**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS DESAIN PERKERASAN DAN PREDIKSI KERUSAKAN MENGGUNAKAN PROGRAM KENPAVE PADA RUAS JALAN CIMAUNG - PUNTANG KABUPATEN BANDUNG

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


**Bagus Mukti Wibowo**

**18511207**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA**
**FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2026**

# TUGAS AKHIR

# ANALISIS DESAIN PERKERASAN DAN PREDIKSI KERUSAKAN MENGGUNAKAN PROGRAM KENPAVE PADA RUAS JALAN CIMAUNG - PUNTANG KABUPATEN BANDUNG

## (*ANALYSIS OF PAVEMENT DESIGN AND DAMAGE PREDICTION USING THE KENPAVE PROGRAM ON THE CIMAUNG–PUNTANG ROAD SECTION IN BANDUNG REGENCY*)


Disusun oleh

**Bagus Mukti Wibowo**

**18511207**


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

Diuji pada tanggal 24 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji

**Dosen Pembimbing I:**
Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 955110103
Tanggal : 28-08-2026

**Dosen Pembimbing II :**
Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK : 145110101
Tanggal : 28-08-2026

**Penguji :**
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc.
NIK : 205111303
Tanggal : 28 Agustus 2026

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

31/8-26

**Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.**
**NIK : 165110105**

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia dengan judul Analisis Desain Perkerasan dan Prediksi Kerusakan Menggunakan Program KENPAVE Pada Ruas Jalan Cimaung-Puntang Kabupaten Bandung merupakan hasil karya penulis. Adapun bagian-bagian tertentu yang merupakan pengutipan hasil karya orang lain telah ditulis referensinya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini merupakan plagiasi karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan dan undang-undang yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,




Bagus Mukti Wibowo

(18511207)

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir penulis mendapatkan banyak hambatan, namun berkat saran, kritik, dan 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. Ibu Miftahul fauziah, S.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah membantu dengan memberikan bimbingan, kritik dan saran selama pelaksanaan Tugas Akhir ini,
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan masukan selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan banyak saran, koreksi, dan masukan dalam proses penyempurnaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini .
4. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan motivasi dan doa yang tidak pernah putus, kasih sayang, dan dukungan moral maupun materiil selama menempuh pendidikan sarjana..
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil, sahabat-sahabat yang telah menemani perjalanan perkuliahan dan memberikan semangat hingga tahap akhir ini.
7. Bapak Ary dan Bapak Sugiyanto selaku pimpinan dan atasan di tempat kerja, atas arahan, ilmu praktis di lapangan, serta kesempatan dan ruang yang

diberikan kepada penulis sehingga dapat membagi fokus dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

8. Kepada diri sendiri, terima kasih atas kerja keras karena sudah mampu membagi waktu dan energi dengan luar biasa, hingga dapat menyelesaikan apa yang telah dimulai hingga mencapai titik ini.

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

Yogyakarta, 28 Agustus 2026



Bagus Mukti Wibowo

(18511207)

# DAFTAR ISI


HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xiii

ABSTRAK xiv

*ABSTRACT* xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 2
1.5 Batasan Masalah 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1 Penelitian Terdahulu 4
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu 6

BAB III LANDASAN TEORI 9

3.1 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2024 9
3.1.1 Umur Rencana 9
3.1.2 Pemilihan Struktur Perkerasan 10

3.1.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas 11
3.1.4 Faktor Distribusi Lajur 12
3.1.5 Data Lalu Lintas 13
3.1.6 Faktor Ekuivalen Beban 13
3.1.7 Beban Lalu Lintas 15
3.2 Program *KENPAVE* 15
3.2.1 *LAYERINP* dan *SLABSINP* 16
3.2.2 *Data Path* 16
3.2.3 *Filename* 17
3.2.4 *Help* 17
3.2.5 *Editor* 17
3.2.6 *KENLAYER* dan *KENSLABS* 17
3.2.7 *Contour* 17
3.2.8 *LGRAPH* dan *SGRAPH* 17
3.3 Progam *KENLAYER* 18
3.3.1 *File* 18
3.3.2 *General* 18
3.3.3 *Zcoord* 20
3.3.4 *Layer* 20
3.3.5 *Interface* 21
3.3.6 *Moduli* 22
3.3.7 *Load* 22
3.4 Analisis Kerusakan Perkerasan 23
3.4.1 *Rutting* 23
3.4.2 *Fatigue Cracking* 24
3.4.3 *Permanent Deformation* 24
3.5 Nilai Sisa Umur Layan 25
BAB IV METODE PENELITIAN 26
4.1 Metode Penelitian 26
4.2 Pengumpulan Data 26

4.3 Lokasi Penelitian 26
4.4 Analisis Data 26
4.4.1 Analisis Desain Tebal Perkerasan Metode MDPJ 2024 27
4.4.2 Analisis Menggunakan Program *KENPAVE* 28
4.5 Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir 30
BAB V ANALISIS PEMBAHASAN 31
5.1 Hasil Pengamatan Data 31
5.1.1 Status Jalan 31
5.1.2 Data Lalu Lintas 31
5.2 Perancangan Perkerasan Lentur Menggunakan Program *KENPAVE* 32
5.2.1 Desain Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2024 32
5.2.2 Evaluasi Perkerasan Lentur Desain 1 40
5.2.3 Evaluasi Perkerasan Lentur Desain 2 50
5.2.4 Evaluasi Perkerasan Lentur Desain 3 59
5.3 Pembahasan 68
5.3.1 Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2024 68
5.3.2 Tebal Perkerasan yang Diperoleh Menggunakan Metode Bina Marga 2024 69
5.3.3 Nilai Regangan yang Dihasilkan Melalui Program *KENPAVE* 70
5.3.4 Perbandingan Umur Layan 72
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 74
6.1 Kesimpulan 74
6.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN 79

# DAFTAR TABEL


Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu 6

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru 10

Tabel 3.2 Pemilihan Jenis Perkerasan 10

Tabel 3.3 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas 12

Tabel 3.4 Faktor Distribusi Lajur (DL) 13

Tabel 3.5 Nilai Faktor Ekuivalen Beban Kendaraan Niaga 14

Tabel 3.6 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga 14

Tabel 5.1 Status jalan 31

Table 5.2 LHR Ruas Jalan Cimaung-Puntang 31

Tabel 5.3 Nilai VDF Tiap Golongan Kendaraan 33

Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Nilai ESAL 35

Tabel 5.5 Desain Perkerasan Lentur dengan HRS 37

Tabel 5.6 Desain Perkerasan dengan Stabilisasi Tanah Semen (*soil cement*) 38

Tabel 5.7 Desain Perkerasan dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen 39

Tabel 5.8 Parameter Lapis Perkerasan 41

Tabel 5.9 Data Input Pada Menu *General* 42

Tabel 5.10 Data Input Pada Menu *Zcoord* 44

Tabel 5.11 Data Input pada Menu *Layer* 44

Tabel 5.12 Data Input pada Menu *Moduli* 45

Tabel 5.13 Hasil Analisis Desain 1 47

Tabel 5.14 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 1 49

Tabel 5.15 Parameter Lapis Perkerasan 51

Tabel 5.16 Data Input Pada Menu *General* 52

Tabel 5.17 Data Input Pada Menu *Zcoord* 53

Tabel 5.18 Data Input pada Menu *Layer* 54

Tabel 5.19 Data Input pada Menu *Moduli* 54

Tabel 5.20 Hasil Analisis Desain 2 56

Tabel 5.21 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 2 58

Tabel 5.22 Parameter Lapis Perkerasan 60

Tabel 5.23 Data Input Pada Menu *General* 61

Tabel 5.24 Data Input Pada Menu *Zcoord* 62

Tabel 5.25 Data Input pada Menu *Layer* 63

Tabel 5.26 Data Input pada Menu *Moduli* 63

Tabel 5.27 Hasil Analisis Desain 3 65

Tabel 5.28 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 3 67

Tabel 5.29 Rekapitulasi Tebal Setiap Lapis Perkerasan 69

Tabel 5.30 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan Desain-1 70

Tabel 5.31 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan Desain-2 70

Tabel 5.32 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan Desain-3 71

Tabel 5.33 Rekapitulasi Perbandingan Umur Pelayanan Tiap Desain 72

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 3.1 Tampilan Utama Aplikasi *KENPAVE* 16

Gambar 3.2 Tampilan Menu *General* 18

Gambar 3.3 Tampilan Menu *Zcoord* 20

Gambar 3.4 Tampilan Menu *Layer* 21

Gambar 3.5 Tampilan Menu *Interface* 21

Gambar 3.6 Tampilan Menu *Moduli* 22

Gambar 3.7 Tampilan Menu *Load* 23

Gambar 4.1 Bagan Alir Desain Tebal Perkerasan Metode MDPJ 2024 27

Gambar 4.2 Bagan Alir Desain Dengan Program *KENPAVE* 29

Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian 30

Gambar 5.1 Tebal Desain-1 Perkerasan Lentur dengan HRS 38

Gambar 5.2 Tebal Desain-2 Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*) 39

Gambar 5.3 Tebal Desain-3 Perkerasan Lentur dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen 40

Gambar 5.4 Tampilan Menu *Layerinp* 42

Gambar 5.5 Tampilan Input Data pada Menu *General* 43

Gambar 5.6 Tampilan Input Data pada Menu *Zcoord* 44

Gambar 5.7 Tampilan Input Data pada Menu *Layer* 45

Gambar 5.8 Tampilan Input Data pada Menu *Moduli* 46

Gambar 5.9 Koordinat NPT 46

Gambar 5.10 Tampilan Input Data pada Menu *Load* 47

Gambar 5.11 Tampilan Menu *Layerinp* 51

Gambar 5.12 Tampilan Input Data pada Menu *General* 52

Gambar 5.13 Tampilan Input Data pada Menu *Zcoord* 53

Gambar 5.14 Tampilan Input Data pada Menu *Layer* 54

Gambar 5.15 Tampilan Input Data pada Menu *Moduli* 55

Gambar 5.16 Koordinat NPT 55

Gambar 5.17 Tampilan Input Data pada Menu *Load* 56

Gambar 5.18 Tampilan Menu *Layerinp* 60

Gambar 5.19 Tampilan Input Data pada Menu *General* 61

Gambar 5.20 Tampilan Input Data pada Menu *Zcoord* 62

Gambar 5.21 Tampilan Input Data pada Menu *Layer* 63

Gambar 5.22 Tampilan Input Data pada Menu *Moduli* 64

Gambar 5.23 Koordinat NPT 64

Gambar 5.24 Tampilan Input Data pada Menu *Load* 65

Gambar 5.25 Perbandingan Tebal Perkerasan Tiap Desain 69

Gambar 5.26 Perbandingan Nilai Regangan Maksimal pada Tiap Desain Lapis Perkerasan 71

Gambar 5.27 Perbandingan Prediksi Umur Layan Tiap Desain Perkerasan 73

Gambar 5.28 Perbandingan Nilai Ndp Tiap Desain Perkerasan 73

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Output KENPAVE Perkerasan Lentur dengan HRS 80
Lampiran 2 Output KENPAVE Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*) 81
Lampiran 3 Output KENPAVE Perkerasan Lentur dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen 82

# ABSTRAK

Peningkatan volume lalu lintas kendaraan niaga pada ruas Jalan Cimaung–Puntang sepanjang ±8,5 km di Kabupaten Bandung memerlukan perencanaan struktur perkerasan lentur yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang tebal struktur perkerasan lentur berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 serta menganalisis respons tegangan-regangan dan prediksi umur layan terhadap kerusakan struktural (*fatigue cracking, rutting, dan permanent deformation*) menggunakan program *KENPAVE*.

Penelitian diawali dengan pengumpulan data sekunder berupa volume lalu lintas dan parameter material. Perancangan tebal perkerasan dilakukan berdasarkan metode MDPJ 2024 untuk umur rencana 20 tahun dengan pertumbuhan lalu lintas 3,5% yang menghasilkan nilai akumulasi beban CESA4 sebesar 462.005 ESAL dan CESA5 sebesar 521.403 ESAL. Selanjutnya dilakukan analisis tegangan, regangan, serta prediksi kerusakan dilakukan dengan menggunakan program *KENPAVE*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain-1 yaitu perkerasan lentur dengan HRS memiliki tebal lapis HRS-WC 30 mm, HRS-Base 35 mm, LFA A 250 mm, dan LFA B 150 mm sebagai alternatif terbaik dan paling efisien. Struktur ini menghasilkan regangan Tarik horizontal sebesar 0,000305 dan regangan tarik vertikal sebesar 0,000598, dengan estimasi umur layan mencapai 23 Tahun (367.995 ESAL) pada batas kritis *permanent deformation*. Hasil tersebut berhasil melampaui target umur rencana 20 tahun secara aman, praktis dalam pelaksanaan, dan ekonomis tanpa terjadi pemborosan dimensi material (*over-design*).

**Kata Kunci** : desain perkerasan lentur, *KENPAVE*, MDPJ 2024, prediksi kerusakan**,** dan umur layan.

# *ABSTRACT*

*The increase in commercial vehicle traffic volume on the approximately 8.5-km stretch of the Cimaung–Puntang Road in Bandung Regency requires optimal planning for flexible pavement structures. This study aims to design the thickness of the flexible pavement structure based on the 2024 Road Pavement Design Manual (MDPJ) and to analyze stress-strain responses and predict service life with respect to structural damage (fatigue cracking, rutting, and permanent deformation) using the KENPAVE program.*

*The study began with the collection of secondary data on traffic volume and material parameters. The pavement thickness design was based on the MDPJ 2024 method for a design life of 20 years with a traffic growth rate of 3.5%, resulting in cumulative load values of 462,005 ESAL for CESA4 and 521,403 ESAL for CESA5. Subsequently, stress and strain analyses were performed, and damage predictions were made using the KENPAVE program.*

*The research results indicate that Design-1 a flexible pavement utilizing Hot Rolled Sheet (HRS) with layer thicknesses of 30 mm for HRS-WC, 35 mm for HRS-Base, 250 mm for LFA A, and 150 mm for LFA B is the best and most efficient alternative. This structure yields a horizontal tensile strain of 0.000305 and a vertical tensile strain of 0.000598, with an estimated service life of 23 years (367,995 ESAL) based on the critical limit for permanent deformation. These results successfully exceed the 20 year design life target while ensuring practical constructability and economic viability, avoiding material over-design.*

**Keywords** : *flexible pavement design, KENPAVE, MDPJ 2024, failure prediction, and service life.*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan fasilitas transportasi darat yang sangat penting untuk menghubungkan satu daerah dengan daerah lain, serta mendukung pertumbuhan ekonomi dan aktivitas sosial masyarakat. Perencanaan struktur jalan yang matang sangat diperlukan agar jalan yang dibangun bisa awet, aman, dan nyaman saat dilewati pengguna jalan. Seiring bertambahnya jumlah kendaraan besar (seperti truk dan bus) yang membawa beban berat di Indonesia, kita butuh metode perencanaan jalan yang paling baru agar jalan tidak cepat rusak dan biaya pembangunannya tetap efisien.

Ruas Jalan Cimaung - Puntang di Kabupaten Bandung merupakan jalur utama sepanjang ±8,5 km yang menjadi akses penting menuju tempat wisata Gunung Puntang dan juga penggerak ekonomi warga sekitar. Karena kendaraan yang lewat di jalur wisata ini semakin ramai dan padat, struktur jalannya perlu dievaluasi dan direncanakan ulang menggunakan jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*) agar mampu mendistribusikan beban lalu lintas dengan baik ke tanah dasar dan tidak mudah rusak.

Untuk menyesuaikan dengan kondisi kendaraan masa kini dan beban lalu lintas yang semakin berat, Pemerintah melalui Direktorat Jenderal Bina Marga telah mengeluarkan panduan terbaru, yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024. Aturan ini memberikan panduan yang sangat lengkap, mulai dari cara menghitung beban kendaraan hingga penentuan ketebalan struktur lapisan aspal dan lapis pondasi berbutir. Namun, dalam mendesain ketebalan jalan tidak cukup dengan mengandalkan tabel bagan desain di buku panduan, diperlukan pula analisis lanjutan menggunakan *software KENPAVE* untuk mensimulasikan besarnya gaya tekan (tegangan) dan gaya tarik (regangan) kritis yang terjadi di dalam lapisan jalan saat dilewati roda kendaraan.

Dengan gabungan metode MDPJ 2024 dan *Software KENPAVE,* dapat memprediksi kapan atau pada tahun ke berapa struktur perkerasan lentur tersebut akan mulai mengalami kerusakan, seperti retak-retak akibat kelelahan bahan (*fatigue cracking*), amblas/penurunan jalur roda (*rutting*), maupun deformasi permanen (*permanent deformation*). Selanjutnya, ketebalan lapisan dapat disesuaikan secara presisi agar desain alternatif akhir sedekat mungkin mencapai target umur layan 20 tahun tanpa mengalami pemborosan dimensi material atau kegagalan struktural dini.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari Latar belakang di atas maka didapatkan rumusan masalah berikut ini.

1. Bagaimana kebutuhan struktur tebal perkerasan pada Ruas Jalan Cimaung – Puntang dengan menggunakan metode Bina Marga 2024?
2. Berapa nilai tegangan dan regangan, dan juga prediksi kerusakan yang terjadi menggunakan *Software KENPAVE*?
3. Bagaimana prediksi umur pelayanan perkerasan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis kebutuhan struktur tebal perkerasan pada Ruas Jalan Cimaung – Puntang dengan menggunakan metode Bina Marga 2024.
2. Mengetahui nilai tegangan dan regangan, dan juga prediksi kerusakan yang terjadi menggunakan *Software KENPAVE*.
3. Mengetahui prediksi umur pelayanan perkerasan

## 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan teknis dan referensi ilmiah bagi Dinas PUTR Kabupaten Bandung dalam menentukan pilihan ketebalan perkerasan lentur pada Ruas Jalan Cimaung – Puntang. Selain

meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan, penelitian ini juga diharapkan bermanfaat secara akademis sebagai rujukan penerapan pedoman terbaru MDPJ 2024 yang dikolaborasikan dengan simulasi program KENPAVE untuk memprediksi kerusakan struktural (*fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*) serta sisa umur layan (*remaining life*) perkerasan jalan.

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam menganalisis proses pemecahan masalah tersebut agar tidak terlalu meluas maka dibuat batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian hanya fokus pada ruas Jalan Cimaung – Puntang, Kabupaten Bandung, dengan panjang jalan ±8,5 km.
2. Data jumlah kendaraan yang digunakan adalah data sekunder dari Dinas PUTR Kabupaten Bandung tahun 2022 dan tahun 2024.
3. Perhitungan tegangan regangan menggunakan metode mekanistik - empiris program KENPAVE dengan pemodelan elastik.
4. Evaluasi penentuan umur rencana pelayanan jalan dalam menahan setiap kerusakan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Penelitian Terdahulu

Anisarida dkk. (2024) melakukan penelitian mengenai evaluasi tebal perkerasan lentur menggunakan metode empirik Pt-T-01-2002-B dan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 pada Ruas Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan Ratu. Secara mekanistik, analisis dikontrol dengan program KENPAVE untuk mengetahui dampak beban lalu lintas terhadap nilai tegangan dan regangan serta mencari alternatif tebal lapisan yang lebih optimal dan mampu mencapai umur rencana.

Kumalawati dkk. (2024) melakukan perancangan perkerasan lentur pada Ruas Jalan Baumata-Tarus menggunakan Metode Bina Marga 2017. Penelitian ini difokuskan untuk menangani kerusakan jalan berat (pelepasan butiran dan lubang) dengan mengukur nilai CBR tanah dasar eksisting dan pelebaran jalan niaga yang dikelompokkan dalam beberapa segmen serta menghitung volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR).

Krisnanda dkk. (2025) menyusun perencanaan perkerasan jalan pada Ruas Jalan Poncowati - Purnama Tunggal Kabupaten Lampung Tengah. Penelitian ini menerapkan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 untuk mendapatkan tebal lapis fondasi atas dan lapis permukaan aspal yang optimal berdasarkan perhitungan akumulasi beban sumbu standar (ESA 5) pada daerah yang mengalami kerusakan struktural parah.

Kurniawan dan Hadi (2024) menggabungkan metode empiris berupa penilaian *Pavement Condition Index* (PCI) dan *Surface Distress Index* (SDI) dengan metode mekanistik-empiris berbantuan software KENPAVE pada Ruas Jalan Yogyakarta-Pulowatu. Penelitian ini membandingkan akurasi visual tingkat kerusakan permukaan jalan dengan respons tegangan-regangan struktur eksisting

untuk menghasilkan usulan redesain perkerasan yang memprioritaskan penambahan lapisan *asphalt base* agar memenuhi target umur rencana 20 tahun.

Tolab dan Fauziah (2024) melakukan studi komparasi analitis terhadap struktur perkerasan lentur Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen menggunakan pendekatan linier elastik dan viskoelastik. Melalui program KENPAVE, penelitian ini memprediksi repetisi beban lalu lintas kumulatif (ESAL) maksimum yang dapat diterima oleh struktur perkerasan jalan hingga batas kritis kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* demi menghasilkan estimasi sisa umur pelayanan (*remaining life*) yang lebih realistis.

Kajian lain sejenis juga telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yaitu Hadi dan Fauziah (2022), Sumarsono dan Fauziah (2022), Tolab, dkk (2022), Nasution dan Fauziah (2024), Tolab dan Fauziah (2024), Widhiatmoko dan Fauziah (2024), dan Zuasri dan Fauziah (2024).

## 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Berikut Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan antara penelitian penulis dengan penelitian terdahulu.

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

| No | Peneliti | Judul Penelitian | Lokasi Penelitian | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Anisarida dkk. (2024) | Metode Mekanistik-Empiris Untuk Mengevaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program (Studi Kasus: Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan Ratu) | Ruas Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan Ratu | Mendesain tebal perkerasan baru secara empiris dan mengevaluasi regangan kritis menggunakan kontrol program KENPAVE untuk mendapatkan alternatif tebal perkerasan yang optimal. | Empiris (Pt-T-01-2002-B & MDPJ 2017) dan Mekanistik-Empiris (KENPAVE) | Desain memenuhi umur rencana dan diperoleh tebal optimal AC-WC 4cm, AC-BC 5cm, dan LFA A 35cm. |
| 2 | Kumalawati dkk. (2024) | Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Ruas Jalan Baumata-Tarus Dengan Metode Bina Marga 2017 | Ruas Jalan Baumata-Tarus STA 4+000 - STA 5+000 | Mengetahui kapasitas dukung tanah dasar (CBR), menghitung volume LHR, dan merancang susunan tebal perkerasan lentur optimal untuk perbaikan dan pelebaran jalan. | Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (Bina Marga 2017), Uji DCP (CBR) | Tebal perbaikan HRS-WC 5cm, LFA A 15cm, dan LFA B 15cm, membutuhkan perbaikan tanah dasar berupa timbunan pilihan serta lapis penopang dengan *geogrid*. |

| Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Krisnanda dkk. (2025) | Perencanaan Perkerasan Jalan dengan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) (Studi Kasus: Jalan Poncowati - Purnama Tunggal Kabupaten Lampung Tengah) | Ruas Jalan Poncowati - Purnama Tunggal, Lampung Tengah | Mengidentifikasi kondisi kerusakan perkerasan aspal eksisting serta menentukan dimensi tebal struktur perkerasan lentur baru yang ekonomis berdasarkan kapasitas dukung tanah dasar. | Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017, ESA 4 dan 5, Uji DCP. | Tanah dasar tidak membutuhkan perbaikan, CBR 20,03%, tebal rekonstruksi perkerasan lentur AC-WC 4cm, AC-BC 6cm, dan LFA A 40cm. |
| 4 | Kurniawan dan Hadi (2024) | Kolaborasi Metode Empiris dan Mekanistik-Empiris Guna Identifikasi dan Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan | Ruas Jalan Yogyakarta-Pulowatu STA 7+000 - STA 8+000 | Mengevaluasi objektivitas tingkat kerusakan fungsional jalan eksisting dan memprediksi penurunan umur layan melalui kolaborasi pemodelan respons mekanistik jalan. | *Pavement Condition Index* (PCI), *Surface Distress Index* (SDI), Mekanistik-Empiris (KENPAVE). | Kondisi jalan rusak berat dengan PCI 31,68 dan SDI 267,25, eksisting gagal memenuhi umur rencana, redesain FFF6 mampu bertahan ≥ 20 Tahun. |

| Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Tolab dan Fauziah (2024) | *Prediction of Damage and Remaining Life of Yogyakarta-Bawen Toll Road Pavement with Elastic and Viscoelastic Approaches* | Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Seksi 1 | Menganalisis sensitivitas respons struktural perkerasan jalan tol terhadap beban repetisi roda serta membandingkan prediksi umur sisa (*remaining life*) antara model elastik dan viskoelastik. | Manual Desain Perkerasan Jalan 2017, Pemodelan Elastik dan Viskoelastik via KENPAVE (*Remaining Life*) | Desain alternatif 1 terbukti optimal dengan prediksi umur layan 33 tahun pada permodelan elastik dan 22,7 tahun pada permodelan viskoelastik. |
| 6 | Penulis | Analisis Desain Perkerasan Dan Prediksi Kerusakan Menggunakan Program KENPAVE Pada Ruas Jalan Cimaung - Puntang Kabupaten Bandung | Ruas Jalan Cimaung - Puntang, Kabupaten Bandung | Mendesain ketebalan struktur perkerasan lentur baru berdasarkan MDPJ 2024 dan menganalisis respons tegangan-regangan menggunakan program KENPAVE untuk mencapai umur rencana 20 tahun. | Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024, Analisis Mekanistik-Empiris (Software KENPAVE). | Hasil penelitian menggunakan metode MDPJ 2024 dan aplikasi program Kenpave. |

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2024

Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 berisi pedoman teknis mengenai tata cara perancangan struktur perkerasan jalan. Ketentuan ini resmi diberlakukan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga melalui Surat Edaran (SE) Nomor 03/M/BM/2024, menggantikan sekaligus mencabut keberlakuan SE Nomor 04/SE/Db/2017. Sebagai bentuk penyempurnaan dari pedoman desain perkerasan 2017, Metode Bina Marga 2024 menitikberatkan pada penentuan umur rencana, pemilihan bahan material yang tepat, pengaruh suhu, analisis beban sumbu kendaraan, serta penyesuaian terhadap kondisi iklim. Dalam menentukan tebal perkerasan jalan yang tepat dan sesuai target perancangan, tahapan yang harus dilaksanakan adalah sebagai berikut.

### 3.1.1 Umur Rencana

Penentuan umur rencana merupakan pertimbangan mendasar dalam proses perancangan tebal perkerasan jalan. Umur rencana didefinisikan sebagai durasi masa pelayanan jalan, yang dihitung mulai dari saat jalan resmi beroperasi hingga membutuhkan pemeliharaan berat atau penambahan lapisan aus (*overlay*) baru. Dalam MDPJ 2024, umur rencana ini menjadi acuan dalam memilih tipe perkerasan sekaligus menetapkan komponen struktur perkerasan yang akan diterapkan di lapangan. Besarnya umur rencana ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *Cumulative Equivalent Standard Axle* (CESA). Adapun kategori umur rencana untuk perkerasan baru disajikan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Umuer Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)**

| Jenis Perkerasan | Elemen Perkerasan | Umur Rencana (Tahun) |
|---|---|---|
| Perkerasan lentur | Lapisan aspal dan lapisan berbutir | 20 |
| | Lapis fondasi jalan | 40 |
| | Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (*overlay*), seperti: jalan perkotaan, *underpass*, jembatan, dan terowongan | |
| Perkerasan kaku | Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan | |
| Jalan tanpa penutup | Semua elemen (teramsuk fondasi jalan | 10 |

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2024)

### 3.1.2 Pemilihan Struktur Perkerasan

Penentuan jenis perkerasan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kombinasi antara umur rencana dan kondisi lapisan pondasi jalan. Rincian mengenai panduan pemilihan jenis perkerasan tersebut selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Pemilihan Jenis Perkerasan**

| Struktur Perkerasan | Bagan Desain | ESA5 (juta) dalam 20 tahun | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 - 1 | 1 - 4 | 4 - 10 | >10 - 30 | >30 |
| AC modifikasi | 3, 3A, 3B | - | - | - | - | 2 |
| AC dengan CTB | | | | | 2 | - |
| AC modifikasi dengan CTB | | | | | - | 2 |
| AC dengan lapis fondasi agregat | 3, 3A. 3B | - | 1,2 | 1,2 | 2 | - |

| Lanjutan Tabel 3.2 Pemilihan Jenis Perkerasan | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HRS tipis di atas lapis fondasi agregat | 4 | 2 | 2 | - | - | - |
| Burda atau Burtu dengan lapis fondasi agregat | 5 | 3 | 3 | - | - | -- |
| AC/HRS dengan lapis fondasi Soil Cement | 6 | 2 | 2 | - | - | - |
| AC/HRS dengan lapis fondasi agregat dan perbaikan tanah dasar (dengan stabilisasi semen) | 7 | 2 | 2 | - | - | - |
| Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat | 8 | - | - | - | 2 | 2 |
| Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah | 8A | - | - | 1,2 | - | - |
| Perkerasan tanpa penutup (Japat dan jalan kerikil) | 9 | 1 | - | - | - | - |

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2024)

### 3.1.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Penentuan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas didapatkan dengan memanfaatkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau

perhitungan formula khusus berdasarkan factor pertumbuhan yang berlaku. Jika data tersebut tidak tersedia, dapat mengacu pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3. 3 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas, i (%)**

| | **Jawa** | **Sumatera** | **Kalimantan** | **Rata-rata Indonesia** |
|---|---|---|---|---|
| **Arteri dan perkotaan** | 4,80 | 4,83 | 5,14 | 4,75 |
| **Kolektor rural** | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| **Jalan desa** | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2024)

Untuk mengetahui besarnya pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana, perhitungan dapat mengacu pada Persamaan 3.1 berikut.

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

Dengan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

i = tingkat pertumbuhan tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

### 3.1.4 Faktor Distribusi Lajur

Lajur rencana merupakan bagian lajur yang dirancang untuk menerima lintasan utama kendaraan komersial/niaga. Perhitungan pada lajur ini memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) serta faktor distribusi lajur (DL), yang dihitung berdasarkan total akumulasi beban gandar standar (*Equivalent Single Axle*/ESA).

Penggunaan faktor distribusi lajur (DL) bertujuan untuk mengoreksi besarnya beban kumulatif (ESA) pada jalan yang memiliki dua atau lebih lajur searah. Untuk lalu lintas dua arah, nilai (DD) yang biasa digunakan adalah 0,50. Rincian terkait nilai faktor distribusi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL)**

| Jumlah Lajur Tiap Arah | Kendaraan Niaga Pada Lajur Kendaraan (% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga) |
|---|---|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 |
| 3 | 60 |
| 4 | 50 |

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2024)

### 3.1.5 Data Lalu Lintas

Data volume lalu lintas didapatkan dari hasil penghitungan kendaraan yang melintas di sepanjang ruas jalan tertentu. Kesesuaian antara desain perencanaan dan kondisi riil di lapangan merupakan hal yang sangat penting. Informasi yang ada wajib mencakup keseluruhan data kendaraan dari lokasi tersebut. Sementara, untuk tata cara klasifikasi jenis kendaraan saat pengumpulan data di lapangan, pelaksanaannya berpedoman pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T19–2004–B).

### 3.1.6 Faktor Ekuivalen Beban

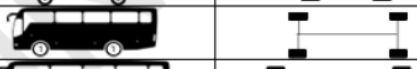
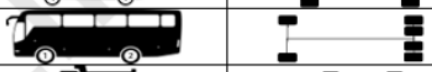
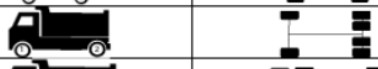
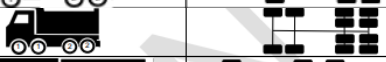
Dalam perancangan struktur perkerasan, beban dari berbagai jenis lalu lintas dikonversikan menjadi beban gandar standar (ESA) dengan memanfaatkan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF). Hasil nilai ESA sangat bergantung pada kualitas penyusunan dan pelaksanaan survei beban gandar di lapangan. Namun, apabila survei beban gandar tidak memungkinkan untuk dilakukan secara langsung dan data histori tahun-tahun sebelumnya tidak tersedia, penentuan nilai VDF dapat mengacu pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

**Tabel 3. 4 Nilai Faktor Ekuivalen Beban dari Kendaraan Diri Sendiri**

| Kondisi | Kelas Kendaraan | Gol 5B | Gol 6A | Gol 6B | Gol 7A1 | Gol 7A2 | Gol 7A3 | Gol 7B1 | Gol 7B2 | Gol 7B3 | Gol 7C1 | Gol 7C2A | Gol 7C2B | Gol 7C3 | Gol 7C4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VDF4 | Faktual | 1,2 | 0,5 | 3,8 | 7,8 | 16,3 | - | - | 12,9 | - | 6,7 | 12,8 | 14,8 | 20,8 | - |
| | Normal | 1,2 | 0,5 | 0,8 | 2,8 | 4,6 | - | - | 5,9 | - | 4,5 | 6,6 | 6,4 | 7,0 | - |
| VDF5 | Faktual | 1,3 | 0,4 | 5,5 | 12,3 | 33,6 | - | - | 18,9 | - | 9,6 | 21,5 | 26,8 | 44,2 | - |
| | Normal | 1,3 | 0,4 | 0,7 | 3,2 | 6,3 | - | - | 6,9 | - | 5,7 | 8,6 | 8,9 | 9,6 | - |

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2024

**Tabel 3. 5 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga**

| Klasifikasi Kendaraan | Uraian | Konfigurasi Sumbu | Kelompok sumbu | Skema Konfigurasi |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Sepeda motor dan kendaraan roda-3 | | |  |
| 2 | Kendaraan ringan - sedan, *jeep*, dan *station wagon* | 1.1 | 2 |  |
| 3 | Kendaraan ringan – angkutan umum sedang | 1.1 | 2 |  |
| 4 | Kendaraan ringan - *pick up, micro truck* | 1.1 | 2 |  |
| 5A | Bus kecil | 1.1 | 2 |  |
| 5B | Bus besar | 1.2 | 2 |  |
| 6A | Truk 2 sumbu-truk ringan | 1.1 | 2 |  |
| 6B | Truk 2 sumbu-truk sedang | 1.2 | 2 |  |
| 7A1 | Truk 3 sumbu-berat | 11.2 | 2 |  |
| 7A2 | Truk 3 sumbu-berat | 1.22 | 2 |  |
| 7A3 | Truk 4 sumbu-berat | 11.22 | 2 |  |
| 7B1 | Truk 4 sumbu-berat | 1.2+2.2 | 4 |  |
| 7B2 | Truk 5 sumbu-berat | 11.2+2.2 | 4 |  |
| 7B3 | Truk 5 sumbu-berat | 1.22+2.2 | 4 |  |
| 7C1 | Truk 4 sumbu-berat | 1.2-22 | 3 |  |
| 7C2A | Truk 5 sumbu-berat | 1.22-22 | 3 |  |
| 7C2B | Truk 5 sumbu-berat | 1.2-222 | 3 |  |
| 7C3 | Truk 6 sumbu-berat | 1.22-222 | 3 |  |
| 7C4 | Truk 7 sumbu-berat | 1.22-2222 | 3 |  |
| 8 | Kendaraan tak bermotor | | |  |

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2024

### 3.1.7 Beban Lalu Lintas

Setiap ruas jalan memikul beban lalu lintas yang melintas secara berulang sepanjang umur rencananya. Beban ini dihitung secara kumulatif dengan memperhitungkan faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*/VDF). Untuk menghitung beban tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.2 berikut.

$$\text{CESAL} = (\Sigma\text{LHR x VDF}) \text{ x } 365 \text{ x DD x DL x R} \quad (3.2)$$

Dengan:

CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana,

LHR = Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),

VDF = Faktor ekuivalen beban (vehicle damage factor) tiap jenis kendaraan niaga,

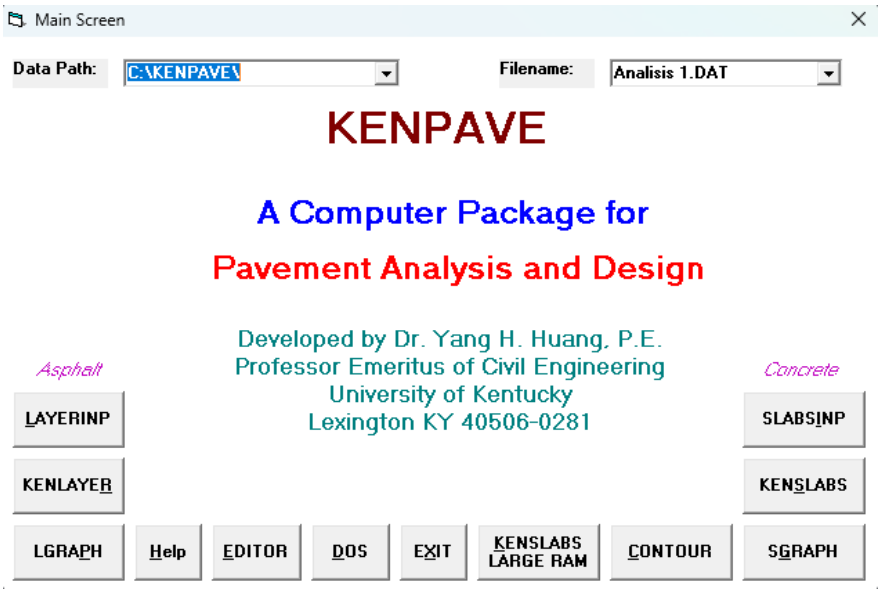
DD = Faktor distribusi arah,

DL = Faktor distribusi lajur,

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

## 3.2 Program *KENPAVE*

Program *KENPAVE* merupakan aplikasi perencanaan perkerasan jalan hasil pengembangan Yang H. Huang, P.E. Aplikasi mempermudah perhitungan respon mekanistik struktur jalan akibat kombinasi beban sumbu kendaraan. Di dalam program *KENPAVE* terdapat modul *KENLAYER* untuk perkerasan lentur linier/non-linier dan *KENSLABS* untuk perkerasan kaku. Kinerja aplikasi ini pada sistem operasi yang jauh lebih modern terkadang kurang optimal, karena program ini dikembangkan dengan sistem operasi versi lama. Tampilan utama aplikasi *KENPAVE* dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.




*Gambar 3. 1 Tampilan Utama Aplikasi KENPAVE*

Tampilan utama aplikasi *KENPAVE* ini terbagi menjadi dua kelompok menu utama, disesuaikan dengan jenis perkerasan yang dianalisis. Untuk perkerasan lentur, menu yang digunakan adalah *LAYERINP* dan *KENLAYER*. Sedangkan untuk analisis perkerasan kaku, menu yang digunakan adalah menu *SLABSINP* dan *KENSLABS*. Berikut merupakan penjelasan menu-menu yang ada pada aplikasi *KENPAVE*.

### *3.2.1 LAYERINP dan SLABSINP*

Menu *LAYERINP* (perkerasan lentur) dan *SLABSINP* (perkerasan kaku) digunakan untuk membuat serta menyusun data sebelum analisis pada *KENLAYER* atau *KENSLABS* dapat dijalankan.

### 3.2.2 Data *Path*

Data *Path* menunjukkan lokasi tempat penyimpanan data, yang secara otomatis akan tersimpan pada folder aplikasi *KENPAVE* terinstall.

### *3.2.3 Filename*

*Filename* menampilkan nama berkas yang dibuat. Pengguna tidak wajib menggantinya secara langsung, karena secara otomatis sistem akan menggunakan nama default yang nantinya dapat diubah diakhir.

### *3.2.4 Help*

Menu ini berfungsi untuk memberikan penjelasan mengenai parameter input serta petunjuk penggunaan perintah pada program *KENPAVE*.

### *3.2.5 Editor*

Menu *Editor* ini berfungsi untuk memeriksa, mengedit, dan mencetak data. Bagi pengguna baru, menu *Editor* ini sangat disarankan untuk mempermudah dan mempercepat proses penginputan data, sekaligus meminimalkan kesalahan input yang dapat menyebabkan data gagal terbaca.

### *3.2.6 KENLAYER dan KENSLABS*

*KENLAYER* dan *KENSLABS* merupakan menu utama untuk mengeksekusi analisis perkerasan. Menu ini akan membaca data yang telah dibuat sebelumnya pada menu *LAYERINP* atau *SLABSINP*.

### *3.2.7 Contour*

Menu *Contour* ini berfungsi untuk menampilkan plot kontur tegangan/tekanan pada arah sumbu x dan sumbu y. Fitur plot kontur ini umumnya digunakan pada saat analisis perkerasan kaku.

### *3.2.8 LGRAPH dan SGRAPH*

*LGRAPH* dan *SGRAPH* ini berfungsi untuk menyajikan grafik pemodelan serta penampang struktur perkerasan, lengkap dengan informasi mengenai input dan output hasil analisis.

## 3.3 Program *KENLAYER*

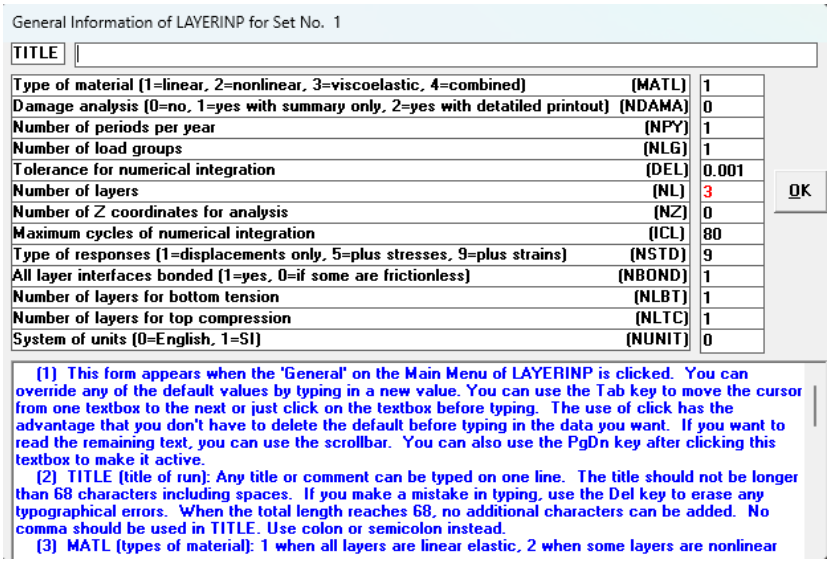
*KENLAYER* merupakan program analisis yang digunakan untuk perkerasan lentur tanpa sambungan atau perkerasan kaku. Sebelum pengujian dilakukan, program ini memulai dengan memasukkan data teknis ke dalam menu *LAYERINP*. Masing-masing menu yang ada di dalam menu *LAYERINP* memiliki variabel input yang berbeda sesuai kebutuhan analisis. Berikut merupakan penjelasan dari menu yang ada pada *LAYERINP*.

### *3.3.1 File*

Menu *File* merupakan langkah awal untuk memulai analisis. Menu ini memberikan pilihan pembuatan *file* baru (*New*) jika ingin memulai proyek baru, dan pembukaan *file* lama (*Old*) jika ingin mengakses atau melanjutkan dari data yang telah tersimpan sebelumnya.

### *3.3.2 General*

Menu General menunjukkan informasi dasar mengenai karakteristik struktur perkerasan yang akan dianalisis. Gambaran mengenai tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



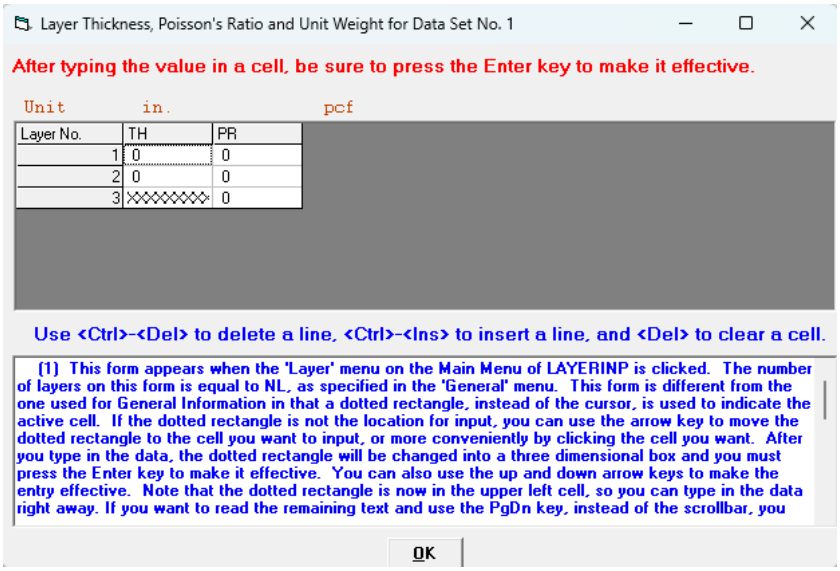

**Gambar 3. 2 Tampilan Menu General**

Pada menu general, terdapat beberapa parameter yang wajib diisikan dengan nilai atau kode tertentu sebelum analisis dijalankan, yaitu:

a. TITLE : Menuliskan nama atau judul untuk file simulasi perkerasan
b. MATL : Menentukan model sifat material lapisan, (1) untuk linear elastis, (2) untuk non-linear elastis, (3) untuk viskoelastis, dan (4) untuk kombinasi dari ketiga sifat material tersebut.
c. NDAMA : Menentukan jenis analisis kerusakan, (0) jika tanpa analisis kerusakan, (1) dengan analisis kerusakan dan dengan ringkasan, (2) dengan analisis kerusakan beserta laporan yang lebih detail.
d. NPY : Menentukan jumlah periode atau musim yang ditinjau dalam satu tahun
e. NLG : Menentukan jumlah kelompok konfigurasi beban gandar
f. DEL : Menentukan tingkat toleransi akurasi kalkulasi numerik, nilai standar 0,001.
g. NL : Menentukan jumlah total lapisan perkerasan yang dianalisis (maksimal 19 lapisan).
h. NZ : Menentukan jumlah titik koordinat kedalaman sumbu Z yang dianalisis, diisi 0 jika NDAMA bernilai 1 atau 2.
i. ICL : Menentukan batas maksimum siklus integrasi kalkulasi numerik, nilai standar 80.
j. NSTD : Menentukan nilai dari *stress*, *stain*, dan *displacement*. (1) untuk *vertical displacement*, (5) untuk nilai *vertical displacement*, *stress*, dan *strain*,
k. NBOND : Menentukan kondisi ikatan antar lapisan. (1) jika terikat sempurna, dan (0) jika tanpa gesekan (*frictionless*)
l. NLBT : Menentukan jumlah lapisan beraspal yang ditinjau regangan tariknya di bagian bawah,
m. NLTC : Menentukan jumlah lapisan yang ditinjau regangan tekannya bagian atas,
n. NUNIT : Menentukan sistem satuan yang digunakan. (0) satuan inggris, (1) satuan SI.

### 3.3.3 *Zcoord*

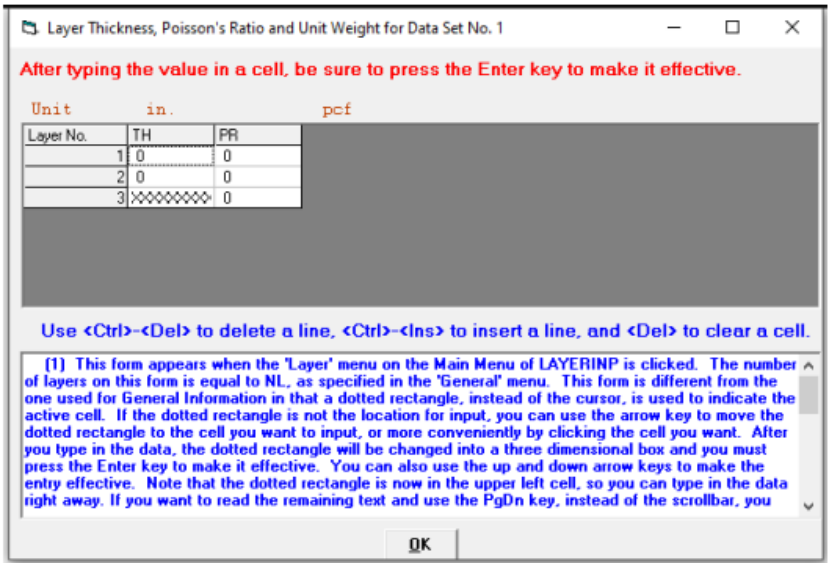
Menu *Zcoord* berfungsi untuk memasukkan jarak antar letak titik yang digunakan untuk proses analisis. Jumlah titik yang perlu diisi pada menu ini disesuaikan dengan nilai yang ada pada kolom NZ yang telah diisi pada menu *General*. Gambaran mengenai tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.




**Gambar 3. 3 Tampilan Menu Zcoord**

### 3.3.4 *Layer*

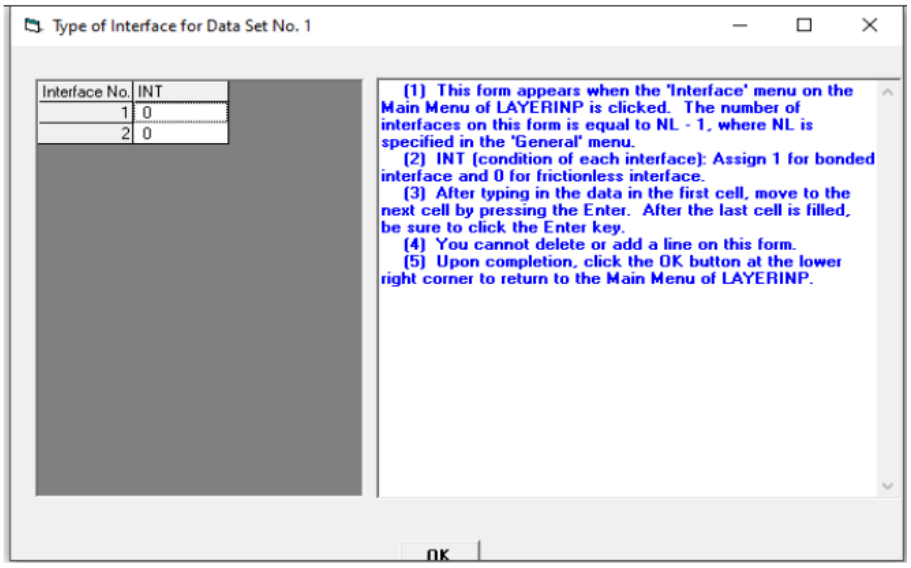
Menu Layer berfungsi untuk memasukkan parameter fisik dari susunan lapis struktur perkerasan. Pada menu ini terdapat dua kolom data utama yang harus diisi, yaitu kolom TH yang menyatakan tebal setiap lapisan struktur serta kolom PR (*Poisson's Ratio*) yang memuat informasi mengenai rasio poisson dari masing-masing jenis material perkerasan. Untuk lapisan tanah dasar (subgrade), ketebalan dianggap tak terhingga sehingga tidak memerlukan input nilai pada baris terakhir. Gambaran mengenai tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.




**Gambar 3. 4 Tampilan Menu Layer**

### 3.3.5 *Interface*

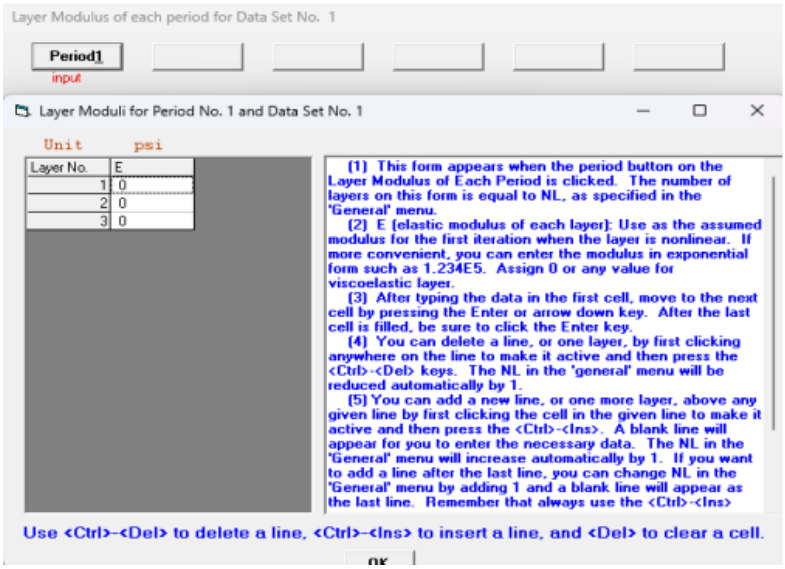
Menu *Interface* ini memiliki keterkaitan dengan nilai NBOUND yang ada apa menu general sebelumnya, jika NBOUND = 1 maka menu akan menjadi default, dan jika NBOUND = 2 (atau lebih) maka menu akan menjadi aktif untuk melakukan input data. Gambaran mengenai tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.




**Gambar 3. 5 Tampilan Menu *Interface***

### 3.3.6 *Moduli*

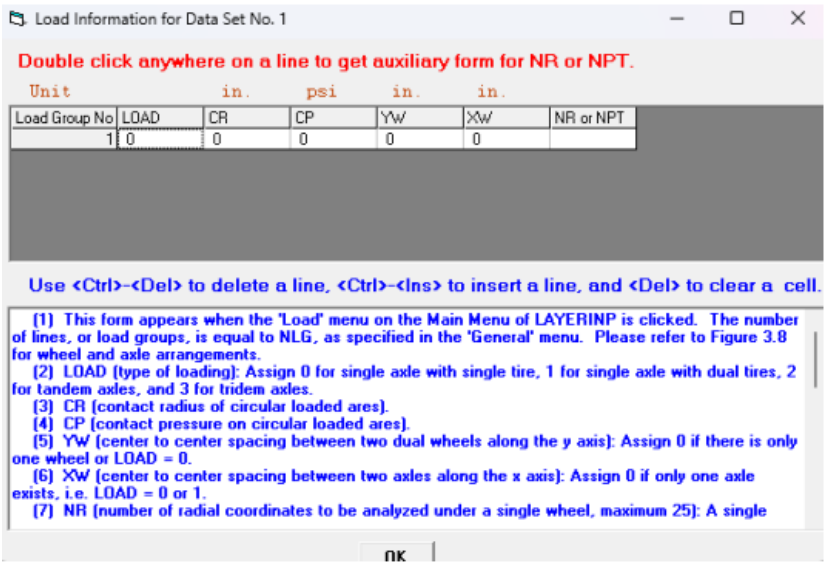
Dalam menu moduli ini terdapat beberapa kolom periode yang dapat di *input*, jumlah maksimum periode yang bias di *input* adalah 12 periode. Untuk setiap kolom periode nantinya akan diisi dengan nilai E. Nilai E ini merupakan nilai modulus elastisitas dari tiap *layer*. Gambaran mengenai tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.




**Gambar 3. 6 Tampilan Menu Moduli**

### 3.3.7 *Load*

Pada menu *Load*, terdapat beberapa kolom yang dapat diisi dengan angka. Menu ini berkaitan dengan jumlah NLG yang ada pada menu general. Pada kolom *load*, (0) untuk kendaraan sumbu tunggal, (1) untuk kendaraan tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu tandem, dan (3) untuk sumbu *triple*. Kolom CR merupakan nilai radius dari sentuhan pembebanan, kemudian kolom CP merupakan nilai beban. Untuk kolom XW dan YW merupakan jarak antara roda arah x dan y. Kolom NR or NPT merupakan titik koordinat regangan tegangan yang akan dianalisis. Gambaran mengenai tampilan menu ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.




**Gambar 3. 7 Tampilan Menu Load**

## 3.4 Analisis Kerusakan Perkerasan

Beban lalu lintas yang melintas merupakan salah satu penyebab utama terjadinya kerusakan pada struktur perkerasan jalan. Analisis menggunakan program *KENPAVE* menghasilkan output tegangan dan regangan yang digunakan untuk memprediksi jenis kerusakan perkerasan, meliputi *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.

### 3.4.1 *Rutting*

*Rutting* merupakan kerusakan berupa penurunan atau lekukan memanjang pada permukaan aspal yang sejajar dengan lintasan roda kendaraan. Kerusakan ini terjadi akibat beban kendaraan berulang yang menyebabkan pergeseran atau pemadatan tambahan pada lapisan jalan. Jumlah nilai repetisi beban dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 berikut.

$$Nr = f_4(\varepsilon c)^{-f5} \qquad (3.3)$$

dengan :

Nr = jumlah repetisi beban lalu lintas yang diizinkan untuk kerusakan *rutting*,

$\varepsilon c$ = regangan tekan vertikal (*tensile strain*) diatas lapisan dasar,

$f_4, f_5$ = koefisien standar deformasi permanen.

### 3.4.2 *Fatigue Cracking*

*Fatigue cracking* adalah retak pada lapisan aspal akibat kelelahan bahan menerima beban kendaraan secara berulang-ulang. Retakan ini dimulai dari bagian bawah lapisan aspal lalu merambat ke atas permukaan (*bottom-up cracking*) hingga membentuk pola retak kulit buaya. Ketahanan terhadap *fatigue cracking* dikontrol oleh regangan tarik horizontal di bagian bawah lapisan aspal dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$Nf = 0{,}0796(\varepsilon_t)^{-3{,}921}|E|^{-0{,}854} \quad (3.4)$$

dengan :

Nf = jumlah repetisi beban lalu lintas yang diizinkan untuk kerusakan *fatigue cracking*,

$\varepsilon_t$ = regangan tarik horizontal dibawah lapisan aspal,

E = modulus elastisitas lapisan aspal.

### 3.4.3 *Permanent Deformation*

*Permanent deformation* adalah perubahan bentuk atau amblesan permanen pada seluruh susunan lapisan perkerasan yang tidak dapat kembali ke posisi semula. Kerusakan ini menggambarkan penurunan struktur jalan secara menyeluruh dari lapisan pondasi hingga tanah dasar. Nilai repetisi beban yang diperbolehkan pada kerusakan jenis *permanent deformation* dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$N_d = f_4(\varepsilon c)^{-f5} \quad (3.5)$$

dengan :

Nd = jumlah repetisi beban lalu lintas yang diizinkan untuk *permanent deformation*,

$\varepsilon c$ = regangan tekan vertikal (*tensile strain*) diatas lapisan dasar,

$f_4, f_5$ = koefisien standar deformasi permanen.

### 3.5 Nilai Sisa Umur Layan

Sisa umur layan (*remaining life*) merupakan parameter yang menggambarkan persentase sisa kemampuan atau kapasitas struktural perkerasan jalan dalam menahan kumulatif beban lalu lintas sebelum mencapai batas keruntuhan (*failure*). Analisis sisa umur pelayanan perkerasan dapat dievaluasi berdasarkan rasio antara beban lalu lintas aktual yang telah melintas dengan kapasitas repetisi beban kritis menjelang kegagalan jalan dalam satuan 18-Kip *Equivalent Standard Axle Load* (ESAL). Untuk menghitung nilai sisa umur pelayanan struktur perkerasan dapat menggunakan Persamaan 3.6 berikut.

$$\text{RL} = 100\left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \tag{3.6}$$

Dengan :

RL = Remaining Life (%),

Np = Σ kumulatif W18 per tahun (ESAL),

$N_{1,5}$ = kumulatif W18 tahun terakhir umur rencana.

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Metode Penelitian

Pengambilan data dalam penelitian ini mengandalkan sumber data sekunder. Berbeda dengan data primer yang diperoleh peneliti secara langsung di lokasi melalui survei, wawancara, atau observasi, data sekunder didapatkan melalui media perantara atau pihak lain. Data sekunder umumnya berupa catatan, dokumen, ataupun kumpulan laporan yang tersimpan dalam arsip, baik yang dipublikasikan maupun tidak dipublikasikan.

## 4.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder sebagai sumber informasi utama. Beberapa data yang diperlukan dalam analisis ini antara lain.

1. Peta wilayah/lokasi area yang dikaji,
2. Data lalu lintas rata-rata harian (LHR),
3. Data *properties* material,
4. Data dimensi geometrik jalan (Panjang jalan, lebar lajur, lebar bahu jalan, dan pembagian arah dan lajur).

## 4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi pada penelitian ini adalah pada ruas Jalan Cimaung - Puntang di Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. Jalur ini membentang sepanjang ±8,5 km yang menghubungkan pusat Kecamatan Cimaung menuju Kawasan destinasi wisata Gunung Puntang. Jalan ini memiliki peranan penting untuk melayani aksesibilitas pariwisata serta menjadi mobilisasi ekonomi warga sekitar.

## 4.4 Analisis Data

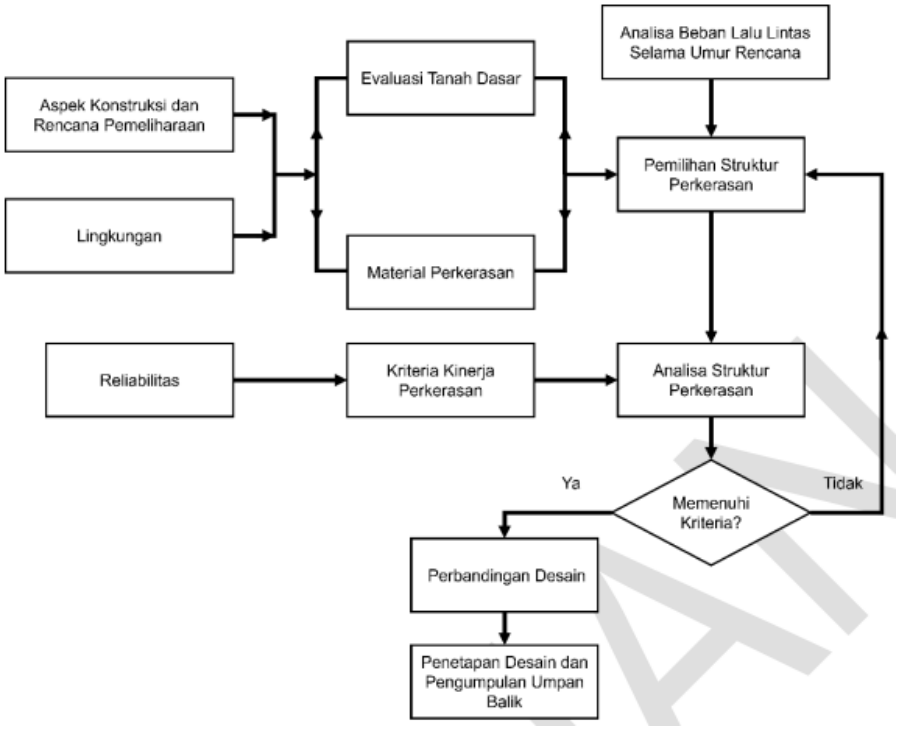
Analisis data dapat dilakukan setelah data-data pendukung telah diperoleh. Berikut merupakan analisis proses data yang dilakukan.

### 4.4.1 Analisis Desain Tebal Perkerasan Metode MDPJ 2024

Berikut merupakan tahapan desain tebal perkerasan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.

1. Menentukan umur rencana (UR),
2. Menentukan nilai ESA4 dan ESA5 sesuai umur rencana,
3. Menentukan tipe perkerasan atau pertimbangan biaya,
4. Menentukan segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam,
5. Menentukan struktur fondasi perkerasan,
6. Menentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat berdasarkan analisis mekanistik empiris atau mengambil struktur perkerasan sesuai dengan bagan desain,
7. Menentukan standar drainase bawah,
8. Menentapkan kebutuhan daya dukung tepi perkerasan.

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir Desain Tebal Perkerasan Metode MDPJ 2024, seperti Gambar 4.1 berikut.




**Gambar 4. 1 Bagan Alir Desain Tebal Perkerasan Metode MDPJ 2024**
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2024

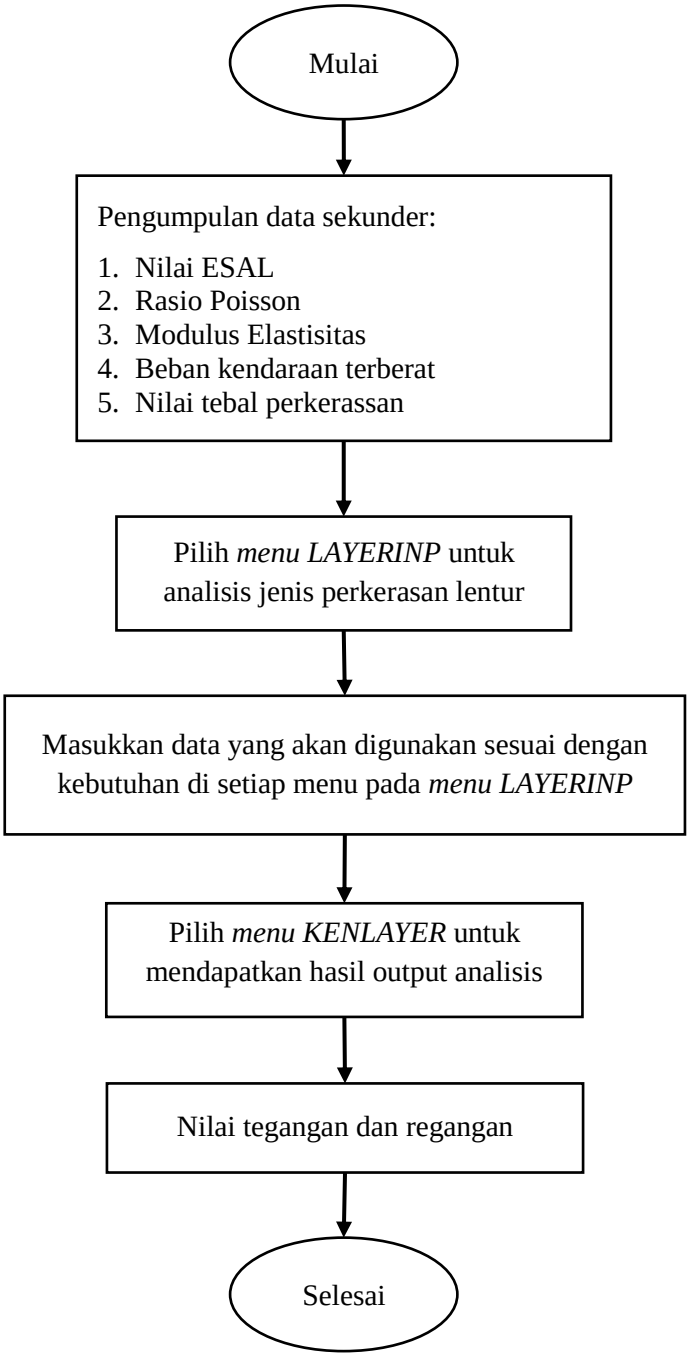
### 4.4.2 Analisis Menggunakan Program *KENPAVE*

Berikut merupakan tahapan penggunaan program *KENPAVE* untuk tebal lapis perkerasan.

1. Memilih jenis perkerasan yang akan digunakan. Pilih *LAYERINP* jika perkerasan yang akan dianalisis adalah perkerasan lentur. Pilih *SLABSINP* jika perkerasan yang akan dianalisis adalah perkerasan kaku.
2. Melakukan permodelan perkerasan lentur dengan memasukkan data-data yang diketahui pada menu *LAYERINP*,
3. Jika ingin membuat analisis baru pada perkerasan lentur makan dapat memlilih menu *File* dan kemudian pilih *New*,
4. Masukkan data-data pada menu General seperti, judul analisis, jenis material dengan meng-input angka (1) untuk analisis dengan pendekatan elastik dan input angka (3) untuk analisis dengan pendekatan viskoelastik. Kemudian menentukan analisis kerusakan yang digunakan, jumlah lapisan, menentukan jumlah titik koordinat arah z, hubungan antar lapisan dan unit yang digunakan.
5. Masukkan jarak vertikal pada setiap titik koordinat yang dianalisis pada menu Zcoord,
6. Masukkan data tebal struktur serta Rasio Poissonnya pada masing-masing lapisan pada menu *Layer*,
7. Masukkan nilai modulus elastisitas pada masing-masing lapisan pada menu *Moduli*,
8. Masukkan data beban lalu lintas pada menu *Load*,
9. Jika analisis dengan pendekatan elastik, maka proses input cukup sampai menu *Load*. Jika analisis dengan pendekatan viskoelastik, makan perlu memasukkan data-data pada menu viskoelastik. Data yang diinput seperti, data jumlah layer viskoelastik, durasi waktu berserta nilai dari *creep compliances*, nilai beta pada tiap layer viskoelastik, dan juga data suhu.
10. Simpan data yang telah dimasukkan di setiap menu dengan klik *save as* dan pilih lokasi penyimpanan data analisis,

11. Program *KENLAYER* memberikan hasil output analisis struktur perkerasan. Hasil output tersebut berupa nilai respon structural seperti nilai regangan, tegangan, dan defleksi.

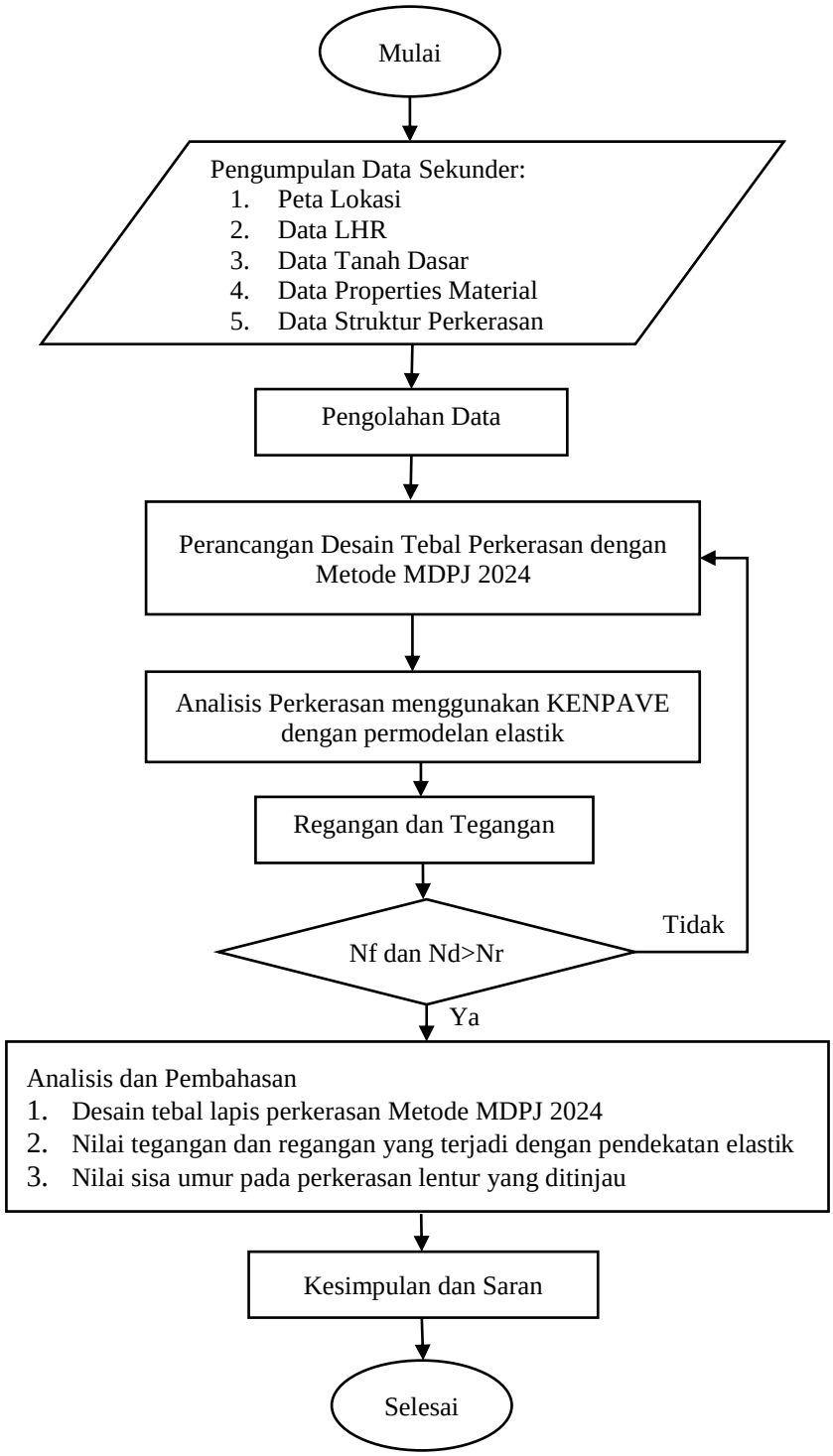
Tahapan penggunaan program *KENPAVE* untuk tebal lapis perkerasan, dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.




**Gambar 4. 2 Bagan Alir Desain Dengan Program *KENPAVE***

## 4.5 Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir

Tahapan penelitian ini dapat dijelaskan pada bagan alir Gambar 4.3 berikut.




**Gambar 4. 3 Bagan Alir Penelitian**

# BAB V
# ANALISIS PEMBAHASAN

## 5.1 Hasil Pengamatan Data

Hasil pengamatan perkerasan lentur ruas Jalan Cimaung-Puntang Kabupaten Bandung menggunakan data sekunder yang sebelumnya telah diperoleh dari instansi berwenang yaitu dari Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Bandung. Data sekunder tersebut meliputi data seperti berikut.

### 5.1.1 Status Jalan

Berikut merupakan status jalan pada Ruas Jalan Cimaung-Puntang Kabupaten Bandung dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5. 1 Status Jalan**

| No | Data | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | Klasifikasi Jalan | Jalan Kolektor |
| 2 | Umur Rencana | 20 Tahun |
| 3 | Distribusi Arah dan Lajur | 1 Lajur 2 Arah |
| 4 | Lebar Jalur | 4,0 m |

Sumber: Dinas PUTR Kab. Bandung, 2022

### 5.1.2 Data Lalu Lintas

Perhitungan lalu lintas harian rata-rata berdasarkan pada data yag diperoleh dari laporan Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Bandung dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5. 2 LHR Ruas Jalan Cimaung-Puntang**

| Gol | Jenis Kendaraan | LHR 2024 (Kend/Hari) |
|---|---|---|
| 5a | Bus Kecil | 56 |
| 5b | Bus Besar | 14 |

| Lanjutan Tabel 5. 2 LHR Ruas Jalan Cimaung-Puntang | | |
|---|---|---|
| **Gol** | **Jenis Kendaraan** | **LHR 2024 (Kend/Hari)** |
| 6a | Truk Ringan 2 Sumbu | 55 |
| 6b | Truk Sedang 2 Sumbu | 7 |
| 7a | Truk 3 Sumbu | 2 |

Sumber: Dinas PUTR Kab. Bandung, 2022

## 5.2 Perancangan Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE

Dengan menggunakan desain yang sesuai dengan motede Bina Marga 2024. Perancangan perkerasan lentur ini akan dianalisis dengan menggunakan program KENPAVE menggunakan metode mekanistik-empiris dengan permodelan elastik.

### 5.2.1 Desain Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2024

Dalam perancangan desain perkerasan lentur ini menggunakan metode Bina Marga 2024, adapun tahapan yang harus dilakukan dalam pengerjaannya. Tahapan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Umur Rencana

   Umur rencana 20 Tahun ditentukan berdasarkan Tabel 3.1 sesuai umur rencana perkerasan jalan baru.

2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

   Faktor pertumbuhan lalu lintas ditentukan dengan mengacu pada data historis melalui perhitungan yang teruji. Seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk di Indonesia, hal tersebut memicu peningkatan volume kendaraan dan proyeksi lalu lintas di masa depan menjadi hal yang krusial. Pada analisis ini, ruas jalan Cimaung-Puntang sebagai jalan Kolektor di Jawa Barat menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas sebesar 3,5% untuk mengestimasi volume lalu lintas pada masa yang akan datang selama umur rencana.

3. Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas

   Untuk menentukan nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas dapat ditentukan melalui cara sebagai berikut.

$R_{aktual} = \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

$= \frac{(1+0{,}01\,x\,3{,}5)^{3}-1}{0{,}01\,x\,3{,}5}$

$= 3{,}11$

$R_{normal} = \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}$

$= \frac{(1+0{,}01\,x\,3{,}5)^{18}-1}{0{,}01\,x\,3{,}5}$

$= 22{,}71$

4. Faktor Distribusi Arah (DD) dan Faktor Distribusi Lajur (DL)

   Ruas Jalan Cimaung-Puntang merupakan jalan dua arah maka faktor distribusi arah (DD) diambil angka 0,50. Sementara untuk faktor distribusi lajur (DL) berdasarkan Tabel 3.4 maka diambil nilai 100%.

5. *Vehicle Damage Factor* (VDF)

   Nilai VDF yang digunakan dalam perhitungan tebal perkerasan untuk menghitung nilai beban kumulatif sumbu (ESA) dibagi menjadi dua periode pembebanan berdasarkan ketentuan dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Ruas Jalan Cimaung-Puntang direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2025 dengan masa umur rencana 20 Tahun. Perhitungan beban lalu lintas pada periode tahun 2025-2028 menggunakan nilai VDF Faktual untuk mencerminkan kondisi riil beban kendaraan di lapangan yang terkadang mengalami *overloading*. Sementara itu, untuk periode tahun 2028-2045 digunakan nilai VDF Normal dengan asumsi bahwa pengawasan muatan kendaraan di masa depan sudah lebih terkendali. Nilai VDF yang digunakan mengacu pada nilai standar regional wilayah Jawa. Nilai VDF untuk tiap golongan kendaraan niaga dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5. 3 Nilai VDF Tiap Golongan Kendaraan**

| Gol | Jenis Kendaraan | VDF4 (Normal) | VDF5 (Normal) |
|---|---|---|---|
| 5a | Bus Kecil | - | - |

| Lanjutan Tabel 5. 3 Nilai VDF Tiap Golongan Kendaraan | | | |
|---|---|---|---|
| 5b | Bus Besar | 1,2 | 1,3 |
| 6a | Truk Ringan 2 Sumbu | 0,5 | 0,4 |
| 6b | Truk Sedang 2 Sumbu | 0,8 | 0,7 |
| 7a | Truk 3 Sumbu | 2,8 | 3,2 |

Sumber: Bina Marga 2024

Dengan pendekatan mekanistik-empiris dengan nilai VDF yang sudah ditentukan sebelumnya, maka kemudian dapat dihitung nilai LHR tahun 2025-2028 dan ESA5 pada saat jalan mulai beroperasi sampai umur rencana pada tahun (2028-2045). Contoh perhitungan ESAL dengan menggunakan data kendaraan golongan 5b adalah sebagai berikut.

LHR2025 $= LHR2024 \times (1 + i)^{UR}$

$= 14 \times (1 + 3,5)^{1}$

$= 14$

ESA5 (2025-2028) $= (\sum LHR_{2025} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R$

$= (14 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 3,11$

$= 10678,43$

ESA5 (2028-2045) $= (\sum LHR_{2028} \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R$

$= (16 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 22,71$

$= 86540,11$

Rekapitulasi perhitungan jenis kendaraan lain dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Nilai ESAL**

| No | Jenis Kenadaraan | Gol | Konfigurasi Sumbu | Berat (Ton) | LHR 2024 (Kend/Hari) | LHR 2025 (Kend/Hari) | LHR 2028 (Kend/Hari) | VDF4 Normal | VDF4 Faktual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 1 | Bus Kecil | 5a | 1,1 | 6 | 56 | 58 | 64 | 0 | 0 |
| 2 | Bus Besar | 5b | 1,2 | 9 | 14 | 14 | 16 | 1,2 | 1,2 |
| 3 | Truk Ringan 2 Sumbu | 6a | 1,1 | 8,3 | 55 | 57 | 63 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | Truk Sedang 2 Sumbu | 6b | 1,2 | 18,2 | 7 | 7 | 8 | 0,8 | 3,8 |
| 5 | Truk 3 Sumbu | 7a | 1,22 | 25 | 2 | 2 | 2 | 2,8 | 7,8 |

**Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Nilai ESAL**

| No | Jenis Kendaraan | Gol | VDF5 Normal | VDF5 Faktual | DD | DL | $R_3$ 2025-2028 | $R_{17}$ 2028-2045 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1) | (2) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) |
| 1 | Bus Kecil | 5a | 0 | 0 | 0,5 | 1 | 3,11 | 22,71 |
| 2 | Bus Besar | 5b | 1,3 | 1,3 | 0,5 | 1 | 3,11 | 22,71 |
| 3 | Truk Ringan 2 Sumbu | 6a | 0,4 | 04 | 0,5 | 1 | 3,11 | 22,71 |
| 4 | Truk Sedang 2 Sumbu | 6b | 0,7 | 5,5 | 0,5 | 1 | 3,11 | 22,71 |
| 5 | Truk 3 Sumbu | 7a | 3,2 | 12,3 | 0,5 | 1 | 3,11 | 22,71 |

| **Lanjutan Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Nilai ESAL** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | CESA4 | | CESA5 | |
| | Normal 2025-2028 | Faktual 2028-2045 | Normal 2025-2028 | Faktual 2028-2045 |
| | (16) | (17) | (18) | (19) |
| | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 9857,01 | 79883,18 | 10678,43 | 86540,11 |
| | 16135 | 130761,16 | 12908 | 104608,93 |
| | 15607,94 | 126482,71 | 2874,96 | 183065,63 |
| | 9153,94 | 74177,24 | 3755,05 | 116971,80 |
| **Jumlah ESA** | 50752,89 | 411303,29 | 30216,44 | 491186,47 |
| **ESA** | **462055,18** | | **521402,92** | |

6. Menentukan Tipe Perkerasan

Sesuai ketentuan MDPJ 2024, penentuan tebal perkerasan berdasarkan pada nilai $ESA^4$ dan $ESA^5$ bergantung pada pendekatan desain dan kriteria kerusakan yang ditinjau. Nilai $ESA^5$ digunakan pada perancangan perkerasan lentur dengan pendekatan mekanistik-empiris terkait dengan kelelahan aspal (*fatigue cracking*) serta perencanaan lapis tambah (*overlay*) berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature function*). Dari hasil perhitungan lalu lintas rencana, diperoleh nilai CESA5 sebesar 521402,92 ESAL dan nilai CESA4 sebesar 462055,18 ESAL, sehingga berdasarkan Tabel 3.2, tipe perkerasan yang digunakan adalah Perkerasan Lentur dengan HRS.

7. Desain Tebal Perkerasan

Untuk menentukan struktur perkerasan dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.2. Dengan nilai CESA5 yang diketahui sebesar 0,52 x $10^6$ ESAL, maka jenis perkerasan yang dipilih adalah Perkerasan Lentur dengan HRS, Perkerasan dengan Stabilisasi Tanah Semen (*soil cement*), dan Perkerasan dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen.

a. Penentuan Desain Perkerasan Lentur dengan HRS

Dengan nilai CESA5 sebesar 0,52 x $10^6$ ESAL, penentuan detail perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.1 berikut.

**Tabel 5. 5 Desain Perkerasan Lentur dengan HRS**

| **Kumulatif beban sumbu 20 Tahun pada lajur rencana ($10^6$ CESA5)** | **FF1 < 0,5** | **0,5 ≤ FF2 ≤ 4,0** |
|---|---|---|
| **Jenis Permukaan** | **HRS atau Penetrasi Makadam** | **HRS[2]** |
| Struktur Perkerasan | Tebal Lapisan (mm) | |
| HRS-WC | 50 | 30 |
| HRS-Base | - | 35 |
| LFA Kelas A | 150 | 250 |

| Lanjutan Tabel 5. 5 Desain Perkerasan Lentur dengan HRS | | |
|---|---|---|
| LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10% | 150 | 150 |

Sumber: Bina Marga 2024




**Gambar 5. 1 Tebal Desain-1 Perkerasan Lentur Dengan HRS**

Mengacu pada MDPJ 2024, penentuan tebal perkerasan *Soil Cement* dan *Improve Subgrade* ditentukan berdasarkan nilai CESA4, dengan rincian tebal perkerasan sebagai berikut.

b. Penentuan Desain Perkerasan dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*)

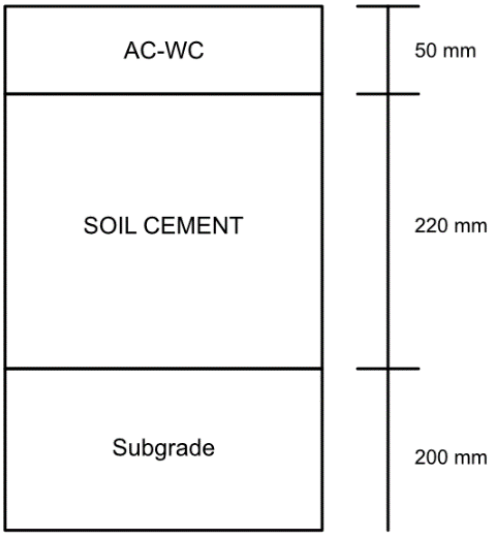
Dengan nilai CESA4 sebesar 0,46 x 106 ESAL, penentuan detail perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.2 berikut.

**Tabel 5. 6 Desain Perkerasan dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*)**

| | **STRUKTUR PERKERASAN** | | |
|---|---|---|---|
| | **SC1** | **SC2** | **SC3** |
| | **Beban Sumbu 20 Tahun pada lajur desain (ESA4 x $10^6$)** | | |
| | **< 0,1** | **0,1 – 0,5** | **>0,5 - 4** |
| | **Ketebalan lapis perkerasan (mm)** | | |
| **HRS WC, AC-WC** | | 50 | |

| Lanjutan Tabel 5. 6 Desain Perkerasan dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*) | | | |
|---|---|---|---|
| **Lapis Fondasi Tanah Semen Target UCS 2,4 MPa** | 160 | 220 | 300 |

Sumber: Bina Marga 2024




**Gambar 5. 2 Tebal Desain-2 Perkerasan Lentur Dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*)**

c. Penentuan Desain Perkerasan dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Tanah

Dengan nilai CESA4 sebesar 0,46 x $10^6$ ESAL, penentuan detail perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.3 berikut.

**Tabel 5. 7 Desain Perkerasan dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen**

| | **STRUKTUR PERKERASAN** | | |
|---|---|---|---|
| | **SC1** | **SC2** | **SC3** |
| | **Beban Sumbu 20 Tahun pada lajur desain (ESA4 x $10^6$)** | | |
| | **< 0,1** | **0,1 – 0,5** | **>0,5 - 4** |
| | **Ketebalan lapis perkerasan (mm)** | | |
| **HRS WC, AC-WC** | 50 | | |

| Lanjutan Tabel 5. 7 Desain Perkerasan dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen | | | |
|---|---|---|---|
| **LFA Kelas A** | 160 | 220 | 300 |
| **LFA Kelas B** | 110 | 150 | 200 |
| **Stabilisasi tanah asli hingga mencapai CBR ekuivalen 6%** | 160 | 200 | 300 |

Sumber: Bina Marga 2024




**Gambar 5. 3 Tebal Desain-3 Perkerasan Lentur Dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen**

Setelah menentukan desain tebal perkerasan lentur dengan menggunakan metode Bina Marga 2024 sehingga didapatkan 3 desain. Desain tersebut dapat dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan permodelan elastik untuk mengevaluasi perkerasan lentur tersebut.

### 5.2.2 Evaluasi Perkerasan Lentur Desain 1

Analisis kinerja dan kerusakan pada perkerasan lentur desain 1 dievaluasi menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastik untuk memperoleh nilai tegangan dan regangan. Tahapan analisis kinerja pada desain 1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Data Analisis

   a. Detail Beban Sumbu Roda

      1) Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
      2) Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 MPa atau 550 kPa
      3) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm
      4) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm

   b. Parameter Lapis Perkerasan

      Dalam analisis mekanistik-empiris menggunakan program *KENPAVE*, seluruh lapisan perkerasan diasumsikan dengan karakteristik material elastik. Susunan perkerasan lentur pada desain ini terdiri dari lapisan campuran aspal tipis (*Hot Rolled Sheet*/HRS), lapisan fondasi agregat berbutir, serta tanah dasar. Parameter utama yang dibutuhkan dalam analisis pemodelan ini meliputi nilai Modulus Elastisitas (E) dan *Poisson Ratio* untuk masing-masing perkerasan yang dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8 Parameter Lapis Perkerasan**

| Lapis Perkerasan | Modulus Elastik (E) | Poisson Ratio |
|---|---|---|
| HRS-WC | 800.000 kPa | 0,40 |
| HRS-BASE | 900.000 kPa | 0,40 |
| LFA Kelas A | 315.000 kPa | 0,45 |
| LFA Kelas B | 210.000 kPa | 0,45 |
| Subgrade | 40.000 kPa | 0,45 |

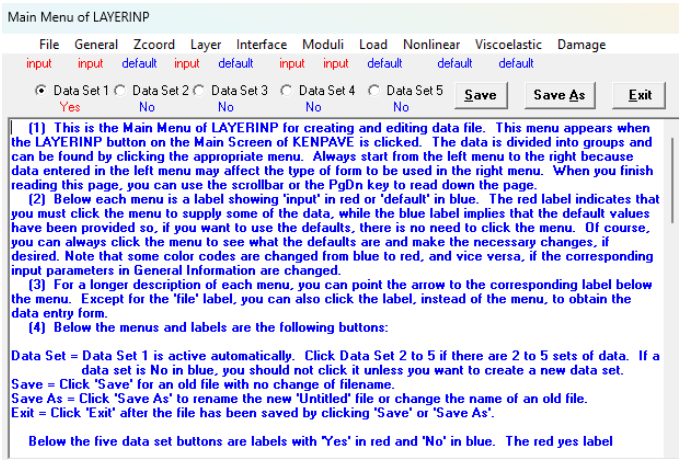
Sumber: Bina Marga 2024

2. Input Program *KENPAVE*

   Analisis desain 1 dengan menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan terdapat beberapa tahapan, tahapan untuk mengetahui nilai tersebut adalah sebagai berikut.

a. Input Data pada *Layerinp*

Pada menu ini terdapat beberapa pilihan menu untuk mengisi data yang sudah diketahui untuk melakukan analisis. Pilih menu *file* dan pilih *New* untuk memulai proyek baru.




**Gambar 5. 4 Tampilan Menu *Layerinp***

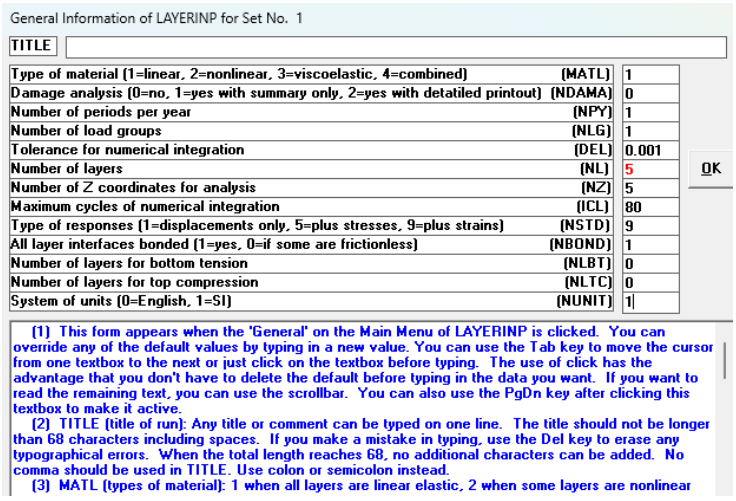
b. *General*

Masukkan data yang sudah diketahui pada menu ini, data yang dimasukkan pada menu ini dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5. 9 Data Input Pada Menu *General***

| Title | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| MATL | 1 | Bahan material lapisan perkerasan Linear Elastik |
| NDAMA | 0 | Tidak terdapat analisis kerusakan |
| NPY | 1 | Default |
| NLG | 1 | Default |
| DEL | 0,001 | Standar akurasi |
| NL | 5 | Total lapisan yang dianalisis (HRS-WC, HRS-Base, LFA A, LFA B, Subgrade) |
| NZ | 5 | Total titik tinjau untuk kerusakan |
| ICL | 80 | Default |

| Lanjutan Tabel 5.9 Data Input Pada Menu *General* | | |
|---|---|---|
| NSTD | 9 | Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan |
| NBOND | 1 | Setiap lapisan terikat satu sama lain |
| NLBT | 0 | Default |
| NLTC | 0 | Default |
| NUNIT | 1 | SI |



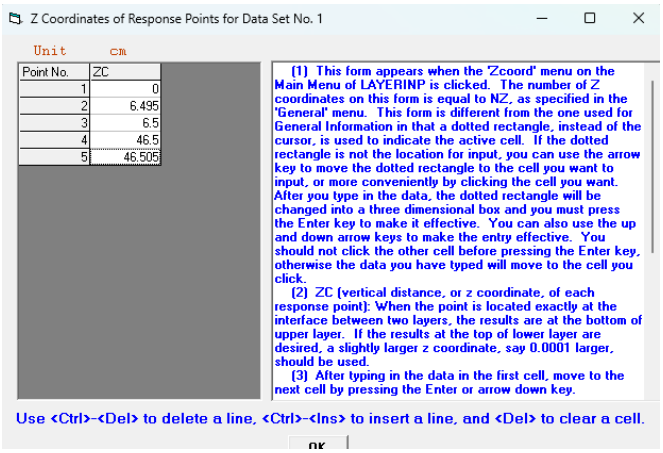

**Gambar 5. 5 Tampilan Input Data pada Menu *General***

c. *Zcoord*

Data yang dimasukkan pada menu ini adalah kedalaman titik kerusakan yang akan dianalisis. Titik tinjau 1 yang terletak pada bagian bawah asapal digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking*. Untuk titik tinjau 2 yang terletak pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *Permanent Deformation*. Detail data yang dimasukkan pada menu *Zcoord* ini dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5. 10 Data Input Pada Menu *Zcoord***

| No | Kedalaman | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | 0 | Permukaan lapis perkerasan |
| 2 | 6,495 | Titik tinjau 1 |
| 3 | 6,5 | Permukaan lapis pondasi |
| 4 | 46,5 | Dasar lapis pondasi |
| 5 | 46,505 | *Subgrade* (Titik tinjau 2) |




**Gambar 5. 6 Tampilan Input Data pada Menu Zcoord**

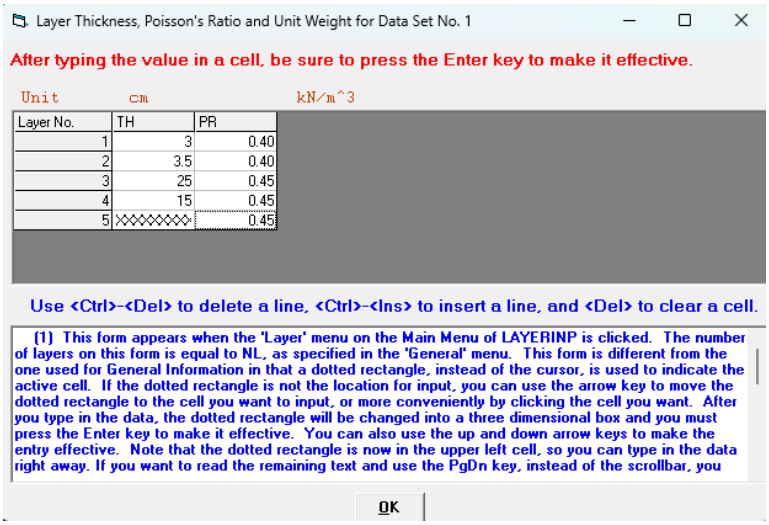
d. *Layer*

Data yang dimasukkan pada menu ini adalah data dari tebal tiap lapis perkerasan dan *poisson ratio*. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5. 11 Data Input pada Menu *Layer***

| Layer No. | Tebal (cm) | Poisson Ratio | Keterangan |
|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 0,40 | HRS-WC |
| 2 | 2,5 | 0,40 | HRS-BASE |
| 3 | 25 | 0,45 | LFA Kelas A |
| 4 | 15 | 0,45 | LFA Kelas B |
| 5 | 20 | 0,45 | Subgrade |

Sumber: Bina Marga 2024




**Gambar 5. 7 Tampilan Input Data pada Menu *Layer***

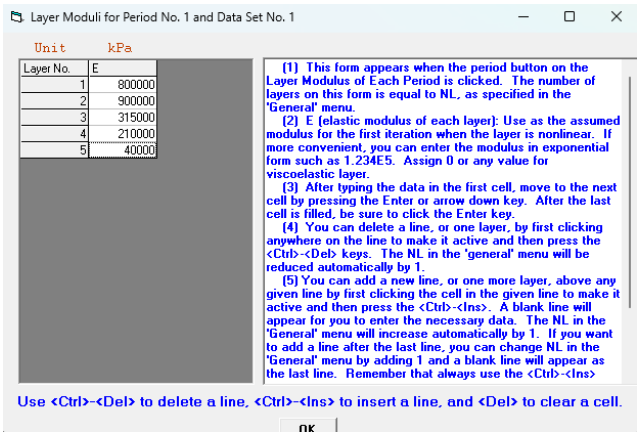
e. *Moduli*

Data yang dimasukkan pada menu ini merupakan nilai modulus elastis yang diperoleh dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5. 12 Data Input pada Menu *Moduli***

| No | Modulus Elastisitas (kPa) |
|---|---|
| 1 | 800.000 |
| 2 | 900.000 |
| 3 | 315.000 |
| 4 | 210.000 |
| 5 | 40.000 |

Sumber: Bina Marga 2024



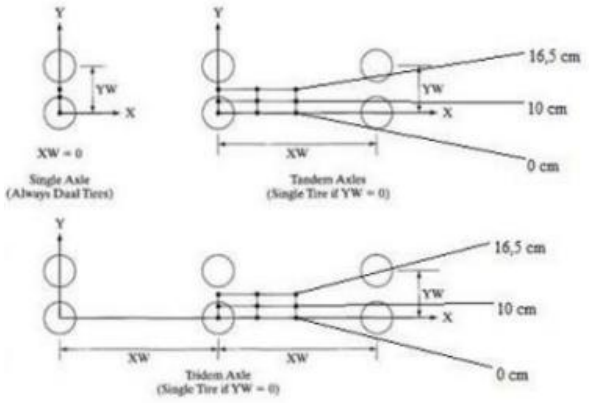

**Gambar 5. 8 Tampilan Input Data pada Menu *Moduli***

f. *Load*

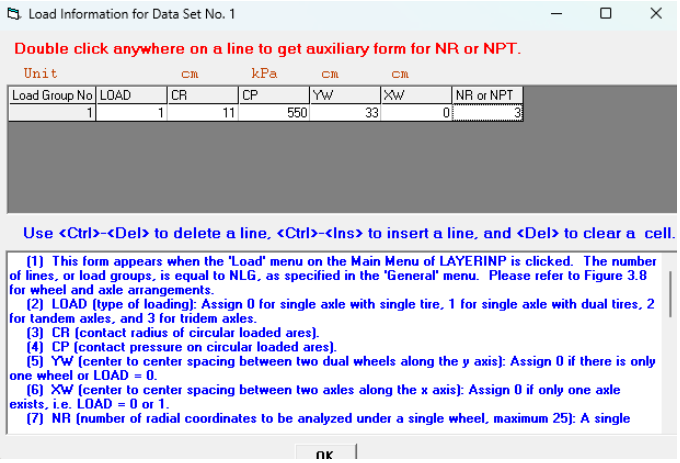
Data yang dimasukkan pada menu ini merupakan data beban gandar yang akan diterima oleh lapis perkerasan. Detail data tersebut adalah sebagai berikut.

1) Load = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
2) CR = 11 cm (Nilai jarak antar ban)
3) CP = 0,55 MPa = 550 kPa (Nilai tekanan ban)
4) YW = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
5) XW = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
6) NR or NPT = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

   Nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang ada pada jenis roda *Singe axle with dual tires*.




**Gambar 5. 9 Koordinat NPT**
Sumber: Huang 2004




**Gambar 5. 10 Tampilan Input Data pada Menu Load**

Saat semua data sudah dimasukkan pada tiap menu, selanjutnya adalah simpan ke *folder* yang sudah disiapkan lalu kembali ke menu utama. Untuk *running* data yang telah di *input* adalah dengan klik menu *Kenlayer*, dan untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dapat dilihat pada menu *editor* dan buka *file* yang sudah disimpan.

3. Hasil Analisis

Hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan nilai tegangan dan regangan dengan permodelan elastik dengan menggunakan program *KENPAVE*, hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5. 13 Hasil Analisis Desain 1**

| Pengulangan Beban | Regangan Horizontal (6,495) | Regangan Vertikal (6,945) | Regangan Vertikal (46,505) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,000305 | 0,000595 | 0,000598 |
| 2 | 0,000305 | 0,000595 | 0,000598 |
| 3 | 0,000305 | 0,000595 | 0,000598 |
| **Maksimum** | **0,000305** | **0,000595** | **0,000598** |

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Nilai tegangan dan regangan yang didapat kemudian digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan yang dianalisis dalam menahan kerusakan *rutting, fatigue cracking,* dan *permanent deformation*. Kerusakan jalan dianalisis dengan menghitung nilai Nf untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*. Nilai Nd dihitung untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Nilai tersebut harus melebihi nilai CESA yang sudah diprediksi sebelumnya, sedangkan nilai f4 dan f5 yang digunakan berdasarkan *Asphalt Institute*.

a. Nilai Nf (*fatigue cracking*)

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

Nf $= 0{,}0796 \times (0{,}000305)^{-3{,}921} \times |900000|^{-0{,}854}$

Nf = 39.907.111 ESAL

b. Nilai Ndr (*rutting*)

Nd $= f_4(\varepsilon t)^{-f5}$

Nd $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}000595)^{-4{,}477}$

Nd = 376.375 ESAL

c. Nilai Ndp (*permanent deformation*)

Ndp $= f_4(\varepsilon t)^{-f5}$

Ndp $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}000598)^{-4{,}477}$

Ndp = 367.995 ESAL

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dengan hasil analisis yang didapatkan dengan menggunakan program KENPAVE dapat diketahui bahwa Ruas Jalan Cimaung-Puntang dengan menggunakan Desain 1 akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat dilewati beban gandar sebesar 39.907.111 ESAL, akan terjadi kerusakan *rutting* saat dilewati beban gandar sebesar 376.375 ESAL, dan akan terjadi kerusakan *permanent deformation* saat dilewati beban gandar sebesar 367.995 ESAL. Dengan hasil tersebut maka dapat dilihat bahwa kerusakan awal yang terjadi

adalah kerusakan *Permanent Deformation*. Perhitungan prediksi umur pelayanan Ruas Jalan Cimaung-Puntang terhadap kerusakan yang terjadi dapat dihitung berdasarkan hasil besaran gandar yang sudah diketahui. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

ESA1 = [($LHR_{\text{tiap jenis kendaraan x VDF}}$) x 365 x DD x DL x R]

= [($LHR_{\text{tiap jenis kendaraan x VDF}}$) x 365 x DD x DL x $\frac{(1+0{,}01\ i)^{UR}-1}{0{,}01\ i}$]

367.995 = [ (16 x 1,3) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5))^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (63 x 0,4) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (8 x 0,7) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (2 x 3,2) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ]

367.995 = [3796 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [4599 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [1022 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [1168 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$]

367.995 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$ x (108457,14) + (131400) + (29200) + (33371,57)

367.995 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$ x (302428,57)

1,2168 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$

2,2168 = $(1{,}035)^{UR}$

UR = $\frac{\log b}{\log a}$

UR = $\frac{\log 2{,}2168}{\log 1{,}035}$

UR = 23,140 Tahun ≈ 23 Tahun

Hasil prediksi umur masa pelayanan perkerasan desain 1 dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

**Tabel 5. 14 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 1**

| **Jenis Kerusakan** | **Jumlah Repetisi Beban (ESAL)** | **Umur Pelayanan (Tahun)** |
|---|---|---|
| *Fatigue Cracking* | 39.907.111 | 142 |

| Lanjutan Tabel 5. 14 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 1 | | |
|---|---|---|
| *Rutting* | 376.375 | 24 |
| *Permanent Deformation* | 367.995 | 23 |

Berdasarkan Tabel 5.14 menunjukkan bahwa kerusakan awal pada struktur perkerasan desain 1 terjadi pada tahun ke-23 dengan kapasitas beban 367.995 ESAL (*Permanent Deformation*). Kerusakan berikutnya terjadi pada tahun ke-24 untuk kerusakan *rutting* dan tahun ke-142 untuk kerusakan *fatigue cracking*. Dengan demikian, struktur perkerasan ini dinyatakan memenuhi syarat aman untuk memikul beban lalu lintas yang direncanakan yaitu 20 tahun.

### 5.2.3 Evaluasi Perkerasan Lentur Desain 2

Analisis kinerja dan kerusakan pada perkerasan lentur desain 2 dievaluasi menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastik untuk memperoleh nilai tegangan dan regangan. Tahapan analisis kinerja pada desain 2 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Data Analisis
    a. Detail Beban Sumbu Roda
        1) Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton.
        2) Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 MPa atau 550 kPa
        3) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm
        4) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm
    b. Parameter Lapis Perkerasan

        Dalam analisis mekanistik-empiris menggunakan program *KENPAVE*, seluruh lapisan perkerasan diasumsikan dengan karakteristik material elastik. Susunan perkerasan lentur pada desain 2 ini terdiri dari lapisan permukaan AC-WC, lapisan fondasi tanah semen (*soil cement*), serta tanah dasar. Parameter utama yang dibutuhkan dalam analisis pemodelan ini meliputi nilai Modulus Elastisitas (E) dan *Poisson Ratio* untuk masing-masing perkerasan yang dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

**Tabel 5. 15 Parameter Lapis Perkerasan**

| Lapis Perkerasan | Modulus Elastik (E) | Poisson Ratio |
|---|---|---|
| AC-WC | 1.000.000 kPa | 0,40 |
| Soil Cement | 500.000 kPa | 0,35 |
| Subgrade | 40.000 kPa | 0,45 |

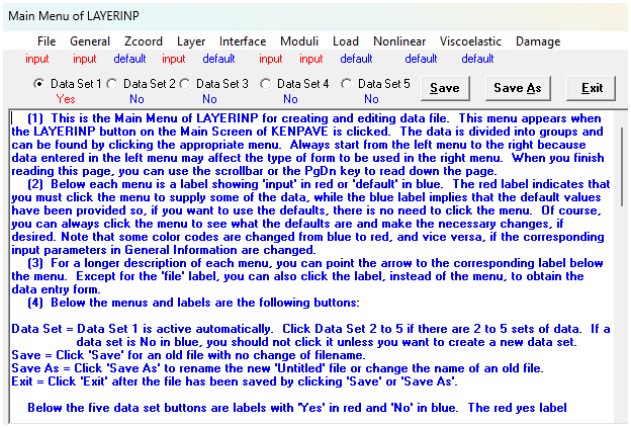
Sumber: Bina Marga 2024

2. Input Program KENPAVE

Analisis desain 2 dengan menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan terdapat beberapa tahapan, tahapan untuk mengetahui nilai tersebut adalah sebagai berikut.

a. Input Data pada *Layerinp*

Pada menu ini terdapat beberapa pilihan menu untuk mengisi data yang sudah diketahui untuk melakukan analisis. Pilih menu *file* dan pilih *New* untuk memulai proyek baru.



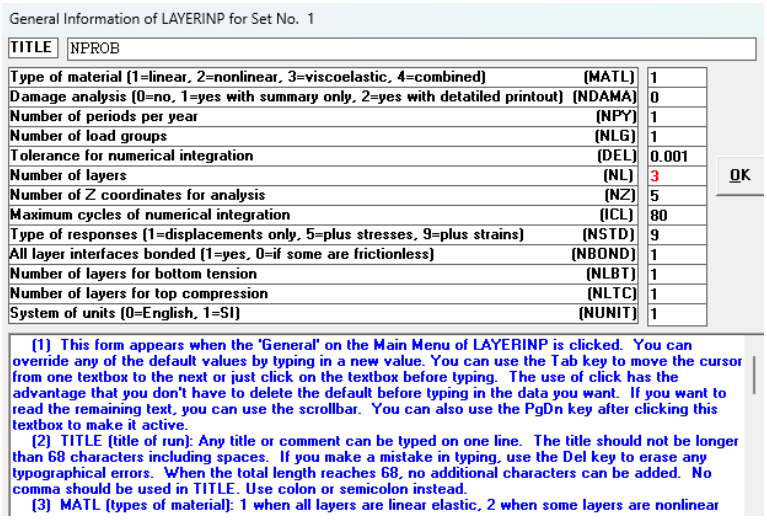

**Gambar 5. 11 Tampilan Menu Layerinp**

b. *General*

Masukkan data yang sudah diketahui pada menu ini, data yang dimasukkan pada menu ini dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

**Tabel 5. 16 Data Input Pada Menu *General***

| Title | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| MATL | 1 | Bahan material lapisan perkerasan Linear Elastik |
| NDAMA | 0 | Tidak terdapat analisis kerusakan |
| NPY | 1 | Default |
| NLG | 1 | Default |
| DEL | 0,001 | Standar akurasi |
| NL | 3 | Total lapisan yang dianalisis (AC-WC, Soil Cement, dan Subgrade) |
| NZ | 5 | Total titik tinjau untuk kerusakan |
| ICL | 80 | Default |
| NSTD | 9 | Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan |
| NBOND | 1 | Setiap lapisan terikat satu sama lain |
| NLBT | 0 | Default |
| NLTC | 0 | Default |
| NUNIT | 1 | SI |



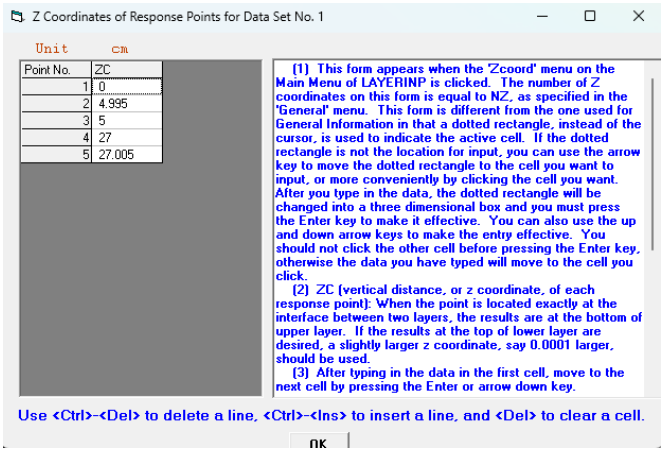

**Gambar 5. 12 Tampilan Input Data pada Menu *General***

c. *Zcoord*

Data yang dimasukkan pada menu ini adalah kedalaman titik kerusakan yang akan dianalisis. Titik tinjau 1 yang terletak pada bagian bawah asapal digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking*. Untuk titik tinjau 2 yang terletak pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *Permanent Deformation*. Detail data yang dimasukkan pada menu *Zcoord* ini dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

**Tabel 5. 17 Data Input Pada Menu *Zcoord***

| No | Kedalaman | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | 0 | Permukaan lapis perkerasan |
| 2 | 4,995 | Titik tinjau 1 |
| 3 | 5 | Permukaan lapis pondasi |
| 4 | 27 | Dasar lapis pondasi |
| 5 | 27,005 | *Subgrade* (Titik tinjau 2) |




**Gambar 5. 13 Tampilan Input Data pada Menu *Zcoord***

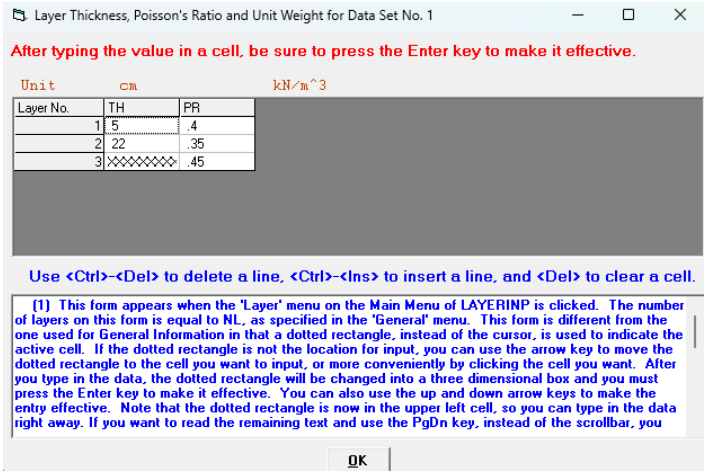
d. *Layer*

Data yang dimasukkan pada menu ini adalah data dari tebal tiap lapis perkerasan dan *poisson ratio*. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

**Tabel 5. 18 Data Input pada Menu *Layer***

| Layer No. | Tebal (cm) | *Poisson Ratio* | Keterangan |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 0,40 | AC-WC |
| 2 | 22 | 0,35 | *Soil Cement* |
| 5 | 20 | 0,45 | *Subgrade* |

Sumber: Bina Marga 2024




**Gambar 5. 14 Tampilan Input Data pada Menu *Layer***

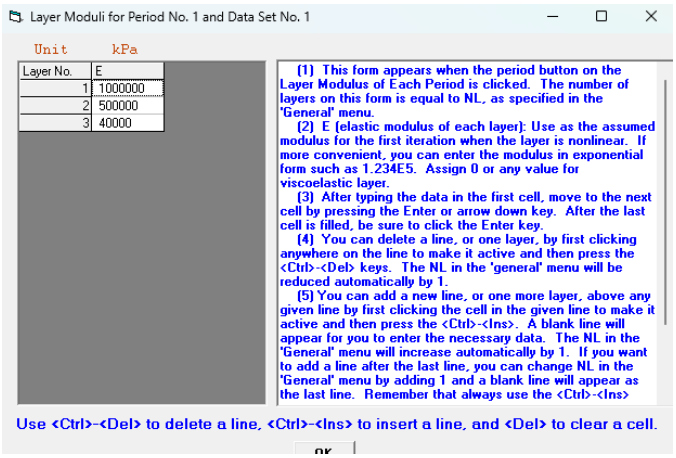
e. *Moduli*

Data yang dimasukkan pada menu ini merupakan nilai modulus elastis yang diperoleh dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 (MDPJ 2024). Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

**Tabel 5. 19 Data Input pada Menu *Moduli***

| No | Modulus Elastisitas (kPa) |
|---|---|
| 1 | 1.000.000 |
| 2 | 500.000 |
| 3 | 40.000 |

Sumber: Bina Marga 2024



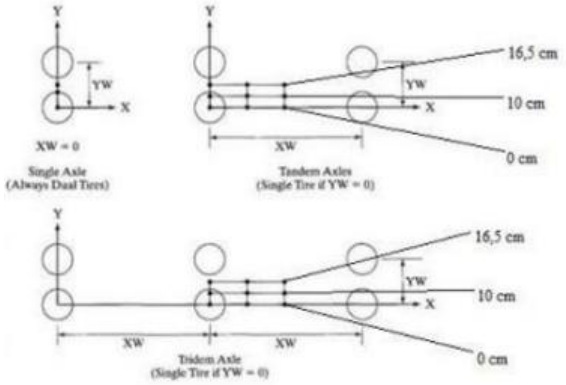

**Gambar 5. 15 Tampilan Input Data pada Menu *Moduli***

f. *Load*

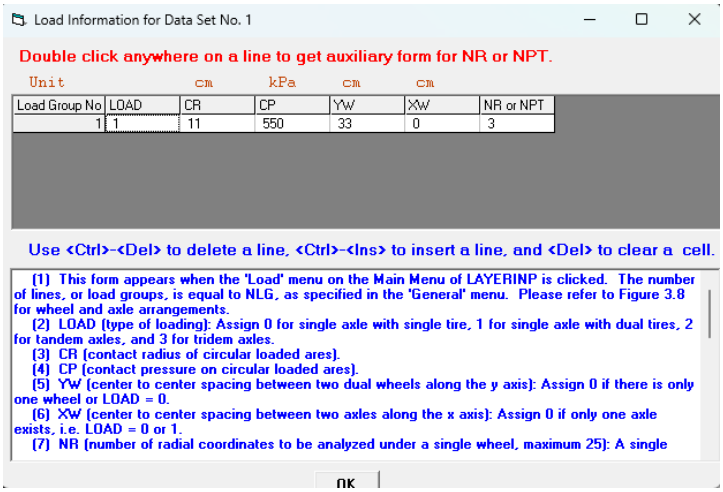
Data yang dimasukkan pada menu ini merupakan data beban gandar yang akan diterima oleh lapis perkerasan. Detail data tersebut adalah sebagai berikut.

1) Load = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
2) CR = 11 cm (Nilai jarak antar ban)
3) CP = 0,55 MPa = 550 kPa (Nilai tekanan ban)
4) YW = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
5) XW = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
6) NR or NPT = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

Nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang ada pada jenis roda *Singe axle with dual tires*.




**Gambar 5. 16 Koordinat NPT**
Sumber: Huang 2004




**Gambar 5. 17 Tampilan Input Data pada Menu *Load***

Saat semua data sudah dimasukkan pada tiap menu, selanjutnya adalah simpan ke *folder* yang sudah disiapkan lalu kembali ke menu utama. Untuk *running* data yang telah di *input* adalah dengan klik menu *Kenlayer*, dan untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dapat dilihat pada menu *editor* dan buka *file* yang sudah disimpan.

7) Hasil Analisis

Hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan nilai tegangan dan regangan dengan permodelan elastic dengan menggunakan program *KENPAVE*, hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

**Tabel 5. 20 Hasil Analisis Desain 2**

| Pengulangan Beban | Regangan Horizontal (4,995) | Regangan Vertikal (4,995) | Regangan Vertikal (27,005) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,000082 | 0,000320 | 0,000921 |
| 2 | 0,000082 | 0,000320 | 0,000921 |
| 3 | 0,000082 | 0,000320 | 0,000921 |
| **Maksimum** | **0,000082** | **0,000320** | **0,000921** |

8) Kontrol Jumlah Beban Gandar

Nilai tegangan dan regangan yang didapat kemudian digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan yang dianalisis dalam menahan kerusakan *rutting, fatigue cracking,* dan *permanent deformation*. Kerusakan jalan dianalisis dengan menghitung nilai Nf untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*. Nilai Nd dihitung untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Nilai tersebut harus melebihi nilai CESA yang sudah diprediksi sebelumnya, sedangkan nilai f4 dan f5 yang digunakan berdasarkan *Asphalt Institute*.

d. Nilai Nf (*fatigue cracking*)

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

Nf $= 0{,}0796 \times (0{,}000082)^{-3{,}921} \times |1000000|^{-0{,}854}$

Nf = 6.292.872.789,11 ESAL

e. Nilai Ndr (*rutting*)

Nd $= f_4(\varepsilon t)^{-f5}$

Nd $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}000320)^{-4{,}477}$

Nd = 6.047.504,48 ESAL

f. Nilai Ndp (*permanent deformation*)

Ndp $= f_4(\varepsilon t)^{-f5}$

Ndp $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}000921)^{-4{,}477}$

Ndp = 53.228,26 ESAL

9) Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dengan hasil analisis yang didapatkan dengan menggunakan program KENPAVE dapat diketahui bahwa Ruas Jalan Cimaung-Puntang dengan menggunakan Desain 2 akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat dilewati beban gandar sebesar 6.292.872.789,11 ESAL, akan terjadi kerusakan *rutting* saat dilewati beban gandar sebesar 6.047.504,48 ESAL, dan akan terjadi kerusakan *permanent deformation* saat dilewati beban gandar sebesar 53.228,26 ESAL. Dengan hasil tersebut maka dapat dilihat bahwa kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *Permanent Deformation*. Perhitungan

prediksi umur pelayanan Ruas Jalan Cimaung-Puntang terhadap kerusakan yang terjadi dapat dihitung berdasarkan hasil besaran beban gandar yang sudah diketahui. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

$ESA_1$ = [($LHR_{\text{tiap jenis kendaraan x VDF}}$) x 365 x DD x DL x R]

= [($LHR_{\text{tiap jenis kendaraan x VDF}}$) x 365 x DD x DL x $\frac{(1+0{,}01\ i)^{UR}-1}{0{,}01\ i}$]

53228,26 = [ (16 x 1,3) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5))^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (63 x 0,4) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (8 x 0,7) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (2 x 3,2) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ]

53228,26 = [3796 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [4599 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [1022 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [1168 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$]

53228,26 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$ x (108457,14) + (131400) + (29200) + (33371,57)

53228,26 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$ x (302428,57)

0,1760 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$

1,1760 = $(1{,}035)^{UR}$

UR = $\frac{\log b}{\log a}$

UR = $\frac{\log 1{,}1760}{\log 1{,}035}$

UR = 4,713 Tahun ≈ 5 Tahun

Hasil prediksi umur masa pelayanan perkerasan desain 2 dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

**Tabel 5. 21 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 2**

| **Jenis Kerusakan** | **Jumlah Repetisi Beban (ESAL)** | **Umur Pelayanan (Tahun)** |
|---|---|---|
| *Fatigue Cracking* | 6.292.872.789 | 290 |
| *Rutting* | 6.047.504,48 | 89 |
| *Permanent Deformation* | 53.228,26 | 5 |

Berdasarkan Tabel 5.21 menunjukkan bahwa kerusakan awal pada struktur perkerasan desain 2 terjadi pada tahun ke-5 dengan kapasitas beban 53.228,26 ESAL (*Permanent Deformation*). Kerusakan berikutnya terjadi pada tahun ke-89 untuk kerusakan *rutting* dengan kapasitas repetisi beban sebesar 6.047.504,48 ESAL dan pada tahun ke-290 untuk kerusakan *fatigue cracking* dengan kapasitas repetisi beban sebesar 6.292.872.789 ESAL. Dengan adanya umur pelayanan kritis yang dihasilkan dari kerusakan *permanent deformation* yang dimana hanya mampu melayani selama 5 tahun, maka struktur perkerasan desain 2 ini masih belum memenuhi kriteria umur rencana 20 tahun sehingga diperlukan evaluasi atau penyesuaian tebal lapisan struktur lebih lanjut.

### 5.2.4 Evaluasi Perkerasan Lentur Desain 3

Analisis kinerja dan kerusakan pada perkerasan lentur desain 3 dievaluasi menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastik untuk memperoleh nilai tegangan dan regangan. Tahapan analisis kinerja pada desain 3 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Data Analisis
    a. Detail Beban Sumbu Roda
        1) Beban sumbu standar kendaraan yaitu 18.000 pon atau 8,16 ton
        2) Tekanan roda untuk satu ban sebesar 0,55 MPa atau 550 kPa
        3) Jari-jari bidang kontak sebesar 11 cm
        4) Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda sebesar 33 cm
    b. Parameter Lapis Perkerasan

        Dalam analisis mekanistik-empiris menggunakan program *KENPAVE*, seluruh lapisan perkerasan diasumsikan dengan karakteristik material elastik. Susunan perkerasan lentur pada desain ini terdiri dari AC-WC, LFA Kelas A, LFA Kelas B, lapis perbaikan tanah dasar stabilisasi semen CBR ekuivalen 6%, serta tanah dasar asli. Parameter utama yang dibutuhkan dalam analisis pemodelan ini meliputi nilai Modulus Elastisitas (E) dan *Poisson Ratio* untuk masing-masing perkerasan yang dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

**Tabel 5. 22 Parameter Lapis Perkerasan**

| Lapis Perkerasan | Modulus Elastik (E) | Poisson Ratio |
|---|---|---|
| AC-WC | 1.000.000 kPa | 0,40 |
| LFA Kelas A | 315.000 kPa | 0,45 |
| LFA Kelas B | 210.000 kPa | 0,45 |
| Stabilisasi Semen | 60.000 kPa | 0,45 |
| Subgrade | 40.000 kPa | 0,45 |

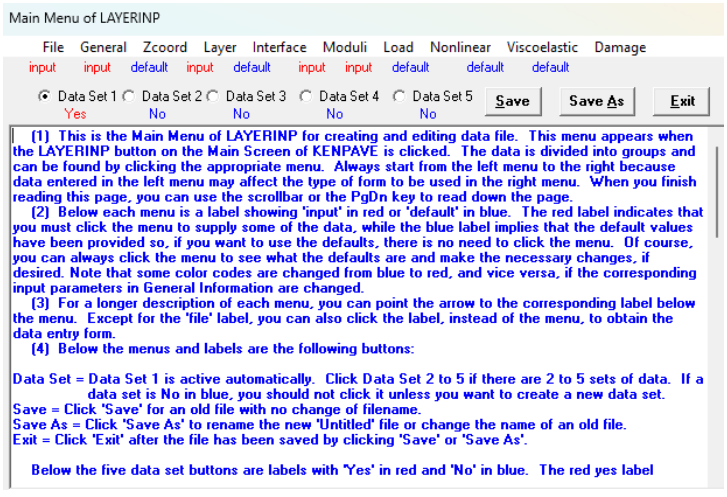
Sumber: Bina Marga 2024

2. Input Program KENPAVE

Analisis desain 3 dengan menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan terdapat beberapa tahapan, tahapan untuk mengetahui nilai tersebut adalah sebagai berikut.

a. Input Data pada *Layerinp*

Pada menu ini terdapat beberapa pilihan menu untuk mengisi data yang sudah diketahui untuk melakukan analisis. Pilih menu *file* dan pilih *New* untuk memulai proyek baru.



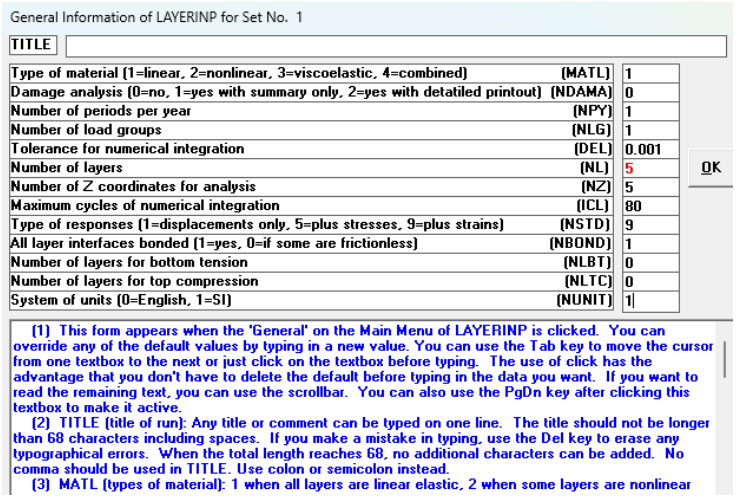

**Gambar 5. 18 Tampilan Menu *Layerinp***

*b. General*

Masukkan data yang sudah diketahui pada menu ini, data yang dimasukkan pada menu ini dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

**Tabel 5. 23 Data Input Menu *General***

| Title | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| MATL | 1 | Bahan material lapisan perkerasan Linear Elastik |
| NDAMA | 0 | Tidak terdapat analisis kerusakan |
| NPY | 1 | Default |
| NLG | 1 | Default |
| DEL | 0,001 | Standar akurasi |
| NL | 5 | Total lapisan yang dianalisis (HRS-WC, HRS-Base, LFA A, LFA B, Subgrade) |
| NZ | 5 | Total titik tinjau untuk kerusakan |
| ICL | 80 | Default |
| NSTD | 9 | Digunakan untuk vertical displacement, nilai regangan dan tegangan |
| NBOND | 1 | Setiap lapisan terikat satu sama lain |
| NLBT | 0 | Default |
| NLTC | 0 | Default |
| NUNIT | 1 | SI |



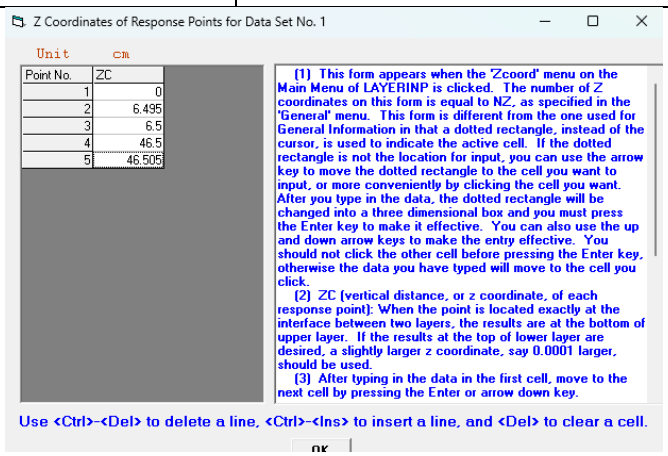

**Gambar 5. 19 Tampilan Input Data pada Menu *General***

c. *Zcoord*

Data yang dimasukkan pada menu ini adalah kedalaman titik kerusakan yang akan dianalisis. Titik tinjau 1 yang terletak pada bagian bawah asapal digunakan untuk menganalisis kerusakan *Rutting* dan *Fatigue Cracking*. Untuk titik tinjau 2 yang terletak pada bagian bawah perkerasan digunakan untuk menganalisis kerusakan *Permanent Deformation*. Detail data yang dimasukkan pada menu *Zcoord* ini dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

**Tabel 5. 24 Data Input Pada Menu *Zcoord***

| No | Kedalaman | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | 0 | Permukaan lapis perkerasan |
| 2 | 4,995 | Titik tinjau 1 |
| 3 | 5,0 | Permukaan atas LFA Kelas A |
| 4 | 42,0 | Batas bawah LFA Kelas B |
| 5 | 62,005 | *Subgrade* (Titik tinjau 2) |




**Gambar 5. 20 Tampilan Input Data pada Menu *Zcoord***

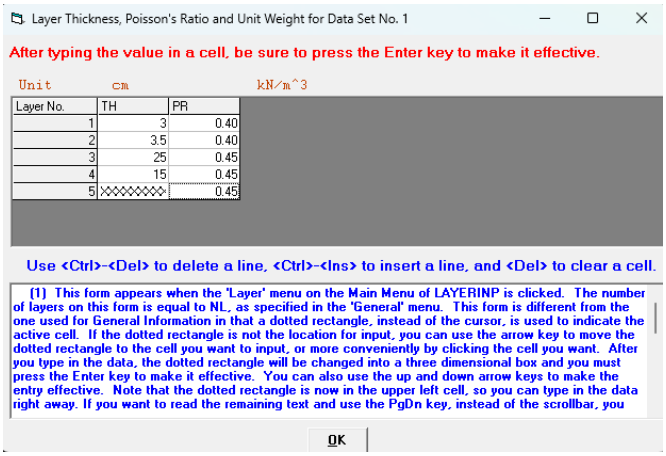
d. *Layer*

Data yang dimasukkan pada menu ini adalah data dari tebal tiap lapis perkerasan dan *poisson ratio*. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

**Tabel 5. 25 Data Input pada Menu *Layer***

| Layer No. | Tebal (cm) | Poisson Ratio | Keterangan |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 0,40 | AC-WC |
| 2 | 22 | 0,45 | LFA Kelas A |
| 3 | 15 | 0,45 | LFA Kelas B |
| 4 | 20 | 0,45 | Stabilisasi Tanah |
| 5 | 20 | 0,45 | Subgrade |

Sumber: Bina Marga 2024




**Gambar 5. 21 Tampilan Input Data pada Menu *Layer***

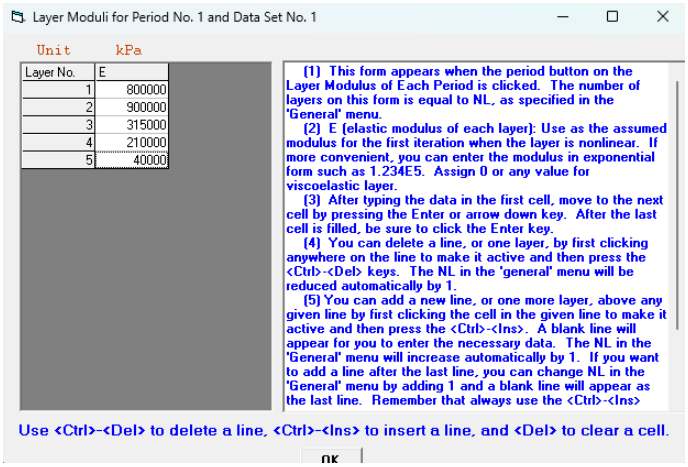
e. *Moduli*

Data yang dimasukkan pada menu ini merupakan nilai modulus elastis yang diperoleh dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 (MDPJ 2024). Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

**Tabel 5. 26 Data Input pada Menu *Moduli***

| No | Modulus Elastisitas (kPa) |
|---|---|
| 1 | 1.000.000 |
| 2 | 315.000 |
| 3 | 210.000 |
| 4 | 60.000 |
| 5 | 40.000 |

Sumber: Bina Marga 2024



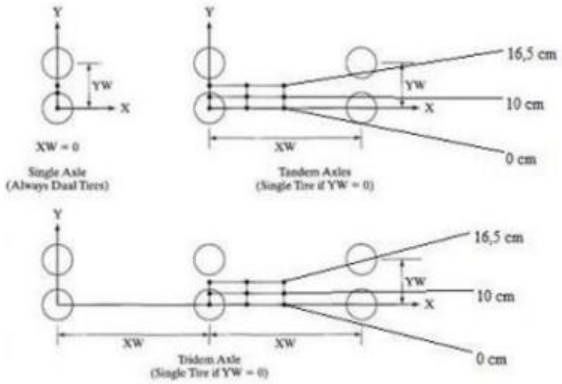

**Gambar 5. 22 Tampilan Input Data pada Menu *Moduli***

*f. Load*

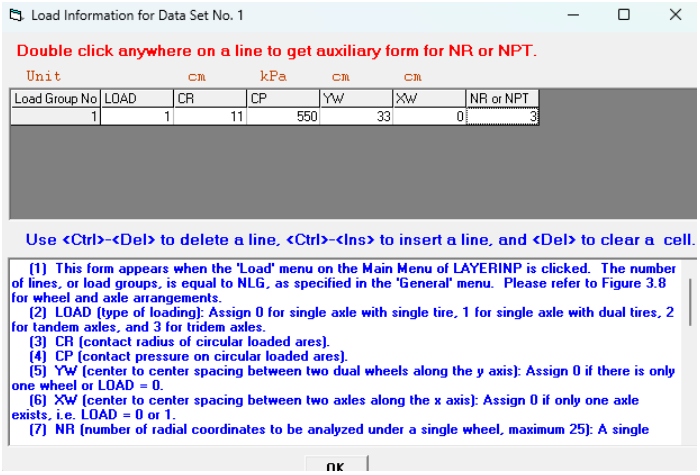
Data yang dimasukkan pada menu ini merupakan data beban gandar yang akan diterima oleh lapis perkerasan. Detail data tersebut adalah sebagai berikut.

1) Load = 1 (*Single axle load*, roda gandar tunggal)
2) CR = 11 cm (Nilai jarak antar ban)
3) CP = 0,55 MPa = 550 kPa (Nilai tekanan ban)
4) YW = 33 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
5) XW = 0 (Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*)
6) NR or NPT = 3 (Jumlah koordinat tinjauan)

   Nilai NPT ditentukan berdasarkan tinjauan titik koordinat yang ada pada jenis roda Singe axle with dual tires.




**Gambar 5. 23 Koordinat NPT**
Sumber: Huang 2004




**Gambar 5. 24 Tampilan Input Data pada Menu *Load***

Saat semua data sudah dimasukkan pada tiap menu, selanjutnya adalah simpan ke *folder* yang sudah disiapkan lalu kembali ke menu utama. Untuk *running* data yang telah di *input* adalah dengan klik menu *Kenlayer*, dan untuk melihat hasil analisis tegangan dan regangan dapat dilihat pada menu *editor* dan buka *file* yang sudah disimpan.

3. Hasil Analisis

Hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan nilai tegangan dan regangan dengan permodelan elastic dengan menggunakan program KENPAVE, hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

**Tabel 5. 27 Hasil Analisis Desain 3**

| Pengulangan Beban | Regangan Horizontal (4,995) | Regangan Vertikal (4,995) | Regangan Vertikal (62,005) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,000268 | 0,000560 | 0,000463 |
| 2 | 0,000268 | 0,000560 | 0,000463 |
| 3 | 0,000268 | 0,000560 | 0,000463 |
| **Maksimum** | **0,000268** | **0,000560** | **0,000463** |

4. Kontrol Jumlah Beban Gandar

Nilai tegangan dan regangan yang didapat kemudian digunakan untuk melakukan kontrol prediksi masa pelayanan jalan yang dianalisis dalam menahan kerusakan *rutting, fatigue cracking,* dan *permanent deformation*. Kerusakan jalan dianalisis dengan menghitung nilai Nf untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*. Nilai Nd dihitung untuk mengetahui nilai beban gandar maksimum sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Nilai tersebut harus melebihi nilai CESA yang sudah diprediksi sebelumnya, sedangkan nilai f4 dan f5 yang digunakan berdasarkan *Asphalt Institute*.

g. Nilai Nf (*fatigue cracking*)

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

Nf $= 0{,}0796 \times (0{,}000268)^{-3{,}921} \times |1000000|^{-0{,}854}$

Nf = 60.561.488,43 ESAL

h. Nilai Ndr (*rutting*)

Nd $= f_4(\varepsilon t)^{-f5}$

Nd $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}000560)^{-4{,}477}$

Nd = 493.736,07 ESAL

i. Nilai Ndp (*permanent deformation*)

Ndp $= f_4(\varepsilon t)^{-f5}$

Ndp $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}000463)^{-4{,}477}$

Ndp = 1.156.981,87 ESAL

5. Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Dengan hasil analisis yang didapatkan dengan menggunakan program *KENPAVE* dapat diketahui bahwa Ruas Jalan Cimaung-Puntang dengan menggunakan Desain 1 akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* saat dilewati beban gandar sebesar 60.561.488,43 ESAL, akan terjadi kerusakan *rutting* saat dilewati beban gandar sebesar 493.736,07 ESAL, dan akan terjadi kerusakan *permanent deformation* saat dilewati beban gandar sebesar 1.156.981,87 ESAL. Dengan hasil tersebut maka dapat dilihat bahwa

kerusakan awal yang terjadi adalah kerusakan *Rutting*. Perhitungan prediksi umur pelayanan Ruas Jalan Cimaung-Puntang terhadap kerusakan yang terjadi dapat dihitung berdasarkan hasil besaran gandar yang sudah diketahui. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

ESA1 = [($LHR_{\text{tiap jenis kendaraan x VDF}}$) x 365 x DD x DL x R]

= [($LHR_{\text{tiap jenis kendaraan x VDF}}$) x 365 x DD x DL x $\frac{(1+0{,}01\ i)^{UR}-1}{0{,}01\ i}$]

1156982 = [ (16 x 1,3) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5))^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (63 x 0,4) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (8 x 0,7) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ] + [ (2 x 3,2) x 365 x 0,5 x 1 x $\frac{(1+0{,}01\ (3{,}5)^{UR}-1}{0{,}01\ (3{,}5)}$ ]

1156982 = [3796 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [4599 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [1022 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$] + [1168 x $\frac{(1{,}035)^{UR}-1}{0{,}035)}$]

1156982= $((1{,}035)^{UR} - 1)$ x (108457,14) + (131400) + (29200) + (33371,57)

1156982= $((1{,}035)^{UR} - 1)$ x (302428,57)

3,8256 = $((1{,}035)^{UR} - 1)$

4,8256 = $(1{,}035)^{UR}$

UR = $\frac{\log b}{\log a}$

UR = $\frac{\log 4{,}8256}{\log 1{,}035}$

UR = 45,752 Tahun ≈ 46 Tahun

Hasil prediksi umur masa pelayanan perkerasan desain 3 dalam menahan setiap kerusakan akibat beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut.

**Tabel 5. 28 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 3**

| **Jenis Kerusakan** | **Jumlah Repetisi Beban (ESAL)** | **Umur Pelayanan (Tahun)** |
|---|---|---|
| *Fatigue Cracking* | 60.561.488,43 | 154 |

| Lanjutan Tabel 5. 28 Hasil Analisis Perkerasan Lentur Desain 3 | | |
|---|---|---|
| *Rutting* | 493.736,07 | 28 |
| *Permanent Deformation* | 1.156.981,87 | 46 |

Berdasarkan Tabel 5.28 menunjukkan bahwa kerusakan awal pada struktur perkerasan desain 3 terjadi pada tahun ke-28 untuk kerusakan *Rutting* dengan kapasitas beban 493.736,07 ESAL. Kerusakan berikutnya terjadi pada tahun ke-46 untuk kerusakan *Permanent Deformation* dengan kapasitas beban 1.156.981,87 ESAL dan tahun ke-154 untuk kerusakan *fatigue cracking* dengan kapasitas beban 60.561.488,43 ESAL. Dengan demikian, struktur perkerasan ini dinyatakan memenuhi syarat aman untuk memikul beban lalu lintas yang direncanakan yaitu 20 tahun.

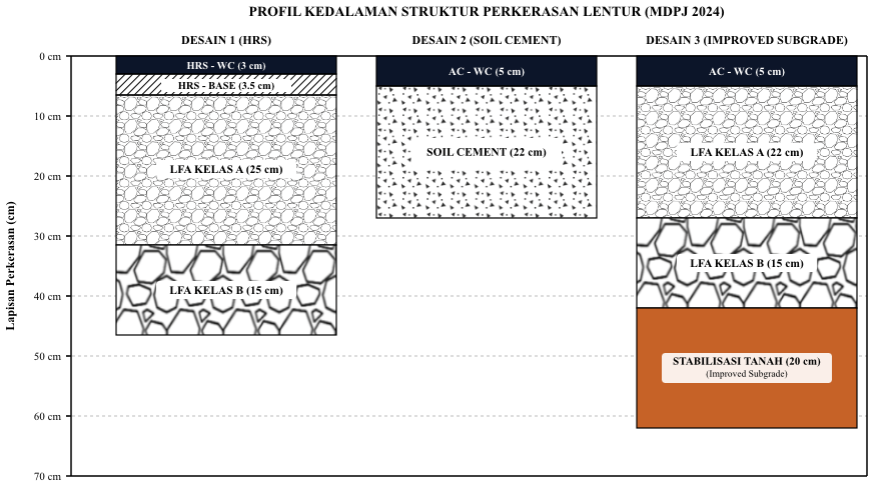
## 5.3 Pembahasan

Setelah menganalisis lapis perkerasan Ruas Jalan Cimaung-Puntang dengan menggunakan metode Bina Marga 2024, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Tebal perkerasan yang diperoleh menggunakan metode Bina Marga 2024 dengan program KENPAVE
2. Nilai regangan yang dihasilkan melalui program KENPAVE
3. Perbandingan umur sisa layan pada tiap kondisi yang ditinjau.

### 5.3.1 Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2024

Menurut MDPJ 2024 kinerja perkerasan lentur merupakan kemampuan suatu perkerasan untuk menahan beban kendaraan yang dilaluinya sampai terjadi kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*. Dengan menggunakan metode Bina Marga 2024, didapatkan tiga desain tebal perkerasan dengan umur rencana 20 tahun. Detail perbandingan tebal perkerasan tiap desain dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.




**Gambar 5.25 Perbandingan Tebal Perkerasan Tiap Desain**

### 5.3.2 Tebal Perkerasan yang Diperoleh Menggunakan Metode Bina Marga 2024

Perhitungan perkerasan pada ruas Jalan Cimaung-Puntang ini menggunakan metode Bina Marga 2024 dengan memanfaatkan data dari Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Bandung. Sehingga mendapatkan data LHR, Nilai VDF, faktor distribusi arah, sampai faktor distribusi lajur. Adapun rekapitulasi ketebalan tiap lapis dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut.

**Tabel 5. 29 Rekapitulasi Tebal Setiap Lapis Perkerasan**

| No | Lapis Perkerasan | Desain 1 (HRS) | Desain 2 (*Soil Cement*) | Desain 3 (*Improve Subgrade*) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Lapis Aus | 30 mm (HRS-WC) | 50 mm (AC-WC) | 50 mm (AC-WC) |
| 2 | Fondasi Aspal | 35 mm (HRS-Base) | - | - |
| 3 | LFA Kelas A | 250 mm | - | 220 |
| 4 | LFA Kelas B | 150 mm | - | 150 |
| 5 | *Soil Cement* | - | 220 | - |
| 6 | *Improved Subgrade* | - | - | 200 |

Berdasarkan hasil analisis perancangan tebal perkerasan, struktur dengan ketebalan total terbesar terdapat pada Desain-3 yaitu 62 cm, sedangkan struktur terkecil terdapat pada Desain-2 yaitu 27 cm. Adapun Desain-1 menghasilkan ketebalan sebesar 46,5 cm yang terdiri atas lapis HRS-WC setebal 30 mm, HRS-Base setebal 35 mm, LFA Kelas A setebal 250 mm, dan LFA Kelas B setebal 150 mm. Desain-1 menjadi alternatif yang paling praktis dan ekonomis karena menggunakan material lapis fondasi agregat konvensional yang mudah diaplikasikan di lapangan serta memiliki dimensi yang lebih efisien dibandingkan Desain-3.

### 5.3.3 Nilai Regangan yang Dihasilkan Melalui Program *KENPAVE*

Nilai regangan didapatkan berdasarkan metode Bina Marga 2024 yang kemudian dievaluasi dengan menggunakan program *KENPAVE* dengan permodelan elastik digunakan untuk acuan dalam menentukan nilai control kerusakan lapis perkerasan, meliputi *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation*. Nilai regangan pada tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 5.30, Tabel 5.31, dan Tabel 5.32 berikut.

**Tabel 5. 30 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan Desain-1**

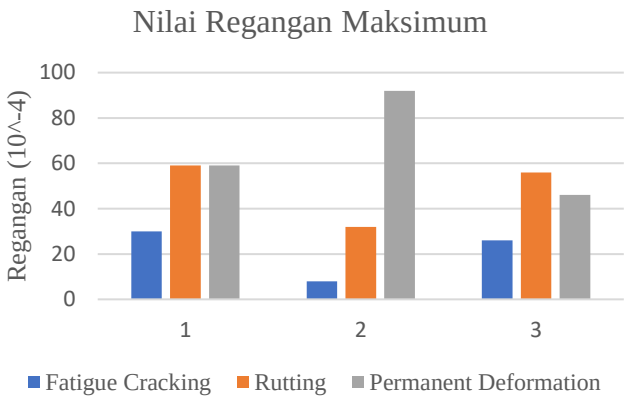
| Jenis Kerusakan | Nilai Regangan |
|---|---|
| *Fatigue Cracking* | 0,000305 |
| *Rutting* | 0,000595 |
| *Permanent Deformation* | 0,000598 |

**Tabel 5. 31 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan Desain-2**

| Jenis Kerusakan | Nilai Regangan |
|---|---|
| *Fatigue Cracking* | 0,000082 |
| *Rutting* | 0,000320 |
| *Permanent Deformation* | 0,000921 |

**Tabel 5. 32 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan Desain-3**

| Jenis Kerusakan | Nilai Regangan |
|---|---|
| *Fatigue Cracking* | 0,000268 |
| *Rutting* | 0,000560 |
| *Permanent Deformation* | 0,000463 |




**Gambar 5. 26 Perbandingan Nilai Regangan Maksimal pada Tiap Desain Lapis Perkerasan**

Dari hasil analisis beban standar sebesar 550 kPa pada program *KENPAVE*, didapatkan nilai regangan yang bervariatif pada tiap lapis perkerasan. Pada Desain-1 menghasilkan nilai regangan untuk *fatigue cracking* sebesar 0,000305, *rutting* sebesar 0,000595, dan *permanent deformation* sebesar 0,000598. Pada Desain-2 menghasilkan nilai regangan untuk *fatigue cracking* sebesar 0,000082, *rutting* sebesar 0,000320, dan *permanent deformation* sebesar 0,000921. Dan pada Desain-3 menghasilkan nilai regangan untuk *fatigue cracking* sebesar 0,000269, *rutting* sebesar 0,000560, dan *permanent deformation* sebesar 0,000463.

Perbedaan nilai regangan ini berpengaruh pada seberapa kuat sebuah jalan dalam menahan repetisi beban lalu lintas. Desain-2 terlihat unggul dalam mencegah *fatigue cracking* karena nilai regangan tariknya sangat kecil dibawah lapisan aspal. Sedangkan Desain-3, terlihat paling efektif dalam mencegah *permanent deformation* berkat adanya lapisan perbaikan tanah (*improve subgrade*).

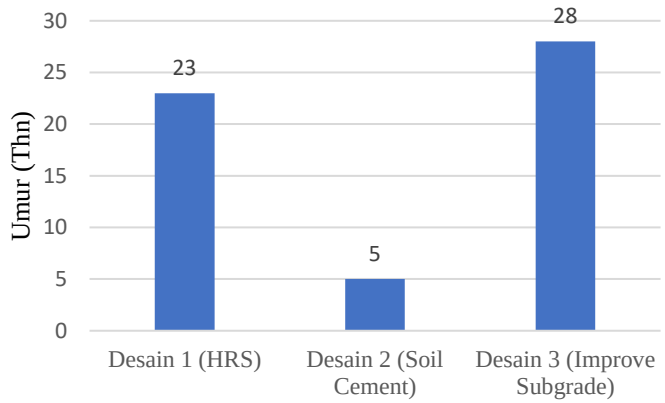
Karakteristik ini sesuai dengan penelitian Karnurin (2020) dan Fauziah (2019), kombinasi tebal dan kekakuan material tiap lapis akan selalu menghasilkan pola reagangan serta ketahanan jenis kerusakan yang berbeda pada setiap rancangan struktur perkerasan.

### 5.3.4 Perbandingan Umur Layan

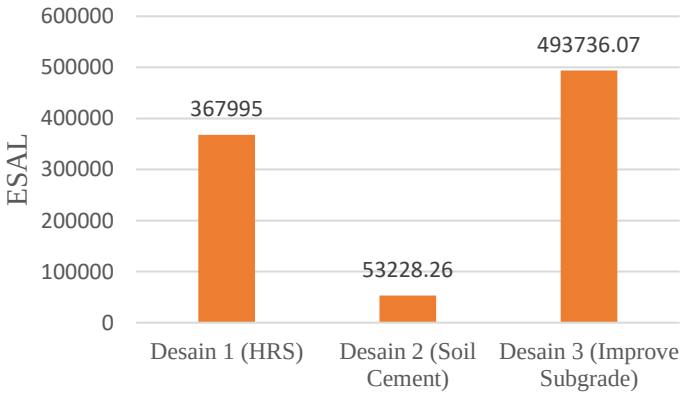
Setelah mengevaluasi kinerja terhadap ketiga rancangan struktur perkerasan, selanjutnya dapat membandingkan umur perlayanan tiap struktur perkerasan untuk melihat seberapa baik masing-masing desain dalam menahan beban lalu lintas kumulatif selama umur rencana 20 tahun. Prediksi umur layan ini dihitung berdasarkan tiga kriteria kerusakan utama, yaitu *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation*. Ketiga jenis kerusakan tersebut dipilih karena menjadi indikator utama kegagalan struktural perkerasan lentur akibat respons regangan kritis tarik pada lapisan aspal dan regangan tekan pada tanah dasar. Rekapitulasi perbandingan umur pelayanan antar tiap desain dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut.

**Tabel 5. 33 Rekapitulasi Perbandingan Umur Pelayanan Tiap Desain**

| Rancangan | Jenis Kerusakan | Nilai Ndp | Prediksi Umur Layan (Thn) | Target Umur Rencana | Evaluasi Kinerja |
|---|---|---|---|---|---|
| Desain-1 (HRS) | *Permanent Deformation* | 367995 ESAL | 23 Tahun | 20 Tahun | Memenuhi |
| Desain-2 (*Soil Cement*) | *Permanent Deformation* | 53228,26 ESAL | 5 Tahun | 20 Tahun | Belum Memenuhi |
| Desain-3 (*Permanent Deformation*) | *Rutting* | 493736,07 ESAL | 28 Tahun | 20 Tahun | Memenuhi |




**Gambar 5. 27 Perbandingan Prediksi Umur Layan Tiap Desain Perkerasan**




**Gambar 5. 28 Perbandingan Nilai Ndp Tiap Desain Perkerasan**

Dari hasil analisis tersebut maka Desain-1 diprediksi mulai mengalami kerusakan akibat *permanent deformation* pada tahun ke-23. Dikarenakan mampu melampaui umur rencana 20 tahun, maka Desain-1 dinyatakan memenuhi syarat aman. Pada Desain-3, struktur perkerasan menunjukkan kinerja terbaik dengan kerusakan awal berupa kerusakan *rutting* pada tahun ke-28. Lapisan perbaikan tanah (*improved subgrade*) terbukti efektif menahan deformasi tanah dasar sampai tahun ke-46, maka Desain-3 juga memenuhi syarat aman. Sedangkan, untuk Desain-2, meskipun perkerasan ini terlihat sangat aman terhadap retak lelah tetapi struktur ini diprediksi akan mengalami kerusakan *permanent deformation* dini pada tahun ke-5. Dikarenakan nilai yang didapat adalah di bawah 20 tahun, maka Desain-2 dapat dikatakan belum memenui syarat aman sehingga membutuhkan evaluasi lebih lanjut.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis desain tebal perkerasan lentur dengan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 dan prediksi kerusakan menggunakan program *KENPAVE* pada Ruas Jalan Cimaung-Puntang, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari akumulasi beban lalu lintas rencana selama umur rencana 20 tahun didapatkan nilai CESA4 sebesar 462.055,18 ESAL dan nilai CESA5 sebesar 521.402,92 ESAL, sehingga didapatkan 3 (tiga) rancangan tebal perkerasan. Desain-1 terdiri atas lapisan HRS-WC (3 cm), HRS-Base (3,5 cm), LFA Kelas A (25 cm), dan LFA Kelas B (15 cm). Desain-2 terdiri atas lapisan AC-WC (5 cm) dan Lapis Fondasi Tanah Seman (*soil cement*) UCS 2,4 MPa (22 cm). Desain-3 terdiri atas lapisan AC-WC (5 cm), LFA Kelas A (22 cm), LFA Kelas B (15 cm), dan lapis stabilisasi tanah semen (*improved subgrade* CBR 6%) setebal 20 cm.
2. Berdasarkan analisis mekanistik-empiris dengan program *KENPAVE*, susunan lapisan dan pemilihan material memberikan nilai regangan yang berbeda pada setiap rancangan. Desain -1 menghasilkan nilai regangan yang seimbang, yaitu regangan Tarik horizontal ($\varepsilon t$) sebesar 0,000305 dan regangan tekan vertikal tanah dasar ($\varepsilon$c) sebesar 0,000598. Desain-2 menghasilkan regangan tarik horizontal terendah ($\varepsilon t$ = 0,000082), namun menghasilkan regangan tekan vertikal pada tanah dasar ($\varepsilon$c) paling tinggi yaitu sebesar 0,000921. Sedangkan Desain-3 menghasilkan regangan tekan vertikal pada tanah dasar terendah ($\varepsilon$c = 0,000463), membuktikan bahwa lapisan perbaikan tanah dasar (*improved subgrade*) sangat efektif dalam mereduksi tegangan yang diteruskan ke tanah dasar.
3. Berdasarkan evaluasi terhadap target umur rencana 20 tahun, Desain-1 menjadi pilihan terbaik dan paling efisien karena mampu bertahan hingga 23

tahun (367.995 ESAL) terhadap kerusakan *permanent deformation*, sehingga telah memenuhi kriteria aman serta paling mendekati target umur rencana tanpa terjadi pemborosan material (*over-design*). Sementara itu, Desain-2 belum memenuhi syarat karena diprediksi mengalami *permanent deformation* dini pada tahun ke-5 (53.228,26 ESAL), dan Desain-3 dinilai kurang efisien secara ketebalan total (62 cm) meskipun mampu melayani hingga 28–46 tahun.

## 6.2 Saran

Melihat hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan beberapa saran yang dapat diberikan diantaranya sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan perhitungan RAB pada masing-masing rancangan perkerasan.
2. Perencanaan desain perkerasan dapat mempertimbangkan metode lain, sehingga dapat menghasilkan lebih banyak pilihan yang lebih efektif dan juga efisien.
3. Penggunaan program simulasi perkerasan lainnya dapat diterapkan sebagai pembanding terhadap hasil dari program *KENPAVE*.

# DAFTAR PUSTAKA


Anisarida, A. A., Prabowo, S., & Seran, E. N. B. (2023). Metode mekanistik-empiris untuk mengevaluasi tebal perkerasan lentur menggunakan program (studi kasus: Jalan Cibadak–Cikidang–Pelabuhan Ratu). *Jurnal Teknik Sipil Cendekia* (JTSC), 4(1), 554–569.

Arkan, T. N. (2025). Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan Baru Dengan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik Pada Jalan Tawang-Ngalang. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia*.

Azra, M. G. (2025). Evaluasi Usulan Alternatif Struktur Perkerasan Pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia*.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. *No. 03/M/BM/2024*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Fauzan, I., & Elkhasnet. (2025). Analisis Perbandingan Desain Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Cimaung-Puntang Kabupaten Bandung Berdasarkan Metode PD T-14-2003 Dan MDPJ 2024. *Prosiding Seminar Nasional FTSP Itenas, 4049*. https://eproceeding.itenas.ac.id/ index.php/ftsp/article/view/4049

Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. (2nd ed.). Pearson Education.

Hadi, M. A., & Fauziah M. (2022). Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik., *Jurnal Teknisia*, 27(02), 71–82.

Kumalawati, A., Nara, F.S., & Nasjono, J.K. (2024). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Ruas Jalan Baumata-Tarus Dengan Metode Bina Marga 2017. *Jurnal Teknik Sipil,* 13(1), 41-54.

Krisnanda, R., Wisman, M., & Oktarina, D. (2025). Perencanaan Perkerasan Jalan Dengan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) (Studi Kasus: Jalan Poncowati-Purnama Tunggal Kabupaten Lampung Tengah). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil,* 9(1), 225-233.

Lia, N. & Mahardi, P., 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi KENPAVE. *Rekayasa Teknik Sipil*, 4(2), 1-10.

Mahmudin, & Fauziah. (2019). Analisis Lapis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Empirik dan Metode Mekanistik-Empirik Dengan Program KENPAVE Pada Ruas Jalan Imogiri Timur. *Prosiding Semnas BAPPEDA Provinsi Jawa Tengah 2019*. 310-317.

Nasution, H. A. M., & Fauziah, M. (2024). Analisis kerusakan perkerasan lentur dengan pedoman Bina Marga 2017 dan 2024 menggunakan metode viskoelastik di Jalan Peureulak, Aceh Timur. *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Sumarsono, A., & Fauziah, M. (2022). Evaluasi Kondisi Perkerasan, Penanganan Dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik Empirik (Studi Kasus: Jalan Jogja-Solo Km 14+800-16+800). *Teknisia*: *Jurnal Teknik*, 9(1), 10-27.

Tolab, L.Z., & Fauziah, M. (2024). *Prediction of Damage and Remaining Life of Yogyakarta-Bawen Toll Road Pavement with Elastic and Viscoelastic Approaches*. *Rekayasa Sipil*, 18(02), 150-158.

Tolab, L. Z., Hadi, M. A., Dan Fauziah, M. (2022). Analisis Perbandingan Perkerasan Ac-Wc Berbahan Ikat Starbit E-55 Dengan Pen60/70 Menggunakan Metode Elastik Linier. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol.2, No.1.

Tolab, L. Z., dan Fauziah, M. (2024). Prediction of Damage and Remaining Life of Yogyakarta-Bawen Toll Road Pavement with Elastic and Viscoelastic Approaches. *Rekaya Sipil*, 18(02), 150–158.

Widhiatmoko, G. dan Fauziah, M.(2024). Analisis Desain Perbandingan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Viskoelastik pada MDP 2017 dan MDPJ 2024 Menggunakan Kenpave (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Solo Yogya-Yia*). Prosiding Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KNILT) 2024*. Universitas Islam Indonesia, 209-217.

Zuasri, & Fauziah, M. (2024). Komparasi Alternatif Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 dan 2024 Menggunakan Kenpave (Studi Kasis: Ruas Jalan Peumeulak Aceh Timur (STA 7+750 - STA 16+500). *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun*, 218-228.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Output KENPAVE Perkerasan Lentur Dengan HRS

```
INPUT FILE NAME  -C:\KENPAVE\Desain1\DES1.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 3  3.5  25  15
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4  0.4  0.45  0.45  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  6.495  6.5  46.5  46.505
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  8.000E+05   2  9.000E+05
   3  3.150E+05   4  2.100E+05   5  4.000E+04

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

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

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1
```

| POINT NO. | VERTICAL COORDINATE | VERTICAL DISP. | VERTICAL STRESS (STRAIN) | MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN) | MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN) | INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00000 | 0.08118 | 550.000 | 1099.315 | 747.239 | 1087.244 |
| | (STRAIN) | | -1.592E-04 | 4.569E-04 | -1.592E-04 | 4.357E-04 |
| 1 | 6.49500 | 0.07726 | 423.132 | 423.479 | -155.299 | -125.227 |
| | (STRAIN) | | 5.947E-04 | 5.952E-04 | -3.051E-04 | -3.051E-04 |
| 1 | 6.50000 | 0.07726 | 423.015 | 423.363 | -156.125 | -125.996 |
| | (STRAIN) | | 5.952E-04 | 5.958E-04 | -3.056E-04 | -3.056E-04 |
| 1 | 46.50000 | 0.05737 | 25.868 | 26.045 | -84.524 | -72.651 |
| | (STRAIN) | | 4.596E-04 | 4.608E-04 | -3.026E-04 | -3.026E-04 |
| 1 | 46.50500 | 0.05737 | 25.864 | 26.614 | 1.033 | 2.578 |
| | (STRAIN) | | 5.975E-04 | 6.247E-04 | -3.026E-04 | -3.026E-04 |
| 2 | 0.00000 | 0.08118 | 550.000 | 1099.315 | 747.239 | 1087.244 |
| | (STRAIN) | | -1.592E-04 | 4.569E-04 | -1.592E-04 | 4.357E-04 |
| 2 | 6.49500 | 0.07726 | 423.132 | 423.479 | -155.299 | -125.227 |
| | (STRAIN) | | 5.947E-04 | 5.952E-04 | -3.051E-04 | -3.051E-04 |
| 2 | 6.50000 | 0.07726 | 423.015 | 423.363 | -156.125 | -125.996 |
| | (STRAIN) | | 5.952E-04 | 5.958E-04 | -3.056E-04 | -3.056E-04 |
| 2 | 46.50000 | 0.05737 | 25.868 | 26.045 | -84.524 | -72.651 |
| | (STRAIN) | | 4.596E-04 | 4.608E-04 | -3.026E-04 | -3.026E-04 |
| 2 | 46.50500 | 0.05737 | 25.864 | 26.614 | 1.033 | 2.578 |
| | (STRAIN) | | 5.975E-04 | 6.247E-04 | -3.026E-04 | -3.026E-04 |
| 3 | 0.00000 | 0.08118 | 550.000 | 1099.315 | 747.239 | 1087.244 |
| | (STRAIN) | | -1.592E-04 | 4.569E-04 | -1.592E-04 | 4.357E-04 |
| 3 | 6.49500 | 0.07726 | 423.132 | 423.479 | -155.299 | -125.227 |
| | (STRAIN) | | 5.947E-04 | 5.952E-04 | -3.051E-04 | -3.051E-04 |
| 3 | 6.50000 | 0.07726 | 423.015 | 423.363 | -156.125 | -125.996 |
| | (STRAIN) | | 5.952E-04 | 5.958E-04 | -3.056E-04 | -3.056E-04 |
| 3 | 46.50000 | 0.05737 | 25.868 | 26.045 | -84.524 | -72.651 |
| | (STRAIN) | | 4.596E-04 | 4.608E-04 | -3.026E-04 | -3.026E-04 |
| 3 | 46.50500 | 0.05737 | 25.864 | 26.614 | 1.033 | 2.578 |
| | (STRAIN) | | 5.975E-04 | 6.247E-04 | -3.026E-04 | -3.026E-04 |

## Lampiran 2 Output KENPAVE Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement*)

```
INPUT FILE NAME  -C:\KENPAVE\Desain1\DES2.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  3
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)-----------=  1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 5  22
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4  0.35  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  4.995  5  27  27.005
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.000E+06   2  5.000E+05
   3  4.000E+04

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

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

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1

 POINT    VERTICAL   VERTICAL   VERTICAL     MAJOR       MINOR  INTERMEDIATE
                                           PRINCIPAL   PRINCIAL  P. STRESS
  NO.    COORDINATE    DISP.     STRESS      STRESS      STRESS  (HORIZONTAL
                                 (STRAIN)    (STRAIN)    (STRAIN)  P. STRAIN)
  1       0.00000    0.09074    550.000    1303.085    808.731    1266.005
          (STRAIN)              -2.189E-04  4.732E-04  -2.189E-04  4.213E-04
  1       4.99500    0.08779    479.568    481.732     192.112     203.783
          (STRAIN)              3.203E-04   3.234E-04  -8.209E-05  -7.907E-05
  1       5.00000    0.08779    479.431    481.595     191.440     203.058
          (STRAIN)              3.208E-04   3.238E-04  -8.242E-05  -7.939E-05
  1      27.00000    0.07729     45.438     45.557     -296.282    -239.179
          (STRAIN)              4.656E-04   4.659E-04  -4.570E-04  -4.570E-04
  1      27.00500    0.07729     45.431     46.411       7.424      10.704
          (STRAIN)              9.208E-04   9.564E-04  -4.570E-04  -4.570E-04
  2       0.00000    0.09074    550.000    1303.085    808.731    1266.005
          (STRAIN)              -2.189E-04  4.732E-04  -2.189E-04  4.213E-04
  2       4.99500    0.08779    479.568    481.732     192.112     203.783
          (STRAIN)              3.203E-04   3.234E-04  -8.209E-05  -7.907E-05
  2       5.00000    0.08779    479.431    481.595     191.440     203.058
          (STRAIN)              3.208E-04   3.238E-04  -8.242E-05  -7.939E-05
  2      27.00000    0.07729     45.438     45.557     -296.282    -239.179
          (STRAIN)              4.656E-04   4.659E-04  -4.570E-04  -4.570E-04
  2      27.00500    0.07729     45.431     46.411       7.424      10.704
          (STRAIN)              9.208E-04   9.564E-04  -4.570E-04  -4.570E-04
  3       0.00000    0.09074    550.000    1303.085    808.731    1266.005
          (STRAIN)              -2.189E-04  4.732E-04  -2.189E-04  4.213E-04
  3       4.99500    0.08779    479.568    481.732     192.112     203.783
          (STRAIN)              3.203E-04   3.234E-04  -8.209E-05  -7.907E-05
  3       5.00000    0.08779    479.431    481.595     191.440     203.058
          (STRAIN)              3.208E-04   3.238E-04  -8.242E-05  -7.939E-05
  3      27.00000    0.07729     45.438     45.557     -296.282    -239.179
          (STRAIN)              4.656E-04   4.659E-04  -4.570E-04  -4.570E-04
  3      27.00500    0.07729     45.431     46.411       7.424      10.704
          (STRAIN)              9.208E-04   9.564E-04  -4.570E-04  -4.570E-04
```

## Lampiran 3 Output KENPAVE Perkerasan Lentur dengan *Improve Subgrade* Stabilisasi Semen

```
INPUT FILE NAME  -C:\KENPAVE\Desain1\DES3.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)-----------=  1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa
unit weight in kN/m^3, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 5  22  15  20
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4  0.45  0.45  0.45  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  4.995  5  42  62.005
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.000E+06   2  3.150E+05
   3  2.100E+05   4  6.000E+04   5  4.000E+04

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

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

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1

 POINT    VERTICAL   VERTICAL   VERTICAL     MAJOR       MINOR   INTERMEDIATE
                                           PRINCIPAL    PRINCIAL  P. STRESS
  NO.    COORDINATE    DISP.     STRESS      STRESS      STRESS   (HORIZONTAL
                                 (STRAIN)    (STRAIN)    (STRAIN)  P. STRAIN)
  1       0.00000    0.08189    550.000    1033.665    583.618    1018.782
          (STRAIN)              -2.374E-04  3.927E-04  -2.374E-04  3.719E-04
  1       4.99500    0.08059    474.613     474.907    -116.533    -96.392
          (STRAIN)              5.597E-04   5.601E-04  -2.679E-04  -2.679E-04
  1       5.00000    0.08059    474.503     474.797    -117.635    -97.426
          (STRAIN)              5.604E-04   5.608E-04  -2.686E-04  -2.686E-04
  1      42.00000    0.05976     33.354      33.809     -82.351    -69.003
          (STRAIN)              4.822E-04   4.853E-04  -3.167E-04  -3.167E-04
  1      62.00500    0.05019     19.229      19.700       0.193      0.948
          (STRAIN)              4.626E-04   4.797E-04  -2.275E-04  -2.275E-04
  2       0.00000    0.08189    550.000    1033.665    583.618    1018.782
          (STRAIN)              -2.374E-04  3.927E-04  -2.374E-04  3.719E-04
  2       4.99500    0.08059    474.613     474.907    -116.533    -96.392
          (STRAIN)              5.597E-04   5.601E-04  -2.679E-04  -2.679E-04
  2       5.00000    0.08059    474.503     474.797    -117.635    -97.426
          (STRAIN)              5.604E-04   5.608E-04  -2.686E-04  -2.686E-04
  2      42.00000    0.05976     33.354      33.809     -82.351    -69.003
          (STRAIN)              4.822E-04   4.853E-04  -3.167E-04  -3.167E-04
  2      62.00500    0.05019     19.229      19.700       0.193      0.948
          (STRAIN)              4.626E-04   4.797E-04  -2.275E-04  -2.275E-04
  3       0.00000    0.08189    550.000    1033.665    583.618    1018.782
          (STRAIN)              -2.374E-04  3.927E-04  -2.374E-04  3.719E-04
  3       4.99500    0.08059    474.613     474.907    -116.533    -96.392
          (STRAIN)              5.597E-04   5.601E-04  -2.679E-04  -2.679E-04
  3       5.00000    0.08059    474.503     474.797    -117.635    -97.426
          (STRAIN)              5.604E-04   5.608E-04  -2.686E-04  -2.686E-04
  3      42.00000    0.05976     33.354      33.809     -82.351    -69.003
          (STRAIN)              4.822E-04   4.853E-04  -3.167E-04  -3.167E-04
  3      62.00500    0.05019     19.229      19.700       0.193      0.948
          (STRAIN)              4.626E-04   4.797E-04  -2.275E-04  -2.275E-04
```