 9 | 2017 |
| 010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A010 | 7,712 | 25,401 | 77.94 | 5.37 | 14.91 | 1.78 | 17,671 | 5,116 | 140 | 755 | 138 | 276 | 207 | 943 | 115 | 6 | 16 | 18 | 2017 |
| 011 - GADING - GLEDAG | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A011 | 7,498 | 30,198 | 82.81 | 5.20 | 10.88 | 1.11 | 22,434 | 4,620 | 678 | 911 | 245 | 145 | 250 | 566 | 59 | 0 | 24 | 266 | 2017 |
| 012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSARI) | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A012 | 11,189 | 44,388 | 77.51 | 3.37 | 17.26 | 1.86 | 32,916 | 1,776 | 4,908 | 1,989 | 210 | 167 | 591 | 1,340 | 155 | 15 | 38 | 283 | 2017 |
| 013 - LINGKAR SELATAN WONOSARI | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A013 | 2,835 | 7,571 | 81.90 | 4.73 | 12.17 | 1.20 | 4,589 | 1,858 | 98 | 366 | 87 | 47 | 76 | 269 | 25 | 4 | 5 | 147 | 2017 |
| 014 - BTS. KOTA WONOSARI - NGEPOSARI - PACUCAK - BEDOYO - DUWET | | | | | | | | | | | | | | | | | Status: NK1 | | |
| A014 | 11,521 | 45,160 | 76.67 | 3.71 | 17.34 | 2.27 | 33,306 | 1,817 | 4,984 | 2,032 | 234 | 194 | 620 | 1,378 | 189 | 22 | 51 | 333 | 2017 |

| BINA MARGA INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM CENTRAL DATABASE | | TRAFFIC SUMMARY REPORT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------------|--------|-------|-------------|-------|-----------|-------|--------------|-------|--------------------|-------|----------------|-------|----------------|------|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|
| | | 2017 | | | | | | | | | | | | | | DI Yogyakarta [26] | | 10-Jan-2018 | | | | | | | | | | | | |
| Link Traffic Post | AADT | | Car % | Bus % | LTr % | HTr % | Motor Cycle | Car | | Util 1 | | Util 2 | | Small Bus | | Large Bus | | Truck 2x a) | | Truck 2x b) | | Truck 3x a) | | Truck 3x b) | | Truck 3x c) | | No Mot Traf | | Survey Year |
| | MBT | Total | | | | | | Veh 1 | Veh 2 | Veh 3 | Veh 4 | Veh5a | Veh5b | Veh6a | Veh6b | Veh7a | Veh7b | Veh7c | Veh 8 | | | | | | | | | | | |
| 001 - KARANG NONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A001 | 7,366 | 18,354 | 69.89 | 6.76 | 17.66 | 5.69 | 10,612 | 4,077 | 338 | Status: N/A | | 733 | 137 | 361 | 364 | 937 | 273 | 59 | 87 | 376 | 2017 | | | | | | | | | |
| 002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A002 | 13,905 | 30,481 | 80.89 | 8.82 | 7.45 | 2.84 | 15,974 | 5,955 | 4,389 | Status: N/A | | 904 | 294 | 932 | 311 | 725 | 263 | 57 | 75 | 602 | 2017 | | | | | | | | | |
| 00211 K - JLN. CHUDORI (WATES) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A00211 | 8,957 | 39,485 | 65.66 | 8.41 | 20.39 | 5.55 | 30,145 | 2,889 | 1,879 | Status: N/A | | 1,113 | 123 | 630 | 307 | 1,519 | 241 | 111 | 145 | 383 | 2017 | | | | | | | | | |
| 003 - BTS. KOTA WATES - MILIR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A003 | 12,164 | 39,785 | 68.77 | 7.97 | 16.82 | 6.45 | 26,433 | 5,044 | 1,458 | Status: N/A | | 1,863 | 349 | 620 | 533 | 1,513 | 321 | 229 | 234 | 1,188 | 2017 | | | | | | | | | |
| 00311 K - JLN. KOL. SUGIYONO (WATES) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A00311 | 12,712 | 37,868 | 70.53 | 9.50 | 12.69 | 7.28 | 24,417 | 3,274 | 4,680 | Status: N/A | | 1,012 | 582 | 626 | 622 | 991 | 474 | 254 | 197 | 739 | 2017 | | | | | | | | | |
| 004 - MILIR - SENTOLO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A004 | 13,158 | 41,016 | 74.91 | 8.18 | 11.48 | 5.43 | 27,677 | 8,086 | 294 | Status: N/A | | 1,477 | 446 | 630 | 371 | 1,140 | 420 | 128 | 166 | 181 | 2017 | | | | | | | | | |
| 005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A005 | 15,566 | 53,781 | 72.72 | 7.60 | 13.47 | 6.21 | 37,213 | 5,944 | 3,827 | Status: N/A | | 1,548 | 569 | 614 | 768 | 1,329 | 417 | 329 | 221 | 1,002 | 2017 | | | | | | | | | |
| 006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A006 | 15,169 | 58,991 | 77.03 | 7.09 | 11.35 | 4.53 | 43,519 | 10,000 | 303 | Status: N/A | | 1,382 | 362 | 714 | 408 | 1,313 | 408 | 103 | 176 | 303 | 2017 | | | | | | | | | |
| 00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A00611 | 14,420 | 105,528 | 92.74 | 3.33 | 3.73 | 0.20 | 90,020 | 12,006 | 490 | Status: N/A | | 877 | 177 | 303 | 275 | 263 | 23 | 0 | 6 | 1,088 | 2017 | | | | | | | | | |
| 00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A00711 | 33,079 | 84,696 | 88.59 | 5.82 | 4.43 | 1.16 | 50,743 | 23,822 | 1,454 | Status: N/A | | 4,028 | 676 | 1,250 | 395 | 1,070 | 283 | 43 | 58 | 874 | 2017 | | | | | | | | | |
| 008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A008 | 9,794 | 48,941 | 76.67 | 5.76 | 15.72 | 1.85 | 38,593 | 4,528 | 1,284 | Status: NK1 | | 1,697 | 276 | 288 | 365 | 1,175 | 128 | 19 | 34 | 554 | 2017 | | | | | | | | | |
| 009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A009 | 8,463 | 38,537 | 78.32 | 3.80 | 16.86 | 1.02 | 30,065 | 5,375 | 79 | Status: NK1 | | 1,174 | 224 | 98 | 233 | 1,194 | 55 | 1 | 30 | 9 | 2017 | | | | | | | | | |
| 010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A010 | 7,712 | 25,401 | 77.94 | 5.37 | 14.91 | 1.78 | 17,671 | 5,116 | 140 | Status: NK1 | | 755 | 138 | 276 | 207 | 943 | 115 | 6 | 16 | 18 | 2017 | | | | | | | | | |
| 011 - GADING - GLEDAG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A011 | 7,498 | 30,198 | 82.81 | 5.20 | 10.88 | 1.11 | 22,434 | 4,620 | 678 | Status: NK1 | | 911 | 245 | 145 | 250 | 566 | 59 | 0 | 24 | 266 | 2017 | | | | | | | | | |
| 012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSARI) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A012 | 11,189 | 44,388 | 77.51 | 3.37 | 17.26 | 1.86 | 32,916 | 1,776 | 4,908 | Status: NK1 | | 1,989 | 210 | 167 | 591 | 1,340 | 155 | 15 | 38 | 283 | 2017 | | | | | | | | | |
| 013 - LINGKAR SELATAN WONOSARI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A013 | 2,835 | 7,571 | 81.90 | 4.73 | 12.17 | 1.20 | 4,589 | 1,858 | 98 | Status: NK1 | | 366 | 87 | 47 | 76 | 269 | 25 | 4 | 5 | 147 | 2017 | | | | | | | | | |
| 014 - BTS. KOTA WONOSARI - NGEPOSARI - PACUCAK - BEDOYO - DUWET | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A014 | 11,521 | 45,160 | 76.67 | 3.71 | 17.34 | 2.27 | 33,306 | 1,817 | 4,984 | Status: NK1 | | 2,032 | 234 | 194 | 620 | 1,378 | 189 | 22 | 51 | 333 | 2017 | | | | | | | | | |



| Link Traffic Post | | AADT | | Car % | Bus % | LTr % | HTr % | Motor Cycle | Car | Util 1 | Util 2 | Small Bus | Large Bus | Truck 2x a) | Truck 2x b) | Truck 3x a) | Truck 3x b) | Truck 3x c) | No Mot Traf | Survey Year |
|--------------------------------|--|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|--------|--------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | MBT | Total | | | | | Veh 1 | Veh 2 | Veh 3 | Veh 4 | Veh5a | Veh5b | Veh6a | Veh6b | Veh7a | Veh7b | Veh7c | Veh 8 | |
| 025 - TEMPEL - PAKEM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Status: NK1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B025 | | 2,768 | 9,690 | 86.89 | 0.98 | 11.34 | 0.79 | 6,944 | 1,622 | 252 | 531 | 18 | 9 | 90 | 274 | 22 | 0 | 0 | 178 | 2017 |
| 026 - PAKEM - PRAMBANAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Status: NK1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B026 | | 3,906 | 14,162 | 87.02 | 1.69 | 10.96 | 0.33 | 10,090 | 1,820 | 833 | 746 | 45 | 21 | 97 | 331 | 9 | 2 | 2 | 166 | 2017 |



الجامعة الإسلامية
الاستدراكية