

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH VOLUME LALU LINTAS TERHADAP UMUR SISA  
LAYAN LAPIS PERKERASAN BERDASARKAN METODE  
MEKANISTIK EMPIRIS**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

**DAHLIA  
FI1222033**

**TESIS**

Untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Teknik  
Program Studi Magister Teknik Sipil dan Telah disetujui oleh Tim Pembimbing  
pada tanggal 26 September 2025

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Dr. Ir. Arief Setiawan, S.T., M.T.**  
NIP. 19750621 200312 1 003

Pembimbing Pendamping,



**Dr. Novita Pradani, S.T., M.T.**  
NIP. 19811128 200604 2 002

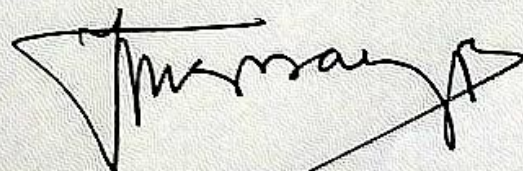
Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Tadulako,



**Ir. Andi Achmad Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 19740323 199903 1 002

Koordinator Prodi Magister Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,



**Prof. Dr. Ir. I Wayan Sutapa, M.Eng.**  
NIP. 19660605 199802 1 001

**PENGARUH VOLUME LALU LINTAS TERHADAP UMUR  
SISA LAYAN LAPIS PERKERASAN BERDASARKAN  
METODE MEKANISTIK EMPIRIS**

**THE EFFECT OF TRAFFIC VOLUME ON REMAINING  
SERVICE LIFE BASED ON  
EMPIRICAL MECHANISTIC METHOD**

**DAHLIA**

**TESIS**

**Untuk memenuhi salah satu syarat  
guna memperoleh gelar Magister Teknik  
pada Program Studi Teknik Sipil Program Magister**



**PASCASARJANA  
UNIVERSITAS TADULAKO  
PALU  
2025**

**PENGARUH VOLUME LALU LINTAS TERHADAP UMUR  
SISA LAYAN LAPIS PERKERASAN BERDASARKAN  
METODE MEKANISTIK EMPIRIS**

**Oleh  
DAHLIA  
Nomor Stambuk: F 112 22 033**

**TESIS**

**Untuk memenuhi salah satu syarat  
guna memperoleh gelar Magister Teknik  
pada Program Studi Teknik Sipil Program Magister**



**PASCASARJANA  
UNIVERSITAS TADULAKO  
PALU  
2025**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala, Tuhan Yang Maha Esa karena hanya dengan RahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul **“Pengaruh Volume Lalu Lintas Terhadap Sisa Umur Layan Lapis Perkerasan Berdasarkan Metode Mekanistik Empiris”** sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Universitas Tadulako.

Dalam menyelesaikan penyusunan Tesis ini, penulis telah banyak menerima bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut membantu, khusus kepada Bapak **Dr. Ir. Arief Setiawan, ST., MT** selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu **Dr. Novita Pradani, ST., MT** selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama proses penyusunan Tesis ini. Ucapan terima kasih yang tak terhingga juga penulis berikan kepada terutama untuk mamaku tersayang Hapipah Djaelangkara atas doa- doanya disetiap hembusan nafasnya untuk kelancaran dan semangatnya, begitupula keluarga tercinta suami Amir HN. Pakedo dan anak- anakku Nabila Putri Ammalia, Muh. Dzaky Faturrahman, Muh. Dzakwan Zaidi dan Muh Risky Alghifary yang selalu mendoakan mama dan memberi support serta teman-teman angkatan Magister Teknik Sipil atas semua semangat, sahabatku Rosmiaty Bugik (Ocha) dan Titik Handayani, bu Filda, dan teman- teman Laboratorium PU Kota Palu yang sudah banyak membantu dan mensupport untuk penulis sehingga dapat

menyelesaikan Tesis ini dan meraih gelar Magister. Semoga Allah SWT senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Aamiin yaa rabbal ‘aalamiin.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih ada kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya serta mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat buat orang lain.

Palu, September 2025  
Penulis

**DAHLIA**  
**F 112 22 033**

**PENGESAHAN**  
**PENGARUH VOLUME LALU LINTAS TERHADAP UMUR**  
**SISA LAYAN LAPIS PERKERASAN BERDASARKAN**  
**METODE MEKANISTIK EMPIRIS**

Oleh  
**DAHLIA**  
Nomor Stambuk: F 112 22 033

**TESIS**

Untuk memenuhi salah satu syarat  
guna memperoleh gelar Magister Teknik  
pada Program Studi Teknik Sipil Program Magister

Telah Disetujui Oleh Pembimbing Pada Tanggal  
Seperti Tertera Dibawah Ini

Palu,    September 2025

(Dr. Ir. Arief Setiawan, ST., MT)  
**Pembimbing I**

(Dr. Novita Pradani, ST., MT)  
**Pembimbing II**

**Mengetahui,**

(Prof. Dr. Ir. I Wayan Sutapa, M.Eng.)  
**Koordinator Program Studi Teknik Sipil**  
**Program Magister Teknik Sipil**

## ABSTRAK

*Dahlia, F.112 22 033, “Pengaruh Volume Lalu Lintas Terhadap Umur Sisa Layan Lapis Perkerasan Berdasarkan Metode Mekanistik Empiris”. Dibimbing oleh Arief setiawan dan Novita Pradani*

Jalan Hangtuah yang berada di wilayah kota Palu merupakan salah satu ruas jalan yang menghubungkan antara Kelurahan Talise dan Kelurahan Tondo. Pada ruas ini mengalami kerusakan sehingga perlu diketahui berapa nilai lendutan maksimum dan minimum. Dalam analisis ini yang perlu dikaji adalah nilai tegangan dan regangan pada struktur perkerasan dan pada akhirnya kita bisa mengetahui sisa umur layan jalan tersebut dan solusi penanganannya. Penelitian ini menggunakan metode mekanistik empiris dengan program *Kenpave - Kenlayer* yakni dengan mendekripsikan dan menggambarkan data sampel dengan hasil pengujian di lapangan. Analisis yang digunakan berupa data primer yaitu lendutan dari hasil pengujian alat *Benklemen Beam* (BB) dan CBR hasil pengujian dengan alat *Dynamic cone penetrometer* (DCP). Hasil dari perhitungan lendutan BB diperoleh lendutan maksimum pada STA 0+500 sebesar 0.325 mm dan lendutan minimum pada STA 0+700 sebesar 0.168 mm. Dengan usulan penanganan pemeliharaan rutin dengan overlay *non struktural* pada perkerasan lentur. Sehingga bisa mengakomodir peningkatan volume lalu lintas selama 10 (sepuluh) tahun.

Kata kunci: *Kenpave- Kenlayer*, Sisa Umur layan, penanganan Perkerasan

## ***ABSTRACT***

*Dahlia, F.112 22 033, "The Effect of Traffic Volume on the Remaining Service Life of Pavements Based on the Empirical Mechanistic Method." Supervised by Arief Setiawan and Novita Pradani*

Hangtua Street in Palu City is a road section connecting Talise and Tondo. This section is damaged, requiring knowledge of the maximum and minimum deflection values. This analysis examines the stress and strain values in the pavement structure, ultimately determining the remaining service life and potential solutions. This study uses an empirical mechanistic method with the Kenpave-Kenlayer program, which decrypts and describes sample data along with field test results. The analysis uses primary data, namely deflection from Benklemen Beam (BB) testing and CBR from Dynamic Cone Penetrometer (DCP) testing. The results of the BB deflection calculation showed a maximum deflection of 0.325 mm at STA 0+500 and a minimum deflection of 0.168 mm at STA 0+700. With the proposed routine maintenance treatment using a non-structural overlay on the flexible pavement, this can accommodate increased traffic volumes over a 10-year period.

Keywords: Kenpave-Kenlayer, Remaining Service Life, Pavement Maintenance

## DAFTAR ISI

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>KATA PENGANTAR</b>                                                                                     | i   |
| <b>PENGESAHAN</b>                                                                                         | iii |
| <b>ABSTRAK</b>                                                                                            | iv  |
| <b>DAFTAR ISI</b>                                                                                         | vi  |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                                                                                       | ix  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                                                                                      | xi  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b>                                                                                    | xii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                                                                  | 1   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                                                  | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                                                 | 2   |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                                                               | 3   |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                                                              | 3   |
| 1.5 Batasan Masalah .....                                                                                 | 3   |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                                                                           | 4   |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN</b>                                                     | 5   |
| 2.1 Penelitian Terdahulu .....                                                                            | 5   |
| 2.2 Tinjauan Pustaka .....                                                                                | 17  |
| 2.2.1 Perkerasan Lentur .....                                                                             | 17  |
| 2.2.2 Pengujian lendutan Benkelmen Beam di Lapangan.....                                                  | 23  |
| 2.2.3 Lalu Lintas Harian Rata Rata .....                                                                  | 24  |
| 2.2.4 Metode Mekanistik Empiris .....                                                                     | 27  |
| 2.2.5 Nilai Sisa Umur Rencana ( <i>Remaining life</i> ) .....                                             | 34  |
| 2.2.6 Pendekatan Boussinesq Theory dalam Menentukan<br>Regangan dan Lendutan pada Perkerasan Lentur ..... | 35  |
| 2.3 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024.....                                                | 37  |
| 2.4 Metode <i>Surface Distress Index</i> (SDI) .....                                                      | 38  |
| 2.5 Kerangka Pemikiran .....                                                                              | 39  |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>                                                                          | 41 |
| 3.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian .....                                                                     | 41 |
| 3.2 Bagan Alir Penentuan Sisa Umur Layan .....                                                            | 42 |
| 3.3 Populasi dan Teknik Pengambilan Sampel .....                                                          | 44 |
| 3.4 Oprasionalisasi Konsep .....                                                                          | 47 |
| 3.5 Metode Mekanistik Empiris dengan Program KENPAVE.....                                                 | 47 |
| 3.6 Jenis dan Sumber Data .....                                                                           | 48 |
| 3.7 Teknik Pengumpulan Data .....                                                                         | 49 |
| 3.8 Instrumen Penelitian atau Bahan dan Alat .....                                                        | 50 |
| 3.9 Teknik Analisis Data .....                                                                            | 50 |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                                                        | 52 |
| 4.1 Analisis Data Metode Mekanistik Empiris dengan Kenpave<br>Kenlayer .....                              | 52 |
| 4.1.1 Analisis Data Lendutan.....                                                                         | 52 |
| 4.1.2 Analisis Data Lalu Lintas .....                                                                     | 55 |
| 4.1.3 Penambahan Komposisi Lalu Lintas .....                                                              | 59 |
| 4.1.4 Analisis Hasil Pengujian <i>Core Drill</i> .....                                                    | 62 |
| 4.1.5 Analisis Hasil Pengujian Tanah Dasar .....                                                          | 63 |
| 4.2 Analisis Tebal Perkerasan Eksisting Menggunakan Metode<br>Mekanistik Empiris (Kenpave-Kenlayer) ..... | 65 |
| 4.2.1 Perhitungan Nilai Moduus Elastisitas .....                                                          | 65 |
| 4.2.2 Penentuan Titik Kritis Lapis Perkerasan .....                                                       | 69 |
| 4.2.3 Penentuan Sisa Umur Layan Lapis Perkerasan <i>Eksisting</i> .....                                   | 75 |
| 4.2.4 Kontrol Jumlah Beban Gandar Perkerasan <i>Existing</i> .....                                        | 78 |
| 4.2.5 Kontrol Umur Layan Perkerasan <i>Existing</i> .....                                                 | 79 |
| 4.2.6 Kontrol Penambahan Volume Lalu Lintas Pada Perkerasan<br><i>Existing</i> .....                      | 80 |
| 4.3 Penentuan Tebal lapis Perkerasan .....                                                                | 82 |
| 4.3.1 Kondisi Lalu Lintas .....                                                                           | 82 |
| 4.3.2 Analisis Lalu Lintas .....                                                                          | 82 |
| 4.3.3 Analisis Pemicu Penanganan .....                                                                    | 83 |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> | <b>87</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....              | 87        |
| 5.2 Saran .....                   | 87        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>       | <b>88</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>                   |           |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Penelitian terdahulu.....                                                                                  | 7  |
| Tabel 2.2 Data LHR Kota Palu Jalan Hangtuah.....                                                                     | 24 |
| Tabel 2.3 Faktor distribusi lajur (DL) .....                                                                         | 26 |
| Tabel 2.4 Kriteria penilaian kondisi jalan berdasarkan metode SDI.....                                               | 38 |
| Tabel 2.5 Kriteria jenis penanganan jalan berdasarkan metode SDI .....                                               | 38 |
| Tabel 3.1 Parameter dan variabel penelitian .....                                                                    | 48 |
| Tabel 3.2 Teknik pengumpulan data .....                                                                              | 49 |
| Tabel 4.1 Nilai Lendutan BB terkoreksi (dB) .....                                                                    | 54 |
| Tabel 4.2 Proyeksi volume lalu lintas rata-rata (LHR) Jalan Hangtuah .....                                           | 55 |
| Tabel 4.3 Nilai R selama umur rencana .....                                                                          | 55 |
| Tabel 4.4 Jumlah kendaraan Tahun 2025 .....                                                                          | 57 |
| Tabel 4.5 Prediksi jumlah kendaraan selama umur rencana .....                                                        | 58 |
| Tabel 4.6 Rekapitulasi jumlah kendaraan selama umur rencana .....                                                    | 59 |
| Tabel 4.7 Volume lalu lintas rata-rata (LHR) dengan penambahan kendaraan<br>sebesar 100% dari lalu lintas real ..... | 59 |
| Tabel 4.8 Volume lalu lintas dengan penambahan kendaraan 100% kondisi lalu<br>lintas real.....                       | 60 |
| Tabel 4.9 Prediksi beban sumbu standar dengan penambahan volume lalu lintas<br>100%.....                             | 61 |
| Tabel 4.10 Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas Jalan Hangtuah .....                                           | 62 |
| Tabel 4. 11 Nilai CBR Perkerasan jalan menggunakan DCP terkoreksi.....                                               | 63 |
| Tabel 4.12 Modulus elastisitas perkerasan.....                                                                       | 68 |
| Tabel 4.13 Nilai modulus elatisitas maksimum dan minimum .....                                                       | 68 |
| Tabel 4.14 Parameter tebal lapis perkerasan Dmax Jalan Hangtua .....                                                 | 70 |
| Tabel 4.15 Parameter tebal lapis perkerasan .....                                                                    | 71 |
| Tabel 4.16 Titik Kritis Lapis Perkerasan.....                                                                        | 72 |
| Tabel 4.17 Input Parameter layer .....                                                                               | 73 |
| Tabel 4.18 Input Moduli dmax Jalan Hangtua .....                                                                     | 73 |
| Tabel 4.19 Input Moduli dmin Jalan Hangtua.....                                                                      | 74 |
| Tabel 4.20 Koordinat NPT .....                                                                                       | 75 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.21 Hasil analisis perkerasan Existing dengan Kenlayer $\delta_{Max}$ STA 0+500<br>dengan beban standar pada Jalan Hangtuah..... | 76 |
| Tabel 4.22 Hasil perkerasan <i>existing</i> dengan kenlayer $d_{min}$ pada STA 0+700<br>dengan beban standar pada Jalan Hangtuah.....   | 77 |
| Tabel 4.23 Rekapitulasi regangan dan tegangan $d_{max}$ pada STA 0+500 .....                                                            | 77 |
| Tabel 4.24 Rekapitulasi tegangan dan regangan $\delta_{min}$ STA 0+700 Jalan Hangtua                                                    | 78 |
| Tabel 4.25 Hasil perhitungan sisa umur layanan perkerasan .....                                                                         | 80 |
| Tabel 4.26 Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas sebesar 100% terhadap<br>sisa umur layan.....                                     | 81 |
| Tabel 4.27 Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas sebesar 150% terhadap<br>sisa umur layan.....                                     | 81 |
| Tabel 4.28 Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas sebesar 200% terhadap<br>sisa umur layan.....                                     | 81 |
| Tabel 4.29 Data lalu lintas Jalan Hangtua .....                                                                                         | 82 |
| Tabel 4.30 Proyeksi volume lalu lintas rata-rata (LHR) Jalan Hangtua .....                                                              | 82 |
| Tabel 4.31 Nilai R selama umur rencana .....                                                                                            | 83 |
| Tabel 4.32 Jumlah LHR tahunan.....                                                                                                      | 83 |
| Tabel 4.33 Rekapitulasi nilai lendutan wakil, $D_{Wakil}$ .....                                                                         | 84 |
| Tabel 4.34 Hasil Pengujian dengan Metode SDI .....                                                                                      | 86 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Komponen Lapisan Perkerasan Lentur .....                      | 17 |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Distribusi Beban pada Lapis Perkerasan .....        | 18 |
| Gambar 2.3 Jenis tanah dasar ditinjau dari muka tanah asli .....         | 22 |
| Gambar 2.4 Regangan pada perkerasan lentur.....                          | 28 |
| Gambar 2.5 Prosedur pendekatan metode mekanistik- empiris.....           | 29 |
| Gambar 2.6 Tampilan awal program kenpave .....                           | 31 |
| Gambar 2.7 Tampilan sub program kenlayer .....                           | 32 |
| Gambar 2.8 Struktur perkerasan lentur pada tanah asli .....              | 37 |
| Gambar 2.9 Kerangka pemikiran .....                                      | 40 |
| Gambar 3.1 Lokasi Penelitian .....                                       | 41 |
| Gambar 3.2 Bagan alir penentuan sisa umur layan perkerasan eksiting..... | 42 |
| Gambar 3.3 Lokasi titik pengujian DCP .....                              | 45 |
| Gambar 3.4 Proses pengambilan sampel <i>core drill</i> .....             | 46 |
| Gambar 3.5 Sampel <i>core drill</i> .....                                | 46 |
| Gambar 3.6 Tebal perkerasan <i>Existing</i> .....                        | 46 |
| Gambar 4.1 Variasi nilai lendutan Jalan Hangtuah .....                   | 53 |
| Gambar 4.2 Sampel pengujian <i>core drill</i> .....                      | 62 |
| Gambar 4.3 Kegiatan Pengujian DCP.....                                   | 64 |
| Gambar 4.4 Kedalaman titik pengujian CBR tanah dasar .....               | 64 |
| Gambar 4.5 Titik tinjau kedalaman kerusakan.....                         | 72 |
| Gambar 4.6 Ilustrasi titik tinjau analisis .....                         | 72 |
| Gambar 4.7 <i>Plan veiw of multiple wheels</i> .....                     | 74 |
| Gambar 4.9 Lapis Tambah Nonstruktural.....                               | 85 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                                                                                                                         |      |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| A | Hasil Perhitungan Analisis Data Lendutan Maksimum ( $\delta_{Max}$ ) Uji BB untuk memperoleh Modulus Elastisitas menggunakan persamaan Boussinesq ..... | I    |
| B | Hasil Analisis Kenpave STA 0+500 .....                                                                                                                  | II   |
| C | Hasil Analisis Kenpave STA 0+700 .....                                                                                                                  | III  |
| D | Beban Sumbu Standart Kumulatif dengan Penambahan LHR 100% .....                                                                                         | IV   |
| E | Prediksi beban Sumbu Standar Kumulatif dengan Penambahan LHR100% ....                                                                                   | V    |
| F | Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 150% .....                                                                                 | VI   |
| G | Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 150% .....                                                                                 | VII  |
| H | Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 200% .....                                                                                 | VIII |
| I | Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 200% .....                                                                                 | IX   |
| J | Data SDI .....                                                                                                                                          | X    |
| K | Lendutan Pemicu untuk penanganan lapis perkerasan .....                                                                                                 | XI   |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkerasan jalan sebagai komponen dari prasarana transportasi salah satunya berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan, karena itu struktur perkerasan memiliki nilai stabilitas yang tinggi, kokoh dan tahan terhadap pengaruh lingkungan ataupun cuaca selama umur rencana jalan (Sukirman, 2010). Kerusakan jalan dapat disebabkan oleh 4 hal yaitu material konstruksi, Lalu lintas, air dan iklim. Salah satu yang mempengaruhi terhadap kerusakan jalan semakin banyak lalu lintas yang melintas, semakin banyak beban yang melalui jalan tersebut (Departemen PU, 1987).

Dengan bertambahnya manusia akan berakibat terhadap bertambahnya volume lalu lintas (LHR) yang menyebabkan berpengaruhnya sisa umur jalan (Arbani, 2018). Peningkatan volume lalu lintas kendaraan roda 2, roda 4 ataupun lebih dapat mempengaruhi kondisi perkerasan jalan dengan adanya beberapa titik yang mengalami kerusakan sehingga pergerakan barang jasa dan orang tidak nyaman dan dapat mengurangi umur rencana jalan.

MDP 2024 menggunakan pendekatan mekanistik empirik dalam perancangan perkerasan lentur dengan keluaran berupa katalog struktur.

Perancangan perkerasan kaku dalam MDP 2024 menggunakan metode mekanistik empirik dari Portland Cement Association. Pada perancangan perkerasan kaku,

analisis struktur perkerasan dengan perangkat lunak seperti SDPJ (Software Design Perkerasan Jalan) disarankan, dengan tambahan desain rehabilitasi.

MDP 2024 ini bertujuan untuk menentukan parameter perancangan dan pelaksanaan perkerasan jalan serta menetapkan prosedur perancangan struktur perkerasan baru dan rehabilitasi baik pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku sehingga sesuai dengan umur layan (service life) yang ditetapkan.

Jalan Hangtua yang berada di wilayah kota Palu merupakan salah satu ruas jalan yang menghubungkan antara Kelurahan Talise dan Kelurahan Tondo yang merupakan penghubung Palu Timur dan Palu Utara. Dengan jenis kendaraan yang melintasi ruas tersebut bermacam-macam ukuran dan tata guna lahan yang ada di ruas Jalan Hangtua adalah adanya kampus UNISMUH, warung makan, toko dan akses ke Vila Sutan Raja. Pada ruas Jalan Hangtua ada beberapa titik yang mengalami kerusakan seperti berlubang yang dapat mempengaruhi sisa umur layan jalan tersebut. Oleh karena itu penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana sisa umur layan jalan tersebut yang diakibatkan peningkatan volume lalu lintas dengan menggunakan metode mekanis empiris.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana lendutan yang terjadi pada Jalan Hangtuah?
2. Bagaimana sisa umur layan Jalan Hangtuah setelah mengalami penambahan volume lalu lintas?
3. Bagaimana penambahan tebal lapis / overlay pada Jalan Hangtuah?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui lendutan maximum dan lendutan minimum pada Jalan Hangtuah
2. Untuk mengetahui berapa sisa umur layan Jalan Hanguah
3. Untuk mengetahui berapa tebal lapis tambah/overlay pada Jalan Hangtuah

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yaitu :

1. Manfaat teoritis, memberikan tambahan referensi keilmuan dalam pengembangan ilmu pengetahuan bidang teknik sipil, khususnya analisis perkerasan menggunakan metode pendekatan mekanistik berdasarkan MDPJ 2024 dalam memprediksi kerusakan dan sisa umur layan.
2. Manfaat praktis, memberikan kemudahan dalam menyusun perencanaan maupun anggaran rehabilitasi dan pemeliharaan jalan berdasarkan tingkat kerusakan dan sisa umur rencana yang tersedia.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Wilayah yang ditinjau adalah Jalan Hangtuah dengan Panjang 1480 m
2. Pengujian dengan Benklemen Beam untuk mengetahui lendutan pada lapis permukaan
3. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode empiris untuk mengetahui sejauh mana sisa umur layan jalan tersebut yang diakibatkan peningkatan volume lalu lintas.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan Batasan masalah.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN**

Berisi teori-teori yang berkaitan dengan rumusan masalah, diuraikan mengenai teori yang akan mendukung penelitian, sehingga dari teori yang dikemukakan, pertanyaan penelitian yang diangkat dapat terjawab walaupun masih bersifat teoritis.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Terdiri dari tahapan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian, populasi, sampel dan penentuan sampel, sumber dan teknik penarikan sampel, jenis dan sumber data, definisi operasional variabel, instrument penelitian dan Teknik Analisa data.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang sejauh mana sisa umur layan jalan tersebut yang diakibatkan peningkatan volume lalu lintas dengan menggunakan metode mekanis empiris.

### **BAB V PENUTUP DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh berdasarkan hasil analisis pada bab sebelumnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Menurut (Rafi Sugema, dan Robi Maulana, 2024) bahwa MDP 2024 lebih efektif daripada AASHTO 1993 dalam desain perkerasan jalan lentur, dengan pengurangan tebal dan emisi karbon. Selain memberikan efisiensi material, MDP 2024 juga lebih cocok untuk kondisi tanah dan iklim tropis Indonesia, yang berperan penting dalam mendukung transportasi berkelanjutan. Penggunaan material daur ulang, seperti Recycled Asphalt Pavement (RAP), membantu mengurangi limbah dan emisi, menjadikannya lebih ramah lingkungan dibandingkan AASHTO 1993. Untuk mendukung implementasi MDP 2024, perlu ditingkatkan adopsi teknologi daur ulang seperti Cold In-Place Recycling (CIPR) serta perbaikan data geoteknik di berbagai wilayah Indonesia.

Rafi Sugema, dan Robi Maulana (2024) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa MDP 2024 lebih efektif daripada AASHTO 1993 dalam desain perkerasan jalan lentur, dengan pengurangan tebal dan emisi karbon. Selain memberikan efisiensi material, MDP 2024 juga lebih cocok untuk kondisi tanah dan iklim tropis Indonesia, yang berperan penting dalam mendukung transportasi berkelanjutan. Penggunaan material daur ulang, seperti Recycled Asphalt Pavement (RAP), membantu mengurangi limbah dan emisi, menjadikannya lebih ramah lingkungan dibandingkan AASHTO 1993. Untuk mendukung implementasi MDP 2024, perlu ditingkatkan adopsi teknologi daur ulang seperti

*Cold In-Place Recycling (CIPR)* serta perbaikan data geoteknik di berbagai wilayah Indonesia.

Bhattacharya & Deshmukh, (2014) meninjau kerusakan rutting yang terjadi pada jalur *BRT* dengan alat *benkelmen test*, setelah itu data yang diperoleh dianalisis menggunakan program *Kenpave*. Alternatif penanganan dengan pemakaian material untuk perkerasan lentur seperti: *Stone Matrix Asphalt (SMA)*, *Flexible Pavement with Mastic Asphalt*, *Flesible Pavement reinforced with Glass Fibre Grid*, *Paver Block*, dan *Rigid Pavement (PQC)*.

**Tabel 2.1** Penelitian terdahulu

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                         | Nama dan Tahun Penelitian                                                                      | Metode Yang Digunakan      | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Studi alternatif perencanaan tebal perkerasan lentur pada ruas Jalan kembur - paka – nceang kecamatan borong, manggarai timur<br>Dengan metode mdpj 2024 | Deswita Maharani A.<br>Rayid, Azizah<br>Rokhmawati dan<br>Azizah Ita Suhermin<br>Ingsih (2025) | Dengan metode MDPJ<br>2024 | Dari Hasil Perhitungan Lalu lintas (LHR) angka Ekvivalen Kendaraan dan pertumbuhan lalu lintas diperoleh nilai CESAL $1.024.872,344=10,246$<br>Ketebalan perkerasan yang diperoleh untuk Perkerasan pada ruas jalan Kembur Paka Nceang diperoleh : AC-WC (Asphaltic Concrete Wearing Course) = 40 mm<br>a. AC-BC (Asphaltic Concrete Binder Course) = 60 mm<br>b. AC Base (Asphaltic Concrete Baser Course) = 145 mm<br>c. LPA (Lapis Fondasi Atas) Kelas A = 300 mm<br>Faktor Lingkungan Faktor lingkungan seperti curah hujan tinggi turut memengaruhi ketahanan perkerasan jalan. Oleh karena itu, perlu adanya perhatian terhadap drainase yang memadai untuk memperpanjang umurlayanan jalan |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                               | Nama dan Tahun Penelitian            | Metode Yang Digunakan           | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan | Rafi Sugema, dan Robi Maulana (2024) | Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 | Penelitian ini menunjukkan bahwa MDP 2024 lebih efektif daripada AASHTO 1993 dalam desain perkerasan jalan lentur, dengan pengurangan tebal dan emisi karbon. Selain memberikan efisiensi material, MDP 2024 juga lebih cocok untuk kondisi tanah dan iklim tropis Indonesia, yang berperan penting dalam mendukung transportasi berkelanjutan. Penggunaan material daur ulang, seperti Recycled Asphalt Pavement (RAP), membantu mengurangi limbah dan emisi, menjadikannya lebih ramah lingkungan dibandingkan AASHTO 1993. Untuk mendukung implementasi MDP 2024, perlu ditingkatkan adopsi teknologi daur ulang seperti Cold In-Place Recycling (CIPR) serta perbaikan data geoteknik di berbagai wilayah Indonesia. |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                               | Nama dan Tahun Penelitian     | Metode Yang Digunakan                                                                                 | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. | Analisis perbandingan desain mekanistik empiris struktur perkerasan lentur dengan pemodelan elastik dan viskoelastik studi kasus pada ruas jalan Milir-Sentolo | Muh Iqbal Fajar Satria (2022) | Menggunakan metode mekanistik-empiris yaitu Program Kenpave dengan pemodelan elastik dan viskoelastik | Pada pemodelan viskoelastik untuk perkerasan lentur eksisting dalam menggunakan Program Kenpave didapatkan respon tegangan dan regangan pada kerusakan permanent deformation di kedalaman 60,005 cm sebesar 0,000177 kPa, dan kerusakan fatigue cracking di kedalaman 29,995 sebesar 0,000142 kPa. Kerusakan tersebut akan terjadi pada beban repetisi sebesar 483.817.902,7 ESAL sampai terjadi fatigue cracking dan 85.478.748 sampai terjadi permanent deformation. Pada pemodelan elastik, perkerasan lentur eksisting didapatkan respon tegangan dan regangan pada kerusakan permanent deformation di kedalaman 60,005 cm sebesar 0,000155 kPa dan kerusakan fatigue cracking di kedalaman 29,995 sebesar 0,000114 kPa. Kerusakan tersebut akan terjadi pada beban repetisi sebesar 1.141.579.498 ESAL sampai terjadi fatigue cracking dan 154.797.390 ESAL sampai terjadi permanent deformation. |

| No | Judul Penelitian                                                                                                     | Nama dan Tahun Penelitian | Metode Yang Digunakan                                                      | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. | Kinerja struktural jalan yos sudarso kota palu dengan metode mekanistik empirik menggunakan program Kenpave-kenlayer | Tiara Septiana (2024)     | Menggunakan metode mekanistik empirik menggunakan program Kenpave-kenlayer | 1. Kinerja stuktural berupa lendutan yang terjadi di setiap lapisan perkerasan pada STA 0+250 dan 0+750 untuk arah Selatan-Utara dan STA 0+875 dan 0+625 arah Utara-Selatan pada 3 titik tinjauan di bawah ban, di ujung ban dan di space tengah antara kedua ban dan kedalaman 0; 0,001 dan 5 cm, lendutan maksimum terjadi tepat di bawah ban, dan sebaliknya pada kedalaman 10; 14; 19,999; 20; 50; 70 dan 70,001 cm tepat di bawah ban justru mengalami lendutan minimum di bandingkan 2 titik tinjauan lainnya. |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                        | Nama dan Tahun Penelitian | Metode Yang Digunakan                             | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. | Evaluasi kondisi perkerasan dengan metode pavement condition index (PCI) dan metode mekanistik-empirik pada jalan Kapten Haryadi Sleman | Nuzullul Aghniya (2023)   | Menggunakan metode Pavement Condition Index (PCI) | Berdasarkan pengamatan pada ruas Jalan Kapten Haryadi, terdapat 9 jenis kerusakan, antara lain adalah retak kulit buaya ( <i>alligator cracking</i> ), amblas ( <i>depression</i> ), retak pinggir ( <i>edge cracking</i> ), lubang ( <i>pothole</i> ), tambalan ( <i>patching end utility cut patching</i> ), agregat licin ( <i>polished aggregate</i> ), bahu jalan turun ( <i>shoulder drop off</i> ), retak memanjang/melintang ( <i>transversal/longitudinal cracking</i> ), serta pelapukan dan butir lepas ( <i>weathering and ravelling</i> ). Perkerasan pada ruas Jalan Kapten Haryadi tergolong pada kondisi sedang ( <i>fair</i> ) dengan nilai <i>PCI</i> tertinggi sebesar 77 dalam <i>rating excellent</i> dan terendah sebesar 22 dalam <i>rating very poor</i> . Jenis kerusakan yang dominan adalah retak kulit buaya dengan persentase <i>density</i> sebesar 15,22% dan tambalan dengan persentase sebesar 12,80% dari luas permukaan jalan yang diamati. |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                                             | Nama dan Tahun Penelitian       | Metode Yang Digunakan                                                  | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6. | Evaluasi kinerja perkerasan lentur dan nilai sisa berdasarkan metode Bina Marga 2017 menggunakan program Kenpave pada ruas jalan Tawang-ngalang I STA 0+000 sampai STA 1-950 | Muhammad Farhan Arrahman (2023) | Menggunakan metode Bina Marga 2017 yang dikontrol oleh program KENPAVE | Tebal lapis perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017 mendapatkan tebal perkerasan untuk skenario 1 A yaitu pada lapis permukaan AC – WC sebesar 4 cm. Tebal AC – BC sebesar 6 cm dan AC – Base sebesar 21 cm. Pada Lapisan pondasi menggunakan LFA Kelas A sebesar 30 cm. Pada skenario 2 A untuk lapis permukaan AC – WC sebesar 4 cm dan AC – Base sebesar 18,5 cm. Tebal lapis pondasi atas menggunakan CTB dengan tebal 15 cm dan pada lapis pondasi bawah menggunakan LFA Kelas A tebal 15 cm. Nilai regangan yang terjadi pada perkerasan eksisting yang menyebabkan terjadinya kerusakan berupa <i>fatigue cracking</i> terjadi sebesar 0,0001754 pada kedalaman 17,9997 cm terletak pada bagian lapisan bawah permukaan. Pada kedalaman tersebut terjadi kerusakan <i>rutting</i> sebesar 0,0002306. Kemudian pada kedalaman 48,0003 cm mendapatkan regangan sebesar 0,0002400 yang menyebabkan kerusakan <i>permanent deformation</i> . |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                                                                | Nama dan Tahun Penelitian                   | Metode Yang Digunakan                                                        | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7. | Evaluasi kondisi perkerasan menggunakan pavement condition index (PCI) dan prediksi umur pelayanan jalan dengan pemodelan viskielastik (studi kasus jalan Koroulon-Joholanang STA 0+000 – 1+000 | Hasna<br>Rakhmatika<br>Nurul Azmi<br>(2024) | Menggunakan metode empiris menggunakan metode Pavement Condition Index (PCI) | Berdasarkan survei dan pengamatan dengan metode PCI, dapat diketahui bahwa tingkat kerusakan perkerasan pada Ruas Jalan Koroulon–Joholanang termasuk pada kategori poor dengan nilai akhir PCI sebesar 51,45. Berdasarkan analisis dengan pemodelan viskoelastik pada aplikasi KENPAVE, diketahui bahwa respons tegangan dan regangan pada Ruas Jalan Koroulon-Joholanang untuk kerusakan fatigue cracking adalah sebesar 0,00007276 kPa, untuk kerusakan rutting sebesar 0,00006409 kPa, dan untuk kerusakan permanent deformation sebesar 0,0003775 kPa. Berdasarkan respons tegangan dan regangan, jumlah repetisi beban maksimum yang dapat ditahan pada ruas Jalan Koroulon-Joholanang adalah sebesar 2.885ESAL sebelum terjadinya kerusakan permanent deformation, 8.093.429.825 ESAL sebelum terjadinya kerusakan rutting, dan sebesar 15.294.881.417 ESAL sebelum terjadinya kerusakan fatigue cracking, |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                          | Nama dan Tahun Penelitian        | Metode Yang Digunakan                                                | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8. | Analisis perbandingan desain struktur perkerasan lentur menggunakan metode empiris dan metode mekanistik empiris pada ruas jalan Legundi-Kanigoro-Planjan | Annisa Pradnya Widiastuti (2018) | Menggunakan metode mekanistik-empiris dibantu dengan program Kenpave | Perkerasan alternatif berdasarkan desain Bina Marga 2017, diperoleh nilai CESA4 yang dihasilkan sebesar 65284092,75 Esal, sedangkan CESA5 yang dihasilkan sebesar 82321379,18 Esal. Lalu berdasarkan hasil dari CESA tersebut didapatkan jenis pekerasan yang digunakan adalah jenis perkerasan AC-WC modifikasi atau modifikasi dengan CTB dengan syarat menggunakan kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai. Untuk perkerasan eksisting didapatkan jumlah nilai beban pengulangan permanent deformation sebesar 70.820.724 Esal. Dengan nilai beban pengulangan permanent deformation sebesar 70.820.724 Esal didapatkan umur layan sebesar 18 tahun dimana angka tersebut tidak memenuhi angka umur rencana yang sudah ditetapkan, yaitu sebesar 20 tahun. Dikarenakan perkerasan eksisting tidak dapat memenuhi angka umur rencana, maka pada penelitian ini dibuatlah struktur perkerasan alternatif dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dengan jumlah nilai beban pengulangan permanent deformation 139.684.993 Esal dan dapat dianalisis dan diperoleh umur perkerasan sebesar 28 tahun, dimana angka tersebut melampaui angka umur rencana yang direncanakan pada Bina Marga 2017 yaitu 20 tahun. |

| No | Judul Penelitian                                                                                                                                                                                                                                              | Nama dan Tahun Penelitian  | Metode Yang Digunakan                                                   | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9. | Evaluasi kondisi perkerasan dan prediksi sisa umur perkerasan lentur dengan menggunakan pavement condition index (PCI) Bina Marga dan metode mekanistik-empirik dengan program Kenpave (Studi kasus Ruas Jalan Magelang – Yogyakarta Sta 11±000 – Sta 12±000) | Apriyadi Dwi Widodo (2018) | Menggunakan metode Pavement Condition Index (PCI) dan metode Bina Marga | Dari pengamatan yang dilakukan pada ruas Jalan Magelang – Yogyakarta terdapat 15 jenis kerusakan, diantaranya <i>alligator cracking, bleeding, block cracking, corrugation, depression, joint reflection cracking, long &amp; trans cracking, oil spillage, patching, ravelling and weathering, rutting, potholes, shoving, dan slippage cracking</i> . Nilai kondisi pada perkerasan lentur pada ruas Jalan Magelang – Yogyakarta Sta 11 + 000 sampai Sta 12 + 000 tergolong pada kondisi ( <i>good</i> ) dengan nilai PCI = 60,6 dengan nilai <i>PCI</i> terendah sebesar 29 dan nilai <i>PCI</i> tertinggi 84. Jenis kerusakan yang banyak dijumpai pada perkerasan adalah <i>patching</i> dengan luas area 2032,4 m <sup>2</sup> atau 44 % dari total kerusakan yang ada. Penentuan jenis penanganan jalan yang dilakukan dengan menggunakan analisis nilai <i>PCI</i> dari kondisi visual jalan yang diperlukan adalah pemeliharaan rutin yaitu memperbaiki kerusakan jalan yang masih tergolong perbaikan kecil, karena menjaga jalan agar tetap pada kondisi yang baik dan mantap. Berdasarkan hasil data sekunder pada ruas Jalan Magelang – Yogyakarta untuk metode Bina Marga 2011 menggunakan parameter IRI dan SDI Adapun nilai kondisi perkerasan jalan masih tergolong baik dengan nilai IRI adalah 2,841 dan nilai SDI adalah 29,5. |

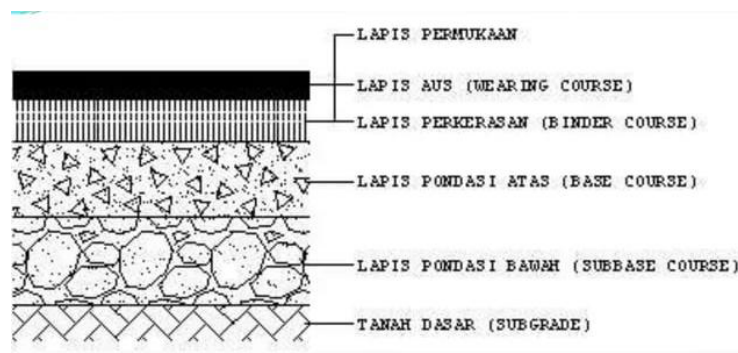
| No  | Judul Penelitian                                                                                                                                          | Nama dan Tahun Penelitian        | Metode Yang Digunakan                                                                 | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10. | Evaluasi rancangan struktur perkerasan untuk memprediksi umur layan menggunakan metode Bina Marga 2017, AASHTO 1993 dan metode mekanistik-empirik Kenpave | Niken Kristanti Pradasari (2023) | Menggunakan metode Bina Marga 2017, AASHTO 1993 dan metode mekanistik-empirik Kenpave | Kondisi perkerasn eksisting didapatkan CESA20 (Nr) selama umur rencana 20 tahun adalah 1.02E+08 ESAL. Evaluasi tegangan regangan yang terjadi dengan pemodelan Elastis untuk penyebab kerusakan berupa Fatigue Cracking dengan nilai repitisi beban sebesar 1.0E+09, Rutting dengan nilai repitisi beban sebesar 2.7E+08 dan Permanent Deformation dengan nilai repitisi beban sebesar 1.2E+07. Sedangkan dengan pemodelan Viskoelastic untuk penyebab kerusakan berupa Fatigue Cracking dengan nilai repitisi beban sebesar 5.9E+08, Rutting dengan nilai repitisi beban sebesar 2.6E+08 dan Permanent Deformation dengan nilai repitisi beban sebesar 1.1E+07. Desain sruktur perkerasan Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang dengan metode AASTO 1993 didapatkan ketebalan untuk AC-WC 9cm, AC-BC 16,5 cm, AC-Base 11.5 cm dan LPB 26,5 cm. Sedangkan dengan metode Bina Marga 2017 didapatkan ketebalan untuk AC-WC 4cm, AC-BC 6cm, AC-Base 24,5 dan LPA 30cm. Dari hasil di atas dapat disimpulkan desain tebal optimum yang mampu menahan beban selama umur rencana 20 tahun adalah dengan tebal desain alternatif 3 yaitu AC WC 4cm, AC BC 6 cm, AC Base 16cm, LPA 20 cm dan LPB 20 cm. |

## 2.2 Tinjauan Pustaka

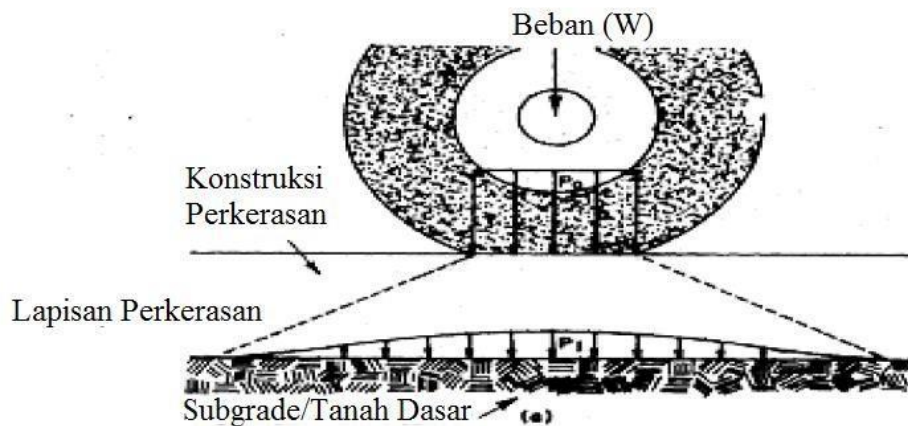
### 2.2.1 Perkerasan Lentur

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

Menurut Sukirman (1999) yang dimaksud dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Untuk komponen lapisan perkerasan lentur dan ilustrasi distribusi beban pada lapis perkerasan dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan 2.2 di bawah ini.



**Gambar 2.1** Komponen Lapisan Perkerasan Lentur  
**Sumber :** Sukirman, 2003



**Gambar 2.2** Ilustrasi Distribusi Beban pada Lapis Perkerasan

**Sumber :** Sukirman, 1999

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

1. Lapisan Permukaan (Surface Course)

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

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

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

a) Lapis Aus (Wearing Course)

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

- 1) Mengamankan perkerasan dari pengaruh air
- 2) Menyediakan permukaan yang halus
- 3) Menyediakan permukaan yang kesat

b) Lapis Antara (Binder Course)

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

Fungsi dari lapis antara sebagai berikut.

- 1) Mengurangi tegangan
- 2) Menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup

2. Lapisan Pondasi Atas (Base Course)

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

- a) Sebagai tempat meletakkan lapis permukaan (surface course)
- b) Lapisan yang menyebabkan gaya akibat beban lalu lintas dari lapis permukaan ke lapis pondasi bawah.

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

1) Lapis Batu Belah (telford)

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

2) Lapis Macadam Basah

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

3) Lapis Macadam Kering

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

4) Lapis Batu Pecah (Aggregate Base Dry Stone)

Lapis batu pecah dikembangkan sebagai pengganti lapis pondasi batu belah atau telford.

### 3. Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course)

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

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

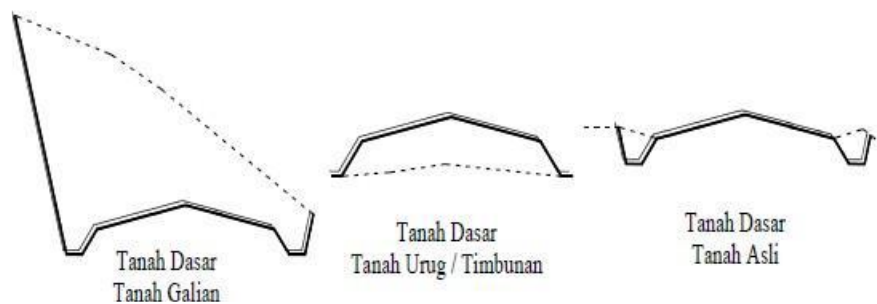
Berikut bahan yang sering digunakan untuk lapisan pondasi bawah antara lain :

- a) Lapis aspal beton (laston)
- b) Pasir dan batu (sirtu) kelas A
- c) Pasir dan batu (sirtu) kelas B

- d) Pasir dan batu (sirtu) kelas C
- e) Tanah atau lempung kepasiran

#### 4. Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

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



**Gambar 2.3** Jenis tanah dasar ditinjau dari muka tanah asli

**Sumber :** Sukirman, 2010

### 2.2.2. Pengujian lendutan Benkelmen Beam di lapangan

Pengujian lendutan di lapangan menggunakan alat Benkelmen Beam untuk menggambarkan kekuatan struktur perkerasan jalan. Lendutan yang digunakan untuk perencanaan adalah lendutan balik. Nilai lendutan tersebut harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperatur dan koreksi temperature serta koreksi beban uji ( bila beban uji tidak tepat sebesar 8.16 ton).

Besarnya lendutan balik sesuai rumus:

$$d_B = 2 \times (d_3 - d_1) \times F_t \times C_a \times F_{K_{B-BB}} \quad \dots (2.1)$$

dengan pengertian:

$d_B$  = lendutan balik

$d_1$  = lendutan pada saat beban tepat pada titik pengukuran

$d_3$  = lendutan pada saat beban berada pada jarak 6 m dari titik pengukuran

$F_t$  = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperature standar 35°C

$C_a$  = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)

= 1,2; apabila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah rendah

= 0,9; bila pemeriksaan dilakukan pada musim hujan atau muka air tanah tinggi

$F_{K_{B-BB}}$  = Faktor koreksi beban uji Benkelman Beam (BB)

### 2.2.3 Lalu Lintas Harian Rata Rata

Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu. Satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan sehubungan dengan penentuan jumlah dan lebar lajur adalah: lalu lintas harian rata-rata (LHR). Jumlah lajur dalam desain tebal perkerasan digunakan untuk penentuan faktor distribusi lajur. Selanjutnya, LHR, pertumbuhan lalu lintas tahunan, VDF, umur rencana, jumlah lajur, digunakan untuk perhitungan Equivalent Single Alex Load (ESAL) Pertumbuhan lalu lintas tahunan dianalisa berdasarkan data lalu lintas yang lewat di ruas Jalan Hangtuah, untuk semua golongan kendaraan. Output program berupa volume kendaraan per hari dan pertumbuhan lalu lintas di Jalan Hangtuah (dalam %) diturunkan menjadi lalu lintas sesuai penggolongan kendaraan rencana, dengan periode sesuai tahun perhitungan.

**Tabel 2.2** Data LHR Kota Palu Jalan Hangtuah

| Jenis Kendaraan    |                     | Lalu Lintas Harian rata-rata ( 2 Arah) |
|--------------------|---------------------|----------------------------------------|
| Golongan Kendaraan | Mobil Penumpang     |                                        |
| 1,2,3              | Motor,Mobil,Angkot, | 32.048                                 |
|                    | Pick up             |                                        |
| 5A                 | Bus Kecil           | 63                                     |
| 5B                 | Bus Besar           | 20                                     |
| 6A                 | Truk 2 As ( 4 Roda) | 880                                    |
| 6B                 | Truk 2 As ( 6 Roda) | 436                                    |
| 7A                 | Truk 3 as           | 4                                      |

Peningkatan volume lalu lintas berdasarkan data LHR tahun 2025 akan di analisis untuk proyeksi 10 tahun dengan menghitung laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%) dengan persamaan :

$$LHR_n = LHR_o (1+i)^n \quad \dots(2.2)$$

dimana :

LHRn : Volume lalu lintas masa yang akan datang

LHRo : Volume lalu lintas saat ini

i : Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

n : Tahun rencana

Dari data di atas selanjutnya akan didapat nilai sebagai berikut:

#### 1. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam persen per tahun (%/tahun).

Dengan menggunakan persamaan berikut :

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR-1}}{0,01i} \quad \dots (2.3)$$

dimana :

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i : Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR : Umur rencana (tahun)

#### 2. Beban sumbu standar kumulatif

Nilai VDF masing-masing jenis kendaraan dan beban sumbu standar kumulatif, dengan persamaan berikut :

$$Cesal = \Sigma LHRT * VDF * 365 * DD * DL * ((1+0,01*i^{UR-1})/0,01*i \quad \dots (2.4)$$

Cesal : Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana

LHRT : Lalu lintas tiap jenis kendaraan niaga

VDF : Faktor Ekivalen beban ( *vehicle damage factor* ) tiap jenis kendaraan

DD : Faktor distribusi arah

DL : Faktor distribusi lajur

R : pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

### 3. Rencana jumlah kendaraan dalam periode 10 (sepuluh) tahun

Lajur rencana salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga paling besar. Jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0.50 kecuali pada lokasi – lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung tinggi pada satu arah tertentu.

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (CESAL) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Faktor distribusi lajur harus berdasarkan data-data hasil survai lalu lintas setempat atau jika tidak tersedia dapat menggunakan Tabel 2.3

**Tabel 2.3** Faktor distribusi lajur (DL)

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

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2024)

### 4. Faktor ekuivalen beban (*Vehicle Damage Factor*)

Faktor ekuivalen beban merupakan gabungan dari berbagai kendaraan dari beragam kelas dengan konfigurasi dan beban sumbu dapat dikonversikan menjadi jumlah total beban ESA.

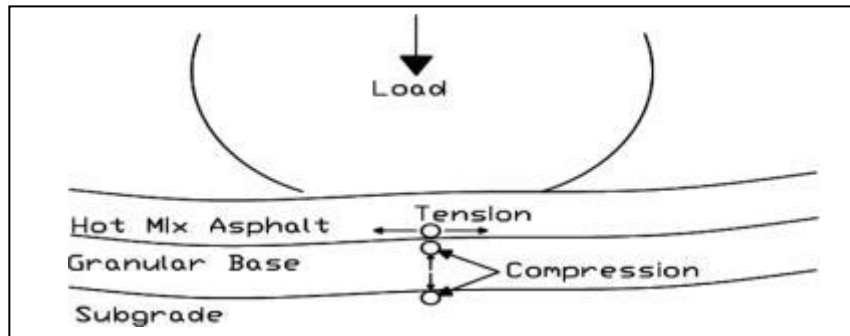
### 5. Beban sumbu standar kumulatif

*Cumulative standard axle load (CESAL)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain selama umur rencana.

#### **2.2.4 Metode Mekanistik Empiris**

Metode mekanistik-empiris merupakan metode perkerasan jalan yang dikembangkan dari kombinasi metode mekanistik dan metode empiris. Metode empiris merupakan metode yang dikembangkan berdasarkan dari pengalaman penelitian dari jalan-jalan yang khusus untuk penelitian maupun dari jalan yang sudah ada. Pada pendekatan empiris ini didasarkan pada hasil percobaan ataupun penelitian. Metode ini seringkali digunakan sebagai pembantu ketika peneliti mengalami kesulitan dalam mendefinisikan teoritis penyebab dan efek yang tepat dari suatu fenomena.

Metode Mekanistik Empiris adalah metode perancangan tebal perkerasan berdasarkan penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan atau tegangan yang timbul berulang-ulang pada lapis perkerasan sampai terjadi kerusakan yang telah ditetapkan sebelumnya sebagai batas tingkat kerusakan yang dapat diterima oleh lapis perkerasan. Metode desain mekanistik empiris sendiri didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon ini digunakan untuk memprediksi tekanan dari data kinerja lapangan dan tes laboratorium. Pengamatan pada kinerja perkerasan sangat perlu dilakukan karena teori dianggap belum cukup terbukti untuk desain perkerasan secara realistik. (Huang, 2004) menyebutkan Kerkhoven dan Dormon pertama kali menyarankan penggunaan regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar sebagai kriteria kegagalan untuk mengurangi deformasi permanen. Saal dan Pell merekomendasikan penggunaan regangan tarik horisontal di bawah lapisan aspal untuk meminimalkan kelelahan retak, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4

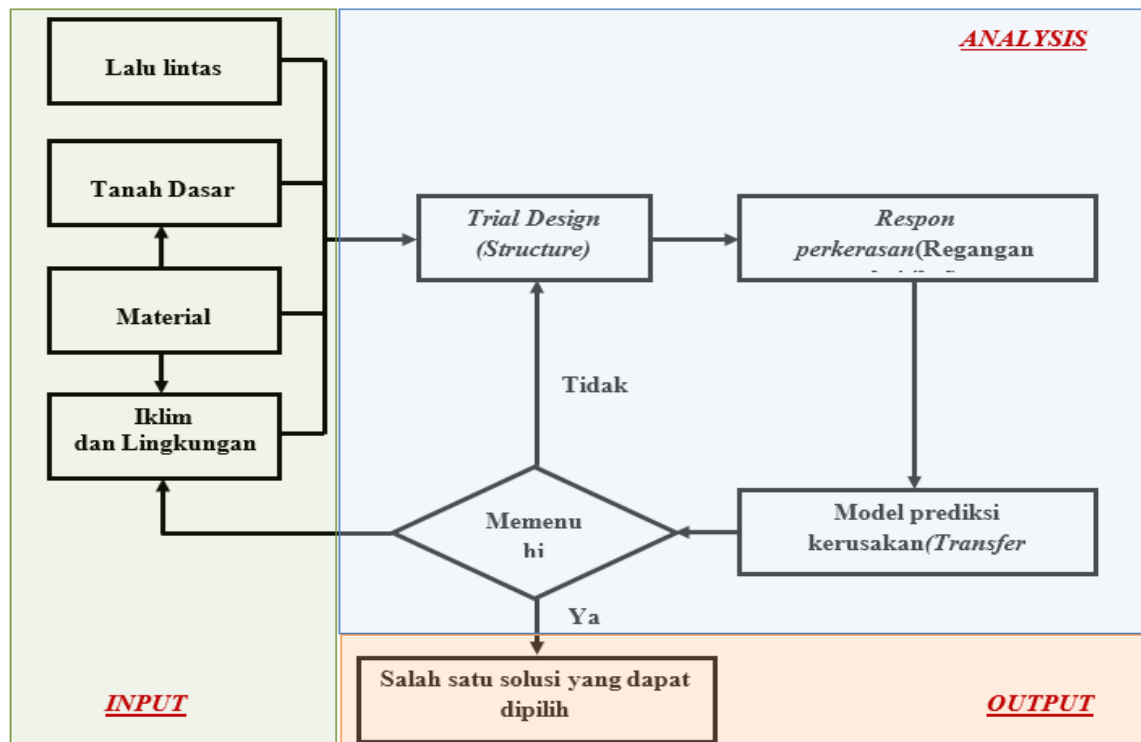


**Gambar 2.4** Regangan pada perkerasan lentur  
(Sumber : Huang, 2004)

Pada pelaksanaannya metode ini menggunakan data pembebanan laulintas, jenis material perkerasan, data lingkungan, failure criteria, realibility, sedangkan input untuk perkerasan lentur adalah kondisi tanah dasar, traffic (ESAL), faktor regional (diasumsikan 1.0) dan koefisien layer material. Metode mekanistik–empiris untuk tahapan perhitungan analisis terdiri dari 2 (dua) tahap yaitu:

1. Menghitung respon perkerasan berupa tegangan (compressive stress), regangan (tensile strain) dan lendutan kritis (deflection) setiap lapis (layer) dengan menggunakan analisis metode mekanistik yang berdasarkan pada prinsip-prinsip penggunaan teori elastis.
2. Memprediksi kinerja struktur dan fungsi perkerasan dimasa depan (design life) indikator kinerja antara lain fatigue cracking dan rutting, fungsi dari performa kinerja untuk semua jenis perkerasan bergantung dari waktu, pembebanan serta iklim yang menjadi faktor sebagai penentu. Selain itu parameter yang penting pada sistem perkerasan lentur antara lain modulus elastisitas linear perkerasan ( $E$ ), modulus elastisitas tanah dasar ( $E_s$ ), rasio poison ( $\mu$ ), tegangan( $\sigma$ ), regangan ( $\epsilon$ ), lendutan ( $d$ ), nilai struktur kritis (critical structure value) dan keadaan lingkungan (Huang, (2004).

Prosedur pendekatan untuk mendesain menggunakan metode Mekanistik-Empiris (Mechanistic–Empirical Approach) dapat digambarkan dan dijelaskan sesuai Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Prosedur pendekatan metode mekanistik- empiris

(Sumber : Setiawan Arief, 2021)

Metode desain mekanistik empiris didasarkan pada mekanika bahan. *Input* pada metode ini adalah beban lalu lintas, luas kontak area ban, jarak antar ban, jarak antarsumbu, tekanan ban, poisson's ratio, modulus elastis, dan ketebalan lapisan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). *Output* atau respons perkerasan pada metode ini adalah regangan dan tegangan, kemudian respons tegangan dan regangan digunakan untuk menganalisis kerusakan (*fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*) untuk mendapatkan tebal perkerasan yang efektif. Pada

metode ini perhitungan manual sangat rumit sehingga dibutuhkan suatu program, yaitu KENPAVE (Huang, 2004).

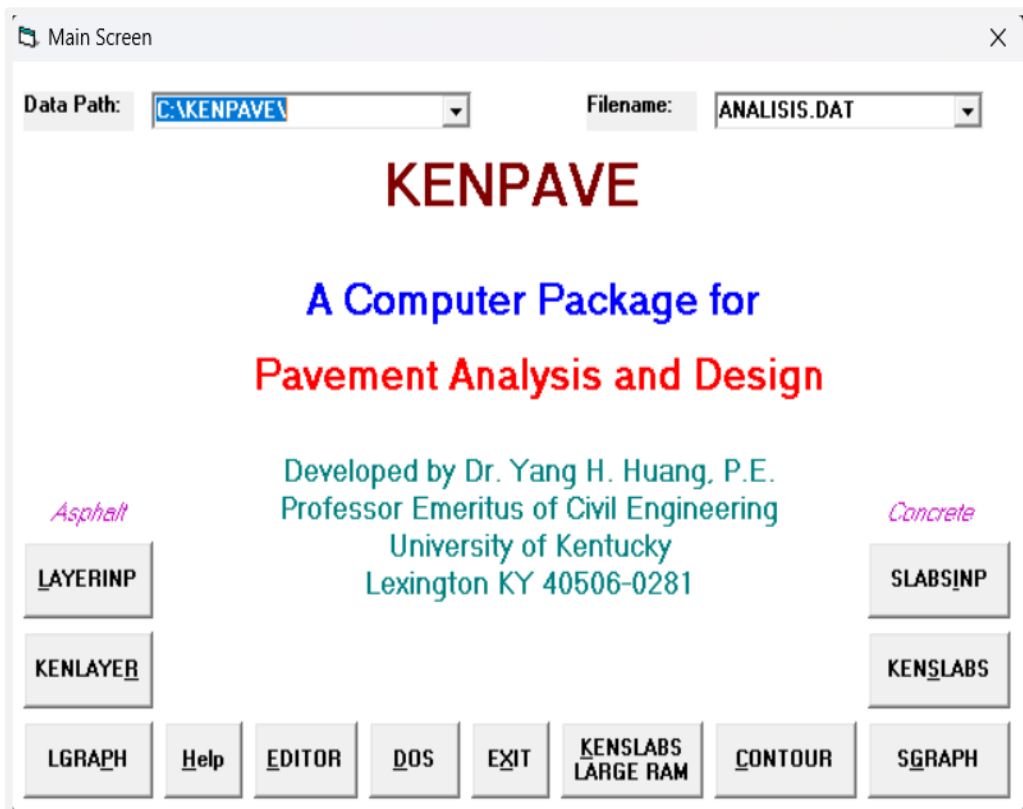
#### **a. Program Kenpave**

Berdasarkan langkah atas, terdapat penjelasan mengenai pengerjaan dengan menggunakan metode mekanistik empiris dengan program KENPAVE sebagai berikut ini:

1. Pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu meliputi data struktur perkerasan dan Data tipe dan material perkerasan.
2. Menentukan data karakteristik pada material lapis eksisting dan lapis tambahan, dengan mengetahui nilai modulus elastisitas dan nilai *passion ratio* pada tiap lapisannya.
3. Menentukan tebal tiap lapis struktur perkerasan pada lapis eksisting dan lapis tambahan (*overlay*).
4. Melakukan permodelan struktur dengan program *KENPAVE* dengan sub program *KENLAYER*.
5. Melakukan *input* data pada data-data yang terdapat pada menu *KENPAVE*.
6. Menentukan hasil *output* dari *running* program *KENLAYER* yang digunakan untuk mengetahui nilai repitisi dan umur sisa yang menyebabkan kegagalan pada perkerasan.

Beberapa kekurangan dari program *Kenpave* adalah sebagai berikut:

1. *Software* ini dapat dijalankan pada *operating system* diatasnya seperti windows vista dan windows 7 akan tetapi tidak akan berjalan dengan baik karena program ini dibuat untuk *operating system* versi lama.
2. Program ini hanya dapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan atau perkerasan kaku

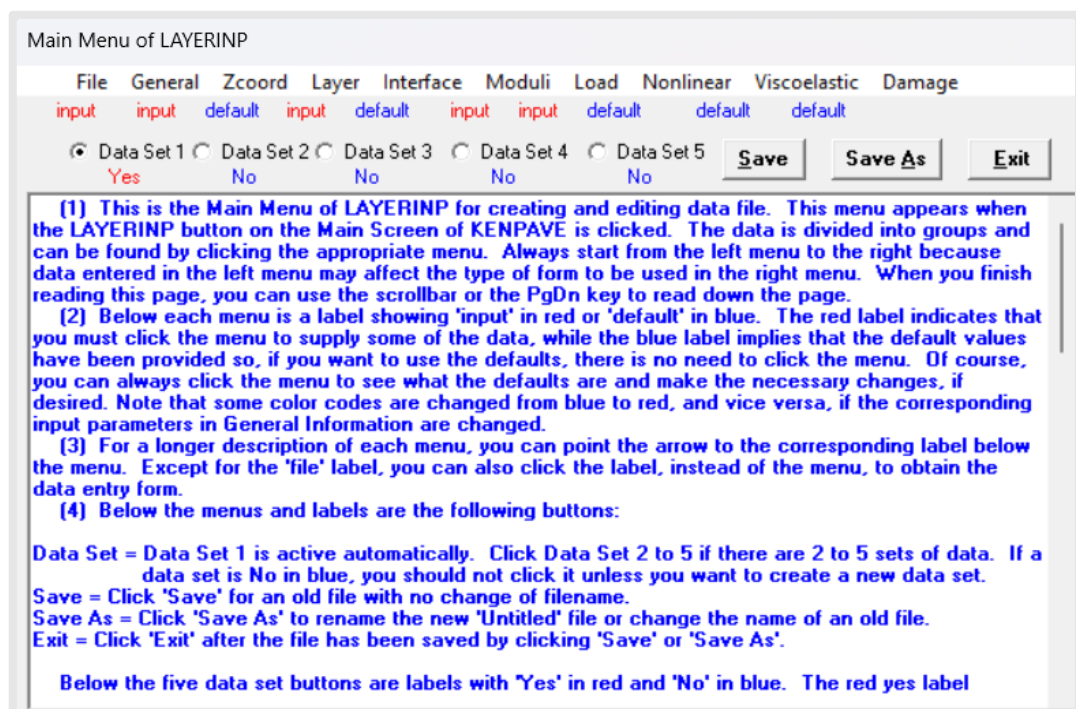


**Gambar 2.6** Tampilan awal program kenpave

(Sumber: Huang, 2004)

## b. Program *Kenlayer*

Program komputer *Kenlayer* ini hanya dapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan dan lapisan kaku. Dasar dari program *Kenlayer* ini adalah teori sistem lapisan banyak.



**Gambar 2.7** Tampilan sub program *kenlayer*

(Sumber: Huang, 2004)

Hal-hal yang perlu diketahui dari program ini adalah:

1. Dapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur.
2. Perilaku lapisan yang berbeda, seperti linier, non linier, atau viskoelastis.
3. Empat jenis sumbu roda, yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu triple.
4. Data yang diperlukan antara lain tebal perkerasan jalan, modulus elastisitas, Poisson ratio, dan kondisi beban.

5. Output dari program ini berupa *vertical displacement, vertical stress, major principal stress, minor principal stress, intermediate principal stress, vertical principal strain, major principal strain, minor principal strain, dan horizontal principal strain*.

## 2.2.5 Analisis Kerusakan Perkerasan

Kerusakan perkerasan yang dibahas dalam penelitian ini meliputi retak lelah, bekas roda, dan keruntuhan. Permukaan jalan rusak akibat beban kendaraan. Selama analisis komputasi dengan Metode Empiris Mekanik, hasilnya ditentukan sebagai nilai tegangan dan regangan dan digunakan untuk memprediksi kerusakan permukaan elastis jalan. Adapun beberapa persamaan untuk memprediksi jumlah repitisi beban yang menggunakan persamaan mode *The Asphlat Institute* (Huang, 2004) sebagai berikut:

### a) *Fatigue Cracking*

Retak lelah (*Fatigue Cracking*) terjadi ketika retakan terbentuk akibat beban berulang. Kegagalan ini biasanya terjadi ketika permukaan perkerasan ditutupi dengan persentase retakan yang tinggi. Persamaan *fatigue cracking* (retak lelah) pada perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah keseluruhan repitisi beban berdasarkan regangan tarik yang ada di bawah lapis permukaan. Persamaan ini dapat dilihat pada Persamaan 2.5

$$N_f = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$N_f$  = jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *Fatigue Cracking*

$\epsilon_t$  = *Tensile Strain* dilokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model, struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan.

$|E|$  = Modulus elastis pada lapisan permukaan atau lapisan *HMA*.

#### **b) Permanenet Deformation**

Kerusakan akibat *deformation permanent* terjadi karena beban lalu lintas berulang terutama kendaraan besar seperti truk dan bus yang melintasi ruas jalan yang akan ditinjau. Persamaan *permanent deformation* pada perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah beban repitisi perkerasan lentur pada kerusakan. Persamaan ini dapat dilihat pada persamaan 2.6.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,47} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

$N_d$  = Jumlah nilai repitisi beban yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*

$\epsilon_c$  = Regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar.

#### **2.2.6 Nilai Sisa Umur Rencana (*Remaining life*)**

*Remaining life* adalah penyusutan dari umur rencana yang terjadi karena faktor beban kendaraan yang melintas. Seharusnya masa layan jalan habis sesuai dengan umur rencana yang sudah ditentukan, tetapi tidak bisa dipungkiri bahwa kendaraan yang melintas terkadang membawa beban yang melebihi dari beban yang seharusnya. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan agar dapat diketahui seberapa jauh atau seberapa cepat masa layan jalan tersebut habis. Perhitungan untuk nilai sisa umur rencana (*remaining life*) dapat menggunakan Persamaan 2.7.

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$RL = \text{Remaining life}$

$N_p = \Sigma \text{kumulatif W18 pertahun}$

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

### 2.2.7 Pendekatan Boussinesq Theory dalam Menentukan Regangan dan Lendutan pada Perkerasan Lentur

Ketika beban diletakkan pada suatu bidang lingkaran tunggal, pada umumnya regangan-tegangan kritis dan lendutan terjadi di titik pusat lingkaran pada sumbu simetri (Huang, 2004). Dengan asumsi bahwa pekerasan jalan lentur dianggap sama dengan plat yang lentur, beban roda kendaraan yang diterima perkerasan hampir sama dengan beban yang terjadi pada plat yang elastis dengan jari-jari  $a$  dan tekanan beban merata  $q$  (Huang, 2004), sehingga besarnya regangan vertikal dan lendutan yang terjadi akibat beban kendaraan yang diterima perkerasan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon_z = \frac{(1+\mu)q}{E} \left[ 1 - 2\mu + \frac{2\mu z}{(a^2+z^2)^{0,5}} - \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{1,5}} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

*On the surface of the half-space theory,  $z = 0$ , maka :*

$$\epsilon_z = \frac{(1+\mu)q}{E} [1 - 2\mu] \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

$q$  : tegangan normal pada permukaan perkerasan ( $\approx$  tekanan ban, psi)

$\epsilon_z$  : regangan vertikal

$\mu$  : *poisson ratio*

$E$  : modulus elastisitas perkerasan (psi)

$a$  : jari-jari bidang kontak roda

$$: \sqrt{\frac{p}{q\pi}}$$

p : beban pada roda (lb)

z : kedalaman di bawah permukaan perkerasan yang ditinjau (in)

Mengacu pada pendekatan *Boussinesq theory* (1885) bahwa perkerasan diasumsikan sebagai lapisan yang homogen, mempunyai sifat yang isotropis, elastis, maka besarnya modulus elastisitas (E) dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$$d = \frac{(1+\mu)qa}{E} \left\{ \frac{a}{(a^2+z^2)^{0,5}} + \frac{1+2\mu}{a} [(a^2+z^2)^{0,5} - z] \right\} \dots\dots\dots (3.0)$$

*On the surface of the half-space theory*, z = 0, maka:

$$d = \frac{2(1+\mu^2)qa}{E} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$E = \frac{2(1+\mu^2)qa}{d} \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana :

q : tegangan normal pada permukaan perkerasan ( $\approx$  tekanan ban, psi)

$\epsilon_z$  : regangan vertikal

$\mu$  : *poisson ratio*

E : modulus elastisitas perkerasan (psi)

a : jari-jari bidang kontak roda

$$: \sqrt{\frac{p}{q\pi}}$$

p : beban pada roda (lb)

z : kedalaman di bawah permukaan perkerasan yang ditinjau (in)

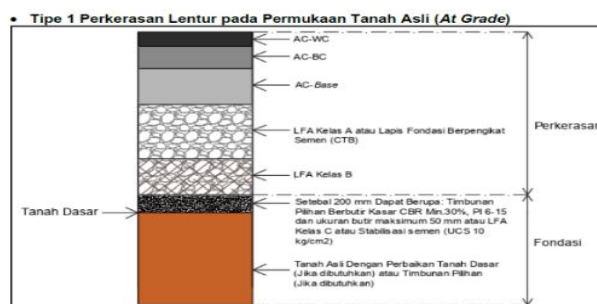
### 2.3 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024

Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 adalah revisi dari MDPJ 2017 yang disusun untuk mempermudah pemahaman pengguna melalui perubahan struktur penyajian, Serta penyempurnaan dan pembaruan dalam isi panduan. Pendekatan ini dirancang untuk mengatasi rintangan dan kendala yang dihadapi dalam pengelolaan infrastruktur jalan di Indonesia, agar dapat mendukung pembangunan jalan yang memberikan pelayanan maksimal sesuai dengan jangka waktu yang telah direncanakan. Dalam MDPJ 2024, terdapat dua komponen utama ketentuan teknis dalam implementasi desain perkerasan jalan, yaitu:

Komponen Pertama: Struktur Perkerasan Baru

2. Komponen Kedua: Rehabilitasi Perkerasan

Kedua bagian ini mencakup ketentuan teknis serta contoh penerapan dalam desain perkerasan jalan, termasuk metode analisis dan parameter teknis yang dibutuhkan



**Gambar 2.8** Struktur perkerasan lentur pada tanah asli

Sumber MDPJ 2024

Pada perkerasan dengan lapisan beraspal tipis, kesalahan kecil dalam evaluasi tanah dasar dapat menyebabkan pengurangan masa pelayanan menjadi hanya satu per sepuluh masa pelayanan yang direncanakan. Untuk perkerasan dengan lapis beraspal tebal, walaupun jumlah pengurangan masa pelayanan tidak

sebesar itu tetapi pengurangan yang terjadi masih cukup berarti. Oleh sebab itu, penentuan daya dukung tanah dasar secara akurat dan desain fondasi perkerasan merupakan syarat penting untuk menghasilkan perkerasan berkinerja baik.

#### 2.4 Metode Surface Distress Index (SDI)

Surface Distress Index (SDI) adalah skala kinerja jalan yang diperoleh dari hasil pengamatan secara visual terhadap kerusakan jalan yang terjadi di lapangan. Data-data yang diperlukan dalam analisis kerusakan perkerasan menggunakan metode SDI antara lain: persentase luas total retak terhadap luas jalan yang ditinjau, rata-rata lebar retak, jumlah lubang dan rata-rata kedalaman bekas roda pada jalan. Untuk menentukan kriteria kerusakan dan penanganan pada metode ini dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.4** Kriteria penilaian kondisi jalan berdasarkan metode SDI

| No. | Nilai <i>SDI</i> | Kondisi Jalan |
|-----|------------------|---------------|
| 1   | < 50             | Baik          |
| 2   | 50-100           | Sedang        |
| 3   | 100-150          | Rusak Ringan  |
| 4   | > 50             | Rusak Berat   |

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga ,2011

**Tabel 2.5** Kriteria jenis penanganan jalan berdasarkan metode SDI

| No. | Nilai <i>SDI</i> | Penanganan Jalan     |
|-----|------------------|----------------------|
| 1   | < 50             | Pemeliharaan Rutin   |
| 2   | 50-100           | Pemeliharaan Rutin   |
| 3   | 100-150          | Pemeliharaan Berkala |
| 4   | > 50             | Rekonstruksi         |

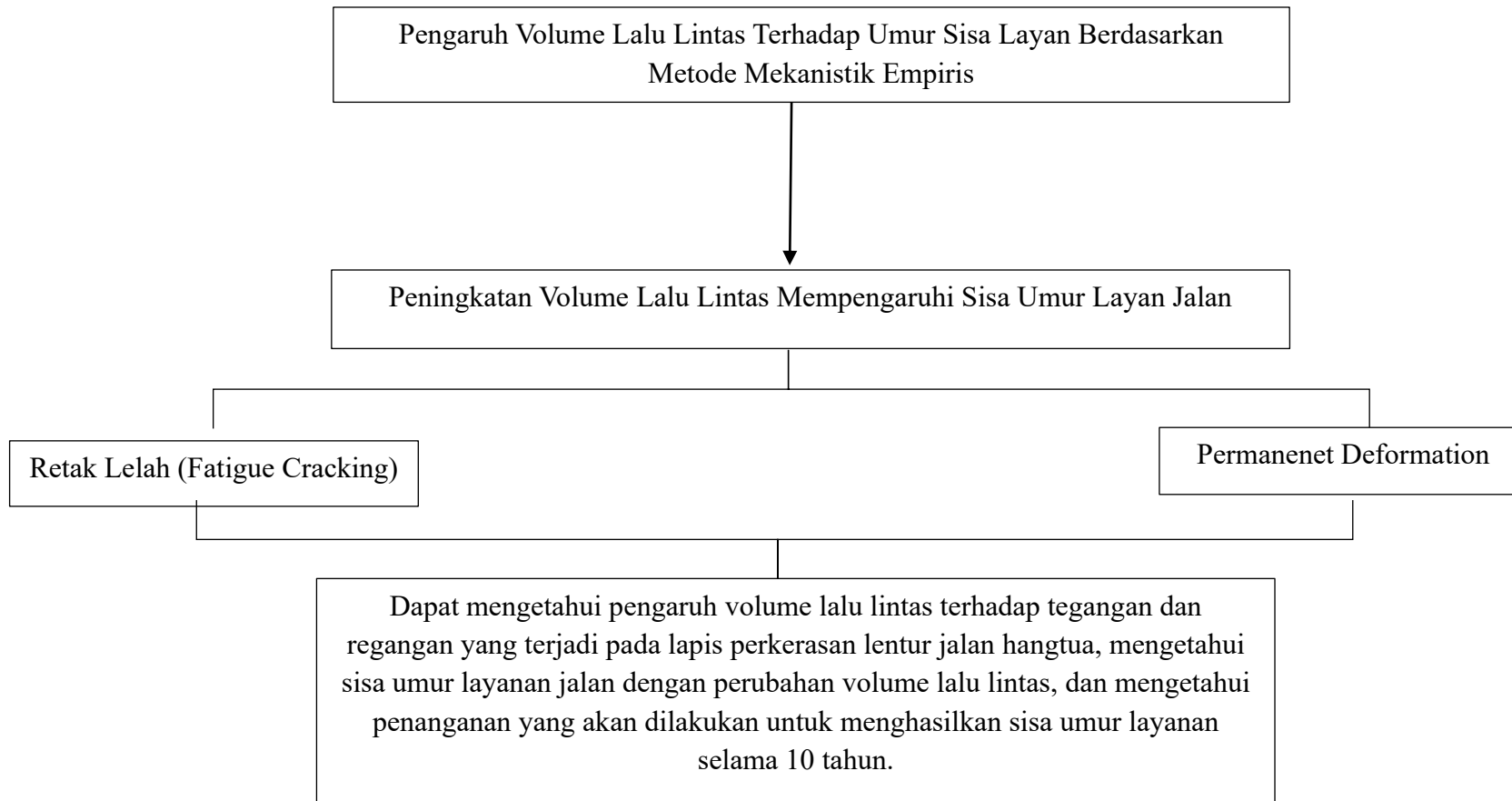
Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga ,2011

Penanganan kerusakan jalan sesuai dengan (Kementerian PU, 2011) tentang tata cara pemeliharaan dan penilikan jalan. Untuk pelaksanaan pemeliharaan jalan sebagai berikut:

- a. Pemeliharaan rutin jalan yang dimaksud adalah pengisian celah/retak permukaan, laburan aspal, dan penambalan lubang
- b. Pemeliharaan berkala jalan yang dimaksud adalah pelapisan ulang (overlay), pengasaran permukaan, pengisian celah/retak permukaan, pemarkaan (marking) ulang, dan penambalan lubang.
- c. Rekonstruksi jalan yang dimaksud adalah peningkatan kekuatan struktur berupa pelapisan ulang perkerasan dan bahu jalan sesuai umur rencananya kembali, dan perbaikan perlengkapan jalan.

## **2.5 Kerangka Pemikiran**

Penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana sisa umur layan jalan tersebut yang diakibatkan peningkatan volume lalu lintas dengan menggunakan metode mekanis empiris. Metode desain yang digunakan pada Manual Desain Perkerasan adalah metode Mekanistik Empiris yang dewasa ini telah digunakan secara meluas di berbagai negara yang telah berkembang. Dengan metode ini analisis struktur perkerasan dilakukan menggunakan prinsip-prinsip mekanik yang keluarannya digunakan untuk memprediksi kinerja struktur berdasarkan pengalaman empiris.



**Gambar 2.9** Kerangka pemikiran

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian

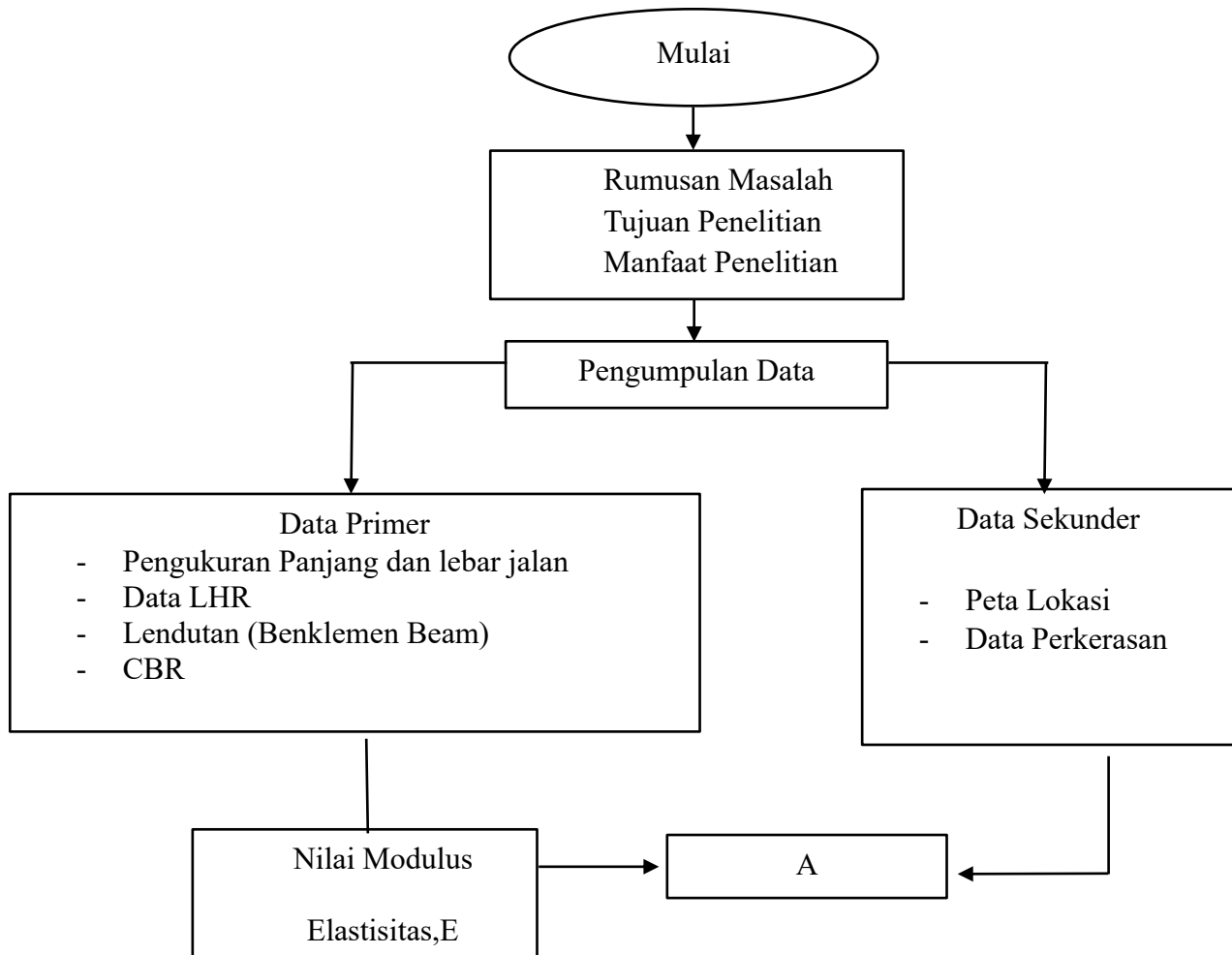
Lokasi penelitian adalah Jalan Hangtua yang berada di wilayah Kota Palu merupakan salah satu ruas jalan yang menghubungkan Kelurahan Talise dan Kelurahan Tondo dan merupakan penghubung antara Palu Timur dan Palu Utara. Waktu penelitian kurang lebih 1 Bulan.



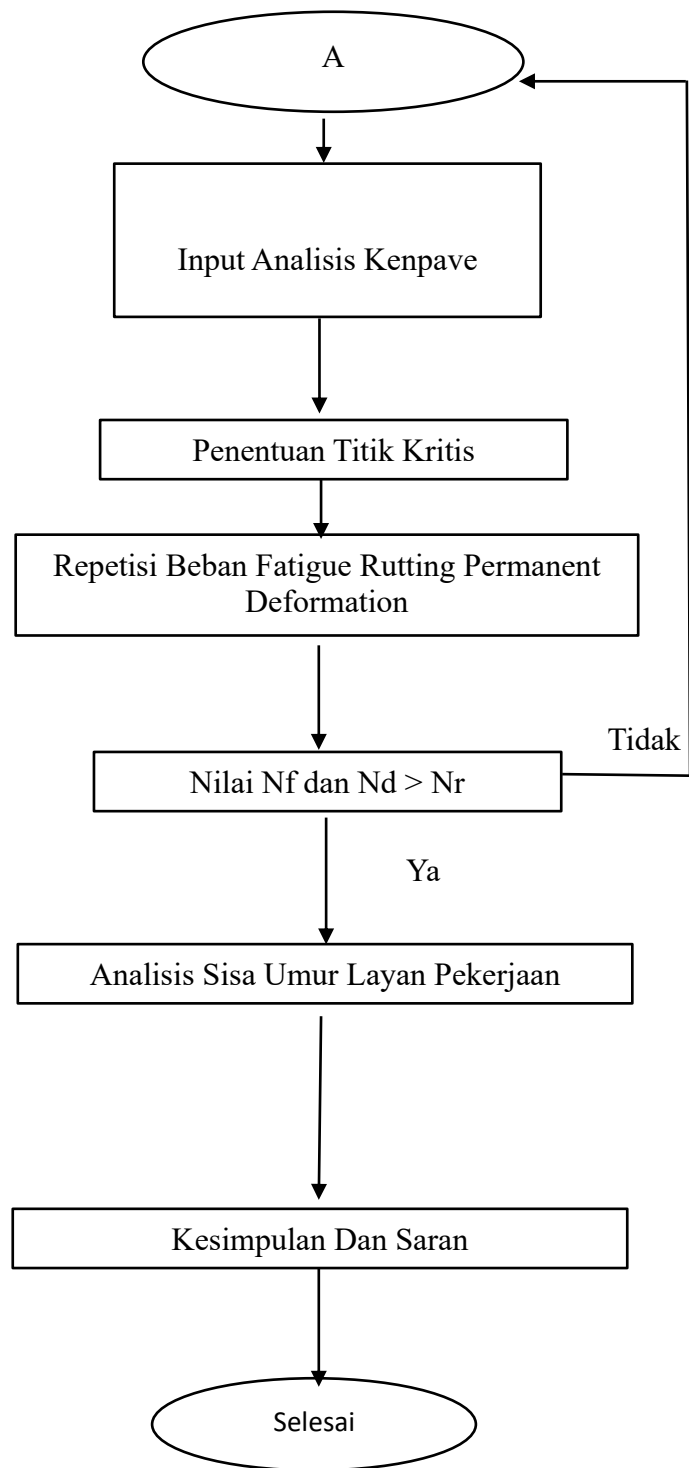
**Gambar 3.1** Lokasi Penelitian

Sumber: *Openstreet Map*, 2025

### 3.2 Bagan Alir penentuan sisa umur layan



**Gambar 3.4** Bagan alir penentuan sisa umur layan perkerasan eksiting



**Gambar 3. 2** Bagan alir penentuan sisa umur layan perkerasan eksiting (lanjutan)

### **3.3 Populasi dan Teknik Pengambilan Sampel**

#### **1. Populasi**

Populasi dalam penelitian ini adalah ruas jalan Hangtua dengan tingkat lalu lintas yang cukup padat.

#### **2. Teknik Pengambilan Sampel**

Sampel yang akan diteliti adalah nilai lendutan lapis perkerasan lentur dengan menggunakan alat BB ruas Jalan Hangtua STA 0+400 sampai sengah STA 0+900. Pengambilan data CBR subgrade dilapangan dengan menggunakan alat Dynamic cone penetrometer (DCP) yang dilakukan pada ruas jalan Hangtua dengan sebanyak 3 sampel pengujian.

##### **a) Pengujian dengan alat Benklemem beam**

Perhitungan tebal lapis tambah hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan lentur atau konstruksi perkerasan dengan lapis pondasi agregat dengan lapis permukaan menggunakan bahan pengikat aspal. Penilaian kekuatan struktur pada penelitian ini didasarkan atas lendutan balik dengan menggunakan alat Benkelman Beam.

##### **b) Pengambilan Data CBR Menggunakan Alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)**

Pengujian langsung di lapangan dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) untuk menentukan nilai CBR lapangan dari tanah dasar (subgrade) di Jalan Hangtuah. Pengambilan data CBR dilapang dilakukan pada 3 titik . Titik pertama diambil pada Sta 0+290 dengan nilai CBR 33,40%, titik kedua pada sta 0+500 dengan nilai CBR 16.65 %, dan titik ketiga pada sta 0+700 dengan nilai CBR 15,71%. Data CBR dapat digunakan untuk mengevaluasi perlunya pemeliharaan dan peningkatan jalan. Metode DCP ini adalah cara

pengujian perkerasan jalan (tanah dasar /*subgrade*, pondasi bahan berbutir) yang relatif cepat, yaitu dengan masuknya ujung konus ke dalam tanah yang ditimbulkan oleh pukulan palu dengan beban dan tinggi jatuh tertentu menerus sampai kedalaman tertentu pula. Untuk memperkirakan nilai CBR tanah atau bahan granular dapat menggunakan beberapa metode, namun yang cukup akurat dan paling murah saat ini adalah menggunakan DCP. Berikut titik lokasi pengambilan nilai DCP.



**Gambar 3.3** Lokasi titik pengujian DCP  
**Sumber :** Open Street Map,2025

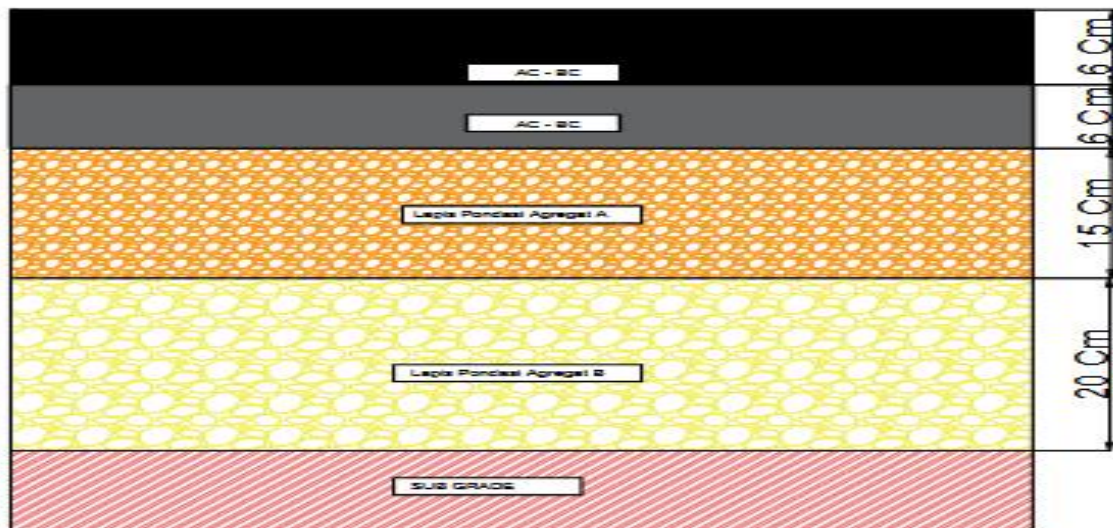
- c) Untuk mengetahui perkerasan existing yang ada pada ruas jalan Hangtuh maka perlu dilakukan pengambilan sampel *core drill* dilapangan. pengambilan benda uji inti sedikitnya diambil dua titik pengujian yang mewakili per penampang melintang per lajur yang diambil secara acak dengan jarak memanjang antar penampang melintang yang diperiksa tidak lebih dari 200 m. Adapun data tebal hasil *core drill* dilapangan diperoleh rata – rata tebal 6 cm.



**Gambar 3. 4** Proses pengambilan sampel *core drill*



**Gambar 3.5** Sampel *core drill*



**Gambar 3.6** Tebal perkerasan *Existing*

### 3.4 Oprasionalisasi Konsep

Penelitian diawali dengan melakukan studi pustaka penelitian terdahulu, dan referensi serta literatur. Pengumpulan data berupa data primer maupun data sekunder dilakukan setelah studi pustaka selesai. Dalam penelitian ini dibuatkan 3 skenario estimasi penambahan kendaraan yang dilakukan dengan menambahkan jumlah kendaraan berat menggunakan *Design Traffic Number* (DTN) pada Asphalt Institute. Penambahan jumlah kendaraan berat dilakukan agar mendapatkan kondisi lalu lintas dalam 2 kategori lalu lintas yaitu kategori lalu lintas sedang (medium) dan lalu lintas tinggi (high), sebagai berikut:

1. Penambahan kendaraan berat 100% dari data lalu lintas real.
2. Penambahan kendaraan berat 150% dari data lalu lintas real.
3. Penambahan kendaraan berat 200% dari data lalu lintas real.

Secara garis besar rancangan penelitian yang disusun secara sistematis dapat dijelaskan dengan bagan alir penelitian sesuai Gambar 3.2. yang menggambarkan bagaimana sisa umur layan akibat repetisi beban lalu lintas pada perkerasan *existing* Jalan Hangtuah.

### 3.5 Metode Mekanistik Empiris dengan Program *KENPAVE*

Berikut ini merupakan langkah untuk mengetahui analisis beban lalu lintas dari nilai tegangan dan regangan yang diperoleh dengan menggunakan program *KENPAVE* yaitu:

1. Mengetahui struktur perkerasan
2. Mengetahui tipe dan material perkerasan

3. Mengetahui kondisi perkerasan eksisting dan perkerasan tambahan (overlay) dengan program KENPAVE
4. Menghitung tegangan dan regangan kondisi eksisting dan kondisi overlay
5. Menghitung repitisi beban
6. Analisa umur sisa

### 3.6 Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bagian dari parameter dan variabel penelitian. Parameter adalah suatu nilai atau kondisi yang dijadikan sebagai tolak ukur terhadap nilai atau kondisi yang lainnya dan dianggap sebagai nilai atau kondisi yang diharapkan, sedangkan variabel adalah segala sesuatu yang akan menjadi objek pengamatan penelitian. Parameter dan variabel pada penelitian ini ditunjukkan seperti pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1 Parameter dan variabel penelitian**

| No.                 | Uraian                                                                                  | Keterkaitan Analisis                         | Sumber Data   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------|
| <b>A. Parameter</b> |                                                                                         |                                              |               |
| 1.                  | Ruas jalan, panjang Jalan, lebar jalan                                                  | Penilaian sisa umur layan                    | Data Sekunder |
| 2.                  | Tebal Perkerasan Jalan                                                                  | Penilaian sisa umur layan                    | Data Sekunder |
| <b>B. Variabel</b>  |                                                                                         |                                              |               |
| 1                   | Nilai LHR                                                                               | Respon perkerasan lentur dan sisa umur layan | Data Primer   |
| 2                   | Nilai <i>Tegangan</i> ( $\mathcal{E}_c$ ) dan Nilai <i>Regangan</i> ( $\mathcal{E}_t$ ) | Respon perkerasan lentur                     | Data Sekunder |
| 3.                  | Nilai Modulus Elastisitas                                                               |                                              |               |
|                     | 1. <i>Surface</i>                                                                       | Respon perkerasan lentur dan sisa umur layan | Data Primer   |

|    |                                                              |                                              |               |
|----|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------|
|    | 2. Lapis Fondasi Atas                                        | Respon perkerasan lentur dan sisa umur layan | Data Sekunder |
|    | 3. Lapis Fondasi Bawah                                       | Respon perkerasan lentur dan sisa umur layan | Data Sekunder |
|    | 4. <i>Subgrade</i>                                           | Respon perkerasan lentur dan sisa umur layan | Data Primer   |
| 4. | Nilai <i>Fatigue</i> dan <i>Rutting</i> dan <i>Deformasi</i> | Penilaian sisa umur layan                    | Data Sekunder |

### 3.7 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yaitu data primer maupun data sekunder disajikan seperti pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Teknik pengumpulan data**

| No. | Jenis Data                | Sumber Pengumpulan Data                                                                                           |
|-----|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Data Ruas Jalan           | Data sekunder berupa data ruas jalan dan tebal lapis perkerasan <i>existing</i> bersumber dari Dinas PU Kota Palu |
| 2.  | Data LHR                  | Data primer LHR diperoleh dengan cara survei lapangan pada tanggal 13 Juni 2025                                   |
| 3.  | Nilai Modulus Elastisitas |                                                                                                                   |
|     | 1. <i>Surface</i>         | Data primer bersumber dari pengujian BB                                                                           |
|     | 2. Lapis Fondasi Atas     | Data sekunder berupa data tebal lapis perkerasan <i>existing</i> bersumber dari Dinas PU Kota Palu                |
|     | 3. Lapis Fondasi Bawah    | Data sekunder berupa data tebal lapis perkerasan <i>existing</i> bersumber dari Dinas PU Kota Palu                |
|     | 4. <i>Subgrade</i>        | Data primer bersumber dari pengujian <i>DCP</i> langsung di lapangan                                              |

### 3.8 Instrumen Penelitian atau Bahan dan Alat

Instrumen dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Kendaraan bermotor, roda empat dan roda dua.
2. Laptop, program *Microsoft office* dan program *KENPAVE*
3. Kamera untuk mendokumentasikan kondisi ruas jalan yang ditinjau.

### 3.9 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi umum yang berhubungan dengan struktur perkerasan, metode perencanaan, dan analisa kerusakan *fatigue* dan *rutting* pada perkerasan lentur.
2. Mengevaluasi kondisi perkerasan lentur yang ditinjau dengan menggunakan program *Kenpave* untuk menghasilkan nilai regangan tarik horisontal dan regangan tekan vertikal.
3. Menganalisis nilai akumulasi beban sumbu standar kumulatif.
4. Menganalisis nilai faktor pertumbuhan kendaraan.
5. Menganalisis nilai *ESA* dan *CESA*.
6. Menganalisis repetisi beban *fatigue* (*Nf*) yang dihasilkan program *Kenpave*.
7. Menganalisis repetisi beban *rutting* dan *permanent deformation* (*Nd*) yang dihasilkan program *Kenpave*.

8. Memprediksi sisa umur layan perkerasan, ditinjau pada saat perkerasan mencapai batas repetisi beban ijin *fatigue* ( $N_f$ ), *rutting* ( $N_d$ ) dan *permanent deformation* ( $N_d$ ) sampai *failure* ( $N_{1,5}$ ).
9. Pengambilan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

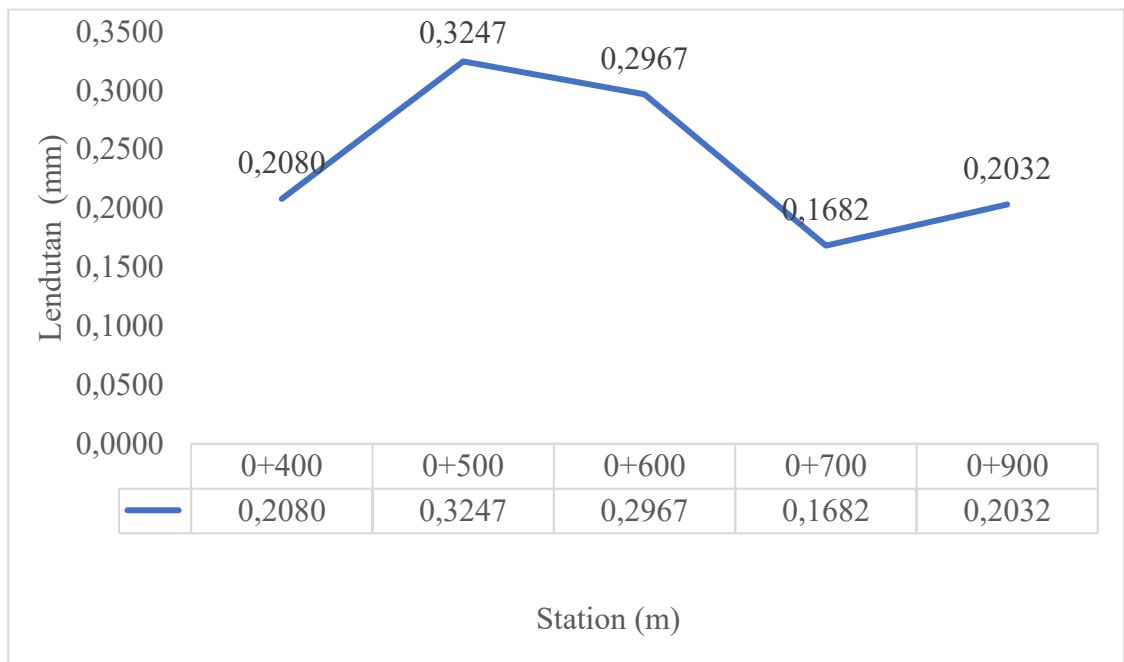
Pada bab ini akan dijelaskan hasil pengujian dan olah data yaitu data DCP, data LHR, data lendutan dari pengujian Benkelmen Beam dan data *core drill*, data – data tersebut kita analisis untuk mengetahui sisa umur layan jalan dan akan mengetahui berapa tebal lapis tambah/ overlay dari rehabilitasi perkerasan yang akan dilaksanakan dilapangan.

#### **4.1 Analisis Data Metode Mekanistik Empiris dengan Kenpave-Kenlayer**

##### **4.1.1 Analisis Data Lendutan**

Lokasi Penelitian berada pada ruas Jalan Hangtuah dengan menganalisa hasil lendutan. Lendutan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah lendutan balik hasil pengujian dengan alat Benkelman Beam. Nilai Lendutan tersebut harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperature serta koreksi beban (uji bila beban uji tidak tepat sebesar 8.16 ton). Besarnya lendutan balik sesuai rumus pada persamaan 2.1.

Rekapitulasi perhitungan nilai lendutan balik pada perkerasan Jalan Hangtuah dengan alat Benkelmen Beam (BB) dapat dilihat pada Tabel 4.1 maka perlu disajikan dalam bentuk informasi grafis yang dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Variasi nilai lendutan Jalan Hangtuah

**Tabel 4.1 Nilai Lendutan BB terkoreksi (dB)**

| STA   | Beban Uji (Ton) | Lendutan Balik (mm) |      |      | Temperatur (0C) |    |      |       |       | Koreksi pada temperatur standar (Ft) | Koreksi Musim ( Ca) | Koreksi Beban (FKB-BB) | Lendutan Terkoreksi (mm),Ds=2(d3-d1)*Ft*Ca* FKB-BB | ds^2   |
|-------|-----------------|---------------------|------|------|-----------------|----|------|-------|-------|--------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------------------------|--------|
|       |                 |                     |      |      | Tu              | Tp | Tt   | Tb    | Tl    |                                      |                     |                        |                                                    |        |
|       |                 | d1                  | d2   | d3   |                 |    |      |       |       |                                      |                     |                        |                                                    |        |
| 0+400 | 12              | 0                   | 0,12 | 0,35 | 29              | 36 | 38,7 | 35,86 | 36,85 | 1,0                                  | 0,9                 | 0,450                  | 0,2774                                             | 0,0769 |
| 0+500 | 12              | 0                   | 0,32 | 0,59 | 31              | 45 | 47   | 41,88 | 44,63 | 0,9                                  | 0,9                 | 0,450                  | 0,4329                                             | 0,1874 |
| 0+600 | 12              | 0                   | 0,28 | 0,55 | 31              | 49 | 47,6 | 44,02 | 46,87 | 0,9                                  | 0,9                 | 0,450                  | 0,3956                                             | 0,1565 |
| 0+700 | 12              | 0                   | 0,15 | 0,3  | 31              | 43 | 44   | 40,72 | 42,57 | 0,9                                  | 0,9                 | 0,450                  | 0,2243                                             | 0,0503 |
| 0+900 | 12              | 0                   | 0,13 | 0,36 | 31              | 42 | 43,4 | 40,22 | 41,87 | 0,9                                  | 0,9                 | 0,450                  | 0,2710                                             | 0,0734 |
|       |                 |                     |      |      |                 |    |      |       |       |                                      |                     | Jumlah                 | 1,6012                                             | 0,5446 |
|       |                 |                     |      |      |                 |    |      |       |       |                                      |                     | Lendutan rata2         | 0,3202                                             |        |
|       |                 |                     |      |      |                 |    |      |       |       |                                      |                     | Jumlah titik (ns)      | 5                                                  |        |
|       |                 |                     |      |      |                 |    |      |       |       |                                      |                     | deviasi standar (s)    | 0,089                                              |        |

#### 4.1.2 Analisis Data lalu lintas

Distribusi kendaraan dan volume lalu lintas harian rata – rata (LHR) ruas Jalan

Hangtuh disajikan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Proyeksi volume lalu lintas rata-rata (LHR) Jalan Hangtuh

| Jenis Kendaraan           | Golongan Kendaraan | LHR tahun 2025 | LHR tahun 2035 |
|---------------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Motor                     | 1                  | 23218          | 36929          |
| kendaraan pribadi ,Angkot | 2                  | 8830           | 14044          |
| Bus Kecil                 | 5A                 | 63             | 32100          |
| Bus Besar                 | 5B                 | 20             | 32             |
| Truk 2 As ( 4 Roda)       | 6A                 | 880            | 1400           |
| Truk 2 As ( 6 Roda)       | 6B                 | 436            | 693            |
| Truk 3 as                 | 7A                 | 4              | 6              |

Pada Tabel 4.2 diatas, proyeksi volume lalu lintas untuk 10 tahun kedepan sesuai dengan umur rencana perkerasan yang dilakukan sesuai dengan hasil survey di lapangan dihitung dengan persamaan 2.2. Sehingga presentasi pertumbuhan lalu lintas pada umur layan 10 (sepuluh) tahun sebesar 10.02 %. Hasil perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas (R) selama umur rencana 10 tahun disajikan pada Tabel 4.3

**Tabel 4.3** Nilai R selama umur rencana

| No. | Tahun | R     |
|-----|-------|-------|
| 1   | 2025  | 1     |
| 2   | 2035  | 10.02 |

Beban sumbu standar kumulatif mengacu pada nilai  $VDF$  masing - masing jenis kendaraan dan beban sumbu standar kumulatif, dengan persamaan 2.3. Perhitungan jumlah kendaraan tahun 2025 dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan prediksi jumlah kendaraan dalam periode 10 (sepuluh) tahun dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan rekapitulasi beban sumbu standar kumulatif dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.4** Jumlah kendaraan Tahun 2025

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR / hari | ESA 4          |                | ESA 5          |                | R    | CESA 4         |                | CESA 5         |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |            | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |      | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (7) | 8   | 9          | (10 = 3*7*8*9) | (11 = 4*7*8*9) | (12 = 5*7*8*9) | (13 = 6*7*8*9) | (14) | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17=12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | 1                  | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 23218      | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 2,3,4              | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 8830       | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 5a                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 63         | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5b                 | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 20         | 10             | 10             | 10             | 10             | 1,00 | 3.504,00       | 3.504,00       | 3.796,00       | 3.796,00       |
| Truk 2 as (4 roda)        | 6a                 | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 880        | 176            | 176            | 141            | 141            | 1,00 | 64.240,00      | 64.240,00      | 51.392,00      | 51.392,00      |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6b                 | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 436        | 157            | 70             | 157            | 52             | 1,00 | 57.290,40      | 25.462,40      | 57.290,40      | 19.096,80      |
| Truk 3 as                 | 7a                 | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 4          | 27             | 8              | 54             | 11             | 1,00 | 9.869,60       | 2.861,60       | 19.856,00      | 3.854,40       |
|                           |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 134.904,00     | 96.068,00      | 132.334,40     | 78.139,20      |
| CESA 2025                 |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 230.972,00     |                | 210.473,60     |                |

**Tabel 4.5** Prediksi jumlah kendaraan selama umur rencana

| Jenis Kendaraan                    |                       | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR<br>/ hari | ESA 4                 |                       | ESA 5                     |                       | R     | CESA 4             |                    | CESA 5             |                    |
|------------------------------------|-----------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Mobil<br>Penumpang                 | Golongan<br>Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |               | Faktual               | Normal                | Faktual                   | Normal                |       | Faktual            | Normal             | Faktual            | Normal             |
| (1)                                | (2)                   | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)           | (10 =<br>3*7*8*<br>9) | (11 =<br>4*7*8<br>*9) | (12 =<br>5*7<br>*8*<br>9) | (13 =<br>6*7*8<br>*9) | (9)   | 15=(10*365*<br>14) | (16=11*365*<br>14) | (17=<br>12*365*14) | (18=13*365*<br>14) |
| Sepeda<br>Motor                    | 1                     | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 36929         | 0                     | 0                     | 0                         | 0                     | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Mobil,<br>Angkutan<br>Umum,<br>dll | 2,3,4                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 14044         | 0                     | 0                     | 0                         | 0                     | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Bus<br>Kecil                       | 5a                    | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 100           | 0                     | 0                     | 0                         | 0                     | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Bus<br>Besar                       | 5b                    | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 32            | 15                    | 15                    | 17                        | 17                    | 10,02 | 55.851,25          | 55.851,25          | 60.505,52          | 60.505,52          |
| Truk 2<br>as (4<br>roda)           | 6a                    | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 1400          | 280                   | 280                   | 224                       | 224                   | 10,02 | 1.023.939,59       | 1.023.939,59       | 819.151,68         | 819.151,68         |
| Truk 2<br>as (6<br>roda)           | 6b                    | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 693           | 250                   | 111                   | 250                       | 83                    | 10,02 | 913.167,95         | 405.852,42         | 913.167,95         | 304.389,32         |
| Truk 3<br>as                       | 7a                    | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 6             | 43                    | 12                    | 87                        | 17                    | 10,02 | 157.314,36         | 45.611,85          | 316.490,42         | 61.436,38          |
|                                    |                       |         |        |         |        |     |     |               |                       |                       |                           |                       |       | 2.150.273,15       | 1.531.255,12       | 2.109.315,56       | 1.245.482,89       |
| CESA 2035                          |                       |         |        |         |        |     |     |               |                       |                       |                           |                       |       | 3.681.528,27       |                    | 3.354.798,45       |                    |

**Tabel 4.6** Rekapitulasi jumlah kendaraan selama umur rencana

| Tahun  | 2025       | 2035         |
|--------|------------|--------------|
| CESA 4 | 230.972,00 | 3.681.528,27 |
| CESA 5 | 210.473,60 | 3.354.798,45 |

#### 4.1.3 Penambahan Komposisi Lalu Lintas

Penambahan komposisi lalu lintas dilakukan dengan menaikkan jumlah kendaraan berat sebesar 100%,150% dan 200% dari LHR normal yang bertujuan untuk membandingkan penurunan sisa umur layanan jalan dengan meningkatnya komposisi kendaraan pada suatu ruas jalan. Selain itu penambahan komposisi lalu lintas ini dapat menggambarkan kondisi lalu lintas kedepannya menggunakan Design Traffic Number (DTN) pada Asphalt Institute dalam kategori lalu lintas sedang (*medium*) atau lalulintas berat (*heavy*). Untuk LHR tahun 2025 dengan penambahan komposisi kendaraan berat disajikan pada Tabel 4.7 untk penambahan 100% dan prediksi jumlah kendaraan dalam periode 10 (sepuluh) tahun dapat dilihat pada Tabel 4.8

**Tabel 4.7** Volume lalu lintas rata-rata (LHR) dengan penambahan kendaraan sebesar 100% dari lalu lintas real

| No.   | Jenis Kend.               | Gol Kend. | LHR 2025 | LHR 2035 |
|-------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| 1.    | Sepeda Motor              | 1         | 23.218   | 36.929   |
| 2.    | Mobil, Angkutan Umum, dll | 2,3,4     | 8.830    | 14.044   |
| 3.    | Bus Kecil                 | 5a        | 126      | 200      |
| 4.    | Bus Besar                 | 5b        | 40       | 64       |
| 5.    | Truk 2 as (4 roda)        | 6a        | 1.760    | 2.799    |
| 6.    | Truk 2 as (6 roda)        | 6b        | 872      | 1.387    |
| 7.    | Truk 3 as                 | 7a        | 8        | 13       |
| Total |                           |           | 34.854   | 55.436   |

**Tabel 4.8** Volume lalu lintas dengan penambahan kendaraan 100% kondisi lalu lintas real

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR / hari | ESA 4          |                | ESA 5          |                | R    | CESA 4         |                | CESA 5         |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |            | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |      | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)        | (10 = 3*7*8*9) | (11 = 4*7*8*9) | (12 = 5*7*8*9) | (13 = 6*7*8*9) | (9)  | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17=12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | 1                  | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 23218      | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 2,3,4              | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 8830       | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 5a                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 126        | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5b                 | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 40         | 19             | 19             | 21             | 21             | 1,00 | 7.008,00       | 7.008,00       | 7.592,00       | 7.592,00       |
| Truk 2 as (4 roda)        | 6a                 | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 1760       | 352            | 352            | 282            | 282            | 1,00 | 128.480,00     | 128.480,00     | 102.784,00     | 102.784,00     |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6b                 | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 872        | 314            | 140            | 314            | 105            | 1,00 | 114.580,80     | 50.924,80      | 114.580,80     | 38.193,60      |
| Truk 3 as                 | 7a                 | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 8          | 54             | 16             | 109            | 21             | 1,00 | 19.739,20      | 5.723,20       | 39.712,00      | 7.708,80       |
|                           |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 269.808,00     | 192.136,00     | 264.668,80     | 156.278,40     |
| CESA 2025                 |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 461.944,00     |                | 420.947,20     |                |

**Tabel 4.9** Prediksi beban sumbu standar dengan penambahan volume lalu lintas 100%

| Jenis Kendaraan                 |                       | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR<br>/ hari | ESA 4                 |                           | ESA 5                     |                           | R     | CESA 4             |                    | CESA 5             |                    |
|---------------------------------|-----------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|---------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Mobil<br>Penumpang              | Golongan<br>Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |               | Faktual               | Normal                    | Faktual                   | Normal                    |       | Faktual            | Normal             | Faktual            | Normal             |
| (1)                             | (2)                   | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)           | (10 =<br>3*7*<br>8*9) | (11 =<br>4*7<br>*8*<br>9) | (12 =<br>5*7<br>*8*<br>9) | (13 =<br>6*7<br>*8*<br>9) | (9)   | 15=(10*365*1<br>4) | (16=11*365*<br>14) | (17=<br>12*365*14) | (18=13*365*<br>14) |
| Sepeda Motor                    | 1                     | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 36929         | 0                     | 0                         | 0                         | 0                         | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Mobil,<br>Angkutan<br>Umum, dll | 2,3,4                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 14044         | 0                     | 0                         | 0                         | 0                         | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Bus Kecil                       | 5a                    | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 200           | 0                     | 0                         | 0                         | 0                         | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Bus Besar                       | 5b                    | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 64            | 31                    | 31                        | 33                        | 33                        | 10,02 | 58.504.18          | 58.504.18          | 63379.53           | 63379.53           |
| Truk 2 as<br>(4 roda)           | 6a                    | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 2799          | 560                   | 560                       | 448                       | 448                       | 10,02 | 2.146.317.02       | 2.144.6317.02      | 1717053.61         | 1717053.61         |
| Truk 2 as<br>(6 roda)           | 6b                    | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 1387          | 499                   | 222                       | 499                       | 166                       | 10,02 | 1.915.181.27       | 851.191.68         | 1915181.27         | 638393.76          |
| Truk 3 as                       | 7a                    | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 13            | 86                    | 25                        | 173                       | 34                        | 10,02 | 368.902.16         | 106.959.8          | 742170.03          | 144068.3           |
|                                 |                       |         |        |         |        |     |     |               |                       |                           |                           |                           |       | 4.488.904.64       | 3.162.972.68       | 4437784.45         | 2562895.21         |
| CESA 2035                       |                       |         |        |         |        |     |     |               |                       |                           |                           |                           |       | 7.651.877,31       |                    | 7.000.679,66       |                    |

Penambahan volume lalu lintas pada 150% dan 200% data-data terlampir pada lampiran E sampai I pada halaman V sampai dengan IX. Dan rekapitulasi penambahan volume lalu lintas disajikan pada tabel berikut:

**Tabel 4.10** Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas Jalan Hangtuh

| No | Persen tasi tambahan (%) | LHR/Tahun |        | 2026       |            | 2035         |              |
|----|--------------------------|-----------|--------|------------|------------|--------------|--------------|
|    |                          | 2026      | 2035   | CESA4      | CESA 5     | CESA4        | CESA 5       |
| 1  | 100                      | 36.426    | 57.936 | 480.064,06 | 439.209,17 | 7.651.877,31 | 7.000.679,66 |
| 2  | 150                      | 36.427    | 57.938 | 481.823,36 | 442.318,97 | 7.679.919,30 | 7.050.247,64 |
| 3  | 200                      | 36.428    | 57.940 | 483.600,18 | 445.447,75 | 7.708.240,53 | 7.100.118,16 |

#### 4.1.4 Analisis hasil pengujian *core drill*

Nilai tebal perkerasan Jalan Hangtuh diperoleh dengan melakukan pengujian *core drill* di lokasi sebanyak 6 sampel. Nilai perkerasan ini sebagai acuan untuk pengujian DCP yang membutuhkan nilai tebal perkerasan keseluruhan, untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas (E) dan untuk digunakan dalam program *Kenpave – Kenlayer*.



**Gambar 4.2** Sampel pengujian *core drill*

Pengujian *core drill* dilakukan untuk mengetahui tebal lapis perkerasan yang telah dioverlay dengan tebal yang diukur setelah dicore adalah 6 cm.

Berdasarkan data sekunder Jalan Hangtuah pada Dinas PU Kota Palu mengalami rehabilitasi tahun 2015. Data struktur tebal lapis perkerasan *existing* ruas Jalan Hangtuah adalah sebagai berikut:

1. AC BC : 6 cm
2. AC BC : 6 cm
3. Base LPA – A : 15 cm
4. Sub Base LPA – B : 20 cm

#### 4.1.5 Analisis hasil pengujian tanah dasar

Pengujian tanah dasar menggunakan alat *Dynamic Penetrometer Cone* (DCP) dilakukan untuk mengetahui berapa nilai CBR (%) pada ruas Jalan Hangtuah. Proses pengujian dengan alat DCP tersaji pada Gambar 4.3 dengan 3 titik pengujian yang dilakukan di lapangan dan dilaksanakan pada musim hujan. 3 titik pada pengujian DCP berdasarkan pada kondisi *existing* yang akan ditinjau karena telah mengalami retak dan perlepasan butiran. Pada proses pengujian DCP dilakukan galian tanah sedalam 50 cm seperti tersaji pada Gambar 4.4 agar mendapat nilai CBR tanah dasar. Pada saat pengujian dilaksanakan pada musim hujan sehingga nilai faktor penyesuaian minimum nilai CBR berdasarkan pengujian DCP adalah 0,9 dan untuk memperoleh nilai CBR terkoreksi musim dengan mengalikan nilai CBR dan nilai faktor penyesuaian,

**Tabel 4. 11 Nilai CBR Perkerasan jalan menggunakan DCP terkoreksi**

| No | STA   | Nilai CBR | Nilai CBR Terkoreksi Musim |
|----|-------|-----------|----------------------------|
|    |       | (%)       | (%)                        |
| 1  | 0+290 | 33,4      | 30,06                      |
| 2  | 0+500 | 15,65     | 14,09                      |
| 3  | 0+700 | 15,71     | 14,14                      |



a



b



c

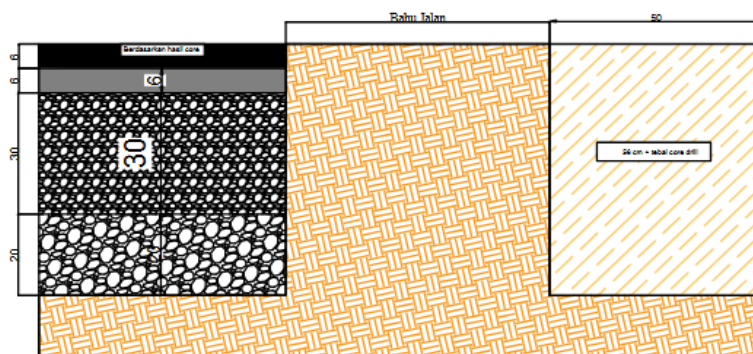


d

Ket:

- a) Galian tanah setebal 50 cm
- b) Pengujian untuk memperoleh nilai CBR STA 0+ 300
- c) Pengujian untuk memperoleh nilai CBR STA 0+500
- d) Pengujian untuk memperoleh nilai CBR STA 0+700

**Gambar 4.3** Kegiatan Pengujian DCP



**Gambar 4.4** Kedalaman titik pengujian CBR tanah dasar

Berdasarkan Tabel 4.11, nilai CBR lapangan di ambil nilai CBR terkecil yaitu 14,09 %. Korelasi antara modulus elastisitas (E) dan CBR untuk tanah dasar telah diperkenalkan oleh Heukelom dan foster, dengan menggunakan persamaan,  $E$  (MPa) = 10 x CBR yang didasarkan pada pengujian modulus tanah dasar dilapangan (Yoder & Witczak,1991), sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas untuk lapisan subgrade/ tanah dasar sebesar  $10 \times 14,09 = 140,9$  Mpa

#### **4.2. Analisis Tebal Perkerasan Eksisting Menggunakan Metode Mekanistik Empiris (Kenpave-Kenlayer)**

##### **4.2.1 Perhitungan Nilai Moduus Elastisitas**

Perhitungan modulus elastisitas (E) perkerasan jalan, asumsi dasar yang digunakan adalah bahwa perkerasan dianggap sebagai lapisan yang homogen, mempunyai sifat yang elastis (Boussinesq,1885) dan nilai E yang didapat merupakan nilai E komposit dari suatu perkerasan jalan. Telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa besarnya nilai E dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.4. Perlu diterangkan di sini bahwa rumus elastis (Persamaan 2.4) tersebut dengan anggapan harga E konstan, sedangkan pada kenyataan di lapangan hubungan antara tegangan vs regangan ( $\sigma$  vs  $\epsilon$ ) tidaklah linier dan harga E berubah-ubah dengan nilai  $\sigma$ , waktu dan juga kondisi tanah dibawah lapisan struktur perkerasan jalannya.

Diasumsikan bahwa beban roda kendaraan yang diterima perkerasan hampir sama dengan beban yang terjadi pada plat yang elastis dengan jari-jari a dan tekanan beban merata q (Huang, 2004), maka besarnya regangan vertikal yang terjadi akibat beban kendaraan yang diterima perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.6.

Berdasarkan persamaan di atas, data yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai Modulus Elastisitas (E) antara lain nilai lendutan (d), tekanan ban (q) dan beban as kendaraan (p). Contoh perhitungan untuk mendapat nilai E berdasarkan alat FWD pada titik 1 arah normal Tawaeli-Pantoloan adalah sebagai berikut :

- Jenis as kendaraan : Single Axle Dual Wheels (SADW)
- Beban as SADW : 8,16ton atau 8160 kg
- Tekanan ban (q) : 82,12 psi (5,77 kg/cm<sup>2</sup>)
- Nilai lendutan (d) : 0,2375 mm atau 0,02375 cm
- Poisson ratio (μ) : 0,40 (perkerasan jalan lentur)
- Beban per roda (p) :  $\frac{\text{Beban as kendaraan}}{\text{Jumlah roda as SAWD}} = \frac{8160}{4} = 2040 \text{ kg}$
- Radius bidang kontak ban (a) :  $\sqrt{\frac{p}{\pi q}} = \sqrt{\frac{2040}{3,14 \cdot 5,77}} = 10,62 \text{ cm}$

Sehingga;

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \frac{(1+\mu)qa}{d} \left\{ \frac{a}{(a^2+z^2)^{0,5}} + \frac{1+2\mu}{a} [(a^2+z^2)^{0,5} - z] \right\} \\
 &= \frac{(1+0,4) 5,77 \cdot 10,62}{0,2080} \left\{ \frac{10,62}{(10,62^2+4^2)^{0,5}} + \frac{1+2 \cdot 0,4}{10,62} [(10,62^2+4^2)^{0,5} - 4] \right\} \\
 &= \frac{85,70758}{0,2080} \left\{ \frac{10,62}{11,34832} + \frac{1,8}{10,62} [11,34832 - 4] \right\} \\
 &= 412.444 * \{(0,936 + 0,170) * [7,349]\} \\
 &= 412.44 * \{1,106 * 7,349\} \\
 &= 412.444 * \{8,128\} \\
 &= 3.352,345 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan modulus elastisitas pada kedalaman Z1, Z2, Z3, dan Z4 masing – masing sebesar 6, 6, 15, 20 cm sesuai Tabel 4.12. Data hasil perhitungan modulus elastisitas (E) terlihat pada Lampiran A hal I. Nilai lendutan terkecil pada ruas Jalan Hangtuhah terdapat pada segmen STA 0+700 dan terbesar pada segmen STA 0+500. Dari Tabel 4.12 didapatkan nilai modulus elastisitas perkerasan. Nilai Modulus elastisitas terhadap lendutan maksimum dan lendutan minimum ruas Jalan Hangtuhah dengan masing – masing kedalaman Z1, Z2, Z3, dan Z4 yang dapat dilihat pada Tabel 4.13. Nilai modulus elastisitas (E) Maksimum dan minimum pada tebal lapis perkerasan menjadi data input pada program *kenpave – kenlayer*.

**Tabel 4.12** Modulus elastisitas perkerasan

| No. Test | KM    | Z  |      | Modulus Elastisitas |                       |           |
|----------|-------|----|------|---------------------|-----------------------|-----------|
|          |       | ID | (cm) | ID                  | (kg/cm <sup>2</sup> ) | MPa       |
| 1        | 0+400 | Z1 | 6    | E1                  | 26.608,296            | 2.609,383 |
|          |       | Z2 | 6    | E2                  | 26.608,296            | 2.609,383 |
|          |       | Z3 | 15   | E3                  | 9.930,088             | 973,809   |
|          |       | Z4 | 20   | E4                  | 6.626,538             | 649,842   |
| 2        | 0+500 | Z1 | 6    | E1                  | 17.048,567            | 1.671,894 |
|          |       | Z2 | 6    | E2                  | 17.048,567            | 1.671,894 |
|          |       | Z3 | 15   | E3                  | 6.362,446             | 623,943   |
|          |       | Z4 | 20   | E4                  | 4.245,782             | 416,369   |
| 3        | 0+600 | Z1 | 6    | E1                  | 18.653,622            | 1.829,296 |
|          |       | Z2 | 6    | E2                  | 18.653,622            | 1.829,296 |
|          |       | Z3 | 15   | E3                  | 6.961,443             | 682,685   |
|          |       | Z4 | 20   | E4                  | 4.645,504             | 455,569   |
| 4        | 0+700 | Z1 | 6    | E1                  | 32.899,163            | 3.226,306 |
|          |       | Z2 | 6    | E2                  | 32.899,163            | 3.226,306 |
|          |       | Z3 | 15   | E3                  | 12.277,811            | 1.204,042 |
|          |       | Z4 | 20   | E4                  | 8.193,218             | 803,481   |
| 5        | 0+900 | Z1 | 6    | E1                  | 27.233,629            | 2.670,707 |
|          |       | Z2 | 6    | E2                  | 27.233,629            | 2.670,707 |
|          |       | Z3 | 15   | E3                  | 10.163,460            | 996,695   |
|          |       | Z4 | 20   | E4                  | 6.782,272             | 665,114   |

**Tabel 4.13** Nilai modulus elatisitas maksimum dan minimum

| No. | Kedalaman (Z)  |    | Modulus Elastisitas (E) |           |                  |            |
|-----|----------------|----|-------------------------|-----------|------------------|------------|
|     | Z              | cm | E <sub>max</sub>        | MPa       | E <sub>min</sub> | MPa        |
| 1   | Z <sub>1</sub> | 6  | E <sub>1</sub>          | 1.671,894 | E <sub>1</sub>   | 3.226,3060 |
| 2   | Z <sub>2</sub> | 6  | E <sub>2</sub>          | 1.671,894 | E <sub>2</sub>   | 3.226,3060 |
| 3   | Z <sub>3</sub> | 15 | E <sub>3</sub>          | 623,943   | E <sub>3</sub>   | 1.204,0420 |
| 4   | Z <sub>4</sub> | 20 | E <sub>4</sub>          | 416,369   | E <sub>4</sub>   | 803,4810   |
| 5   | Subgrade       | ∞  | E                       | 140,900   |                  |            |

#### 4.2.2 Penentuan Titik Kritis Lapis Perkerasan

Data tebal lapis perkerasan *existing* yang telah didapatkan dari Dinas PU Kota Palu, selanjutnya akan dievaluasi dengan menggunakan program *Kenpave* – *Kenlayer* untuk mengetahui titik kritis pada lapis perkerasan yang kemudian akan menganalisis sisa umur layan perkerasan Jalan Hangtuah.

##### 1. Data analisis

###### a. Beban as Sumbu Roda *Single Axle Dual Wheel (SADW)*

Pada analisis ini nilai beban as sumbu roda diambil berdasarkan data kondisi beban yang digunakan di Indonesia menurut (Silvia Sukirman, 1999) sebagai berikut:

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

###### b. Parameter tiap lapis perkerasan

Pada analisis lapisan permukaan perkerasan ini menggunakan material berbahan *viscoelastic*, namun dalam perhitungan ini dilakukan berdasarkan *linear elastic layered system*, sedangkan pada lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar diasumsikan tetap menggunakan material berbahan linier elastik, sehingga pada perhitungan ini hanya menggunakan parameter modulus elastis yang didapatkan dari pengujian lendutan

**Tabel 4.14** Parameter tebal lapis perkerasan Dmax Jalan Hangtua

|                          |                      |              |
|--------------------------|----------------------|--------------|
| <i>AC - BC</i>           | Modulus Elastis (E)  | 1.671,89 MPa |
|                          | <i>Poisson ratio</i> | 0,4          |
| <i>AC - BC</i>           | Modulus Elastis (E)  | 1.671,89 MPa |
|                          | <i>Poisson ratio</i> | 0,4          |
| <i>Base, LPA - A</i>     | Modulus Elastis (E)  | 623,943 MPa  |
|                          | <i>Poisson ratio</i> | 0,35         |
| <i>Sub Base, LPA - B</i> | Modulus Elastis (E)  | 416,369 MPa  |
|                          | <i>Poisson ratio</i> | 0,35         |
| <i>Subgrade</i>          | Modulus Elastis (E)  | 140,900 MPa  |
|                          | <i>Poisson ratio</i> | 0,45         |

1. Input Program Kenpave

a. Input Layernip

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

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

b. General

Selanjutnya masukkan data input general seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Parameter tebal lapis perkerasan

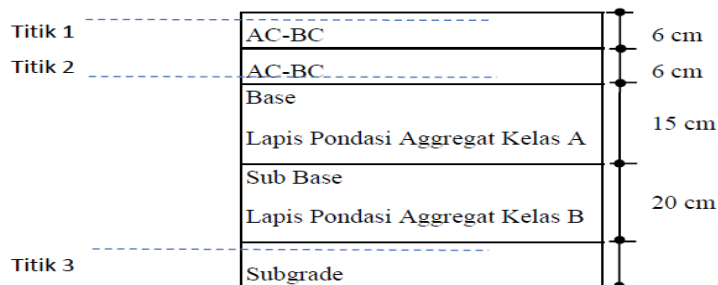
| <i>Title</i> | <i>Trial</i> | <b>Keterangan</b>                                                                     |
|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>MATL</i>  | 1            | Lapis perkerasan adalah linear elastis                                                |
| <i>NDAMA</i> | 0            | Diawal tidak terdapat analisis kerusakan                                              |
| <i>NPY</i>   | 1            | Mengikuti <i>Kenpave</i>                                                              |
| <i>NLG</i>   | 1            | Mengikuti <i>Kenpave</i>                                                              |
| <i>DEL</i>   | 0,001        | Akurasi analisis                                                                      |
| <i>NL</i>    | 5            | Jumlah Lapis Perkerasan ( <i>AC BC, AC-BC, Base LPA-A, Sub Base LPA-B, Subgrade</i> ) |
| <i>NZ</i>    | 6            | Jumlah titik tinjau kerusakan                                                         |
| <i>ICL</i>   | 80           | Mengikuti <i>Kenpave</i>                                                              |
| <i>NSDT</i>  | 9            | Untuk hasil analisis perpindahan vertikal, nilai tegangan dan nilai regangan          |
| <i>NBOND</i> | 1            | Semua lapisan perkerasan saling terikat                                               |
| NLBT         | 0            | -                                                                                     |
| NLTC         | 0            | -                                                                                     |
| NUNIT        | 1            | Unit satuan Standar Internasional                                                     |

*c. Zcoord*

Memasukkan data kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya yaitu terdapat 3 (tiga) titik tinjau kerusakan, dimana titik 1 (pertama) merupakan kedalaman tinjauan berupa lendutan, titik 2 (kedua) adalah kedalaman tinjauan kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan kerusakan retak alur (*rutting*).

Perbedaan tinjauan pada titik 2 (kedua) tersebut adalah yang pertama terjadi tegangan vertikal dan yang kedua terjadi regangan horizontal, sedangkan di titik 3 (ketiga) adalah kedalaman tinjauan kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*).

Titik tinjau kedalaman kerusakan dan data input *Zcoord* dapat dilihat pada gambar 4.5 dan Tabel 4.16.

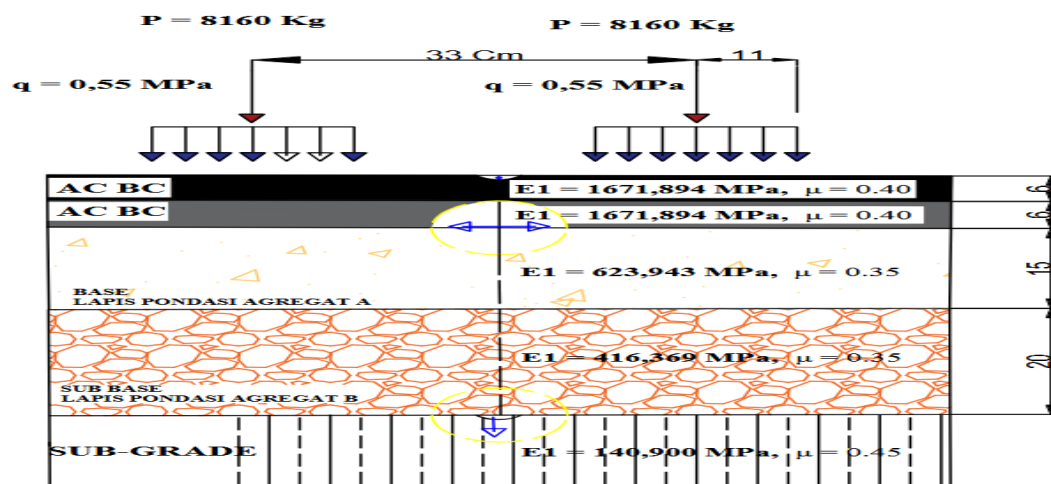


**Gambar 4.5** Titik tinjau kedalaman kerusakan

**Tabel 4.16** Titik Kritis Lapis Perkerasan

| No. | Kedalaman (cm) | keterangan             |
|-----|----------------|------------------------|
| 1   | 0              | Permukaan Perkerasan   |
| 2   | 0,001          | Lendutan               |
| 3   | 11,99          | fatigue dan ruting     |
| 4   | 12             | dasar lapis perkerasan |
| 5   | 27             | Dasar lapis Pondasi    |
| 6   | 47,001         | Permanet Deformation   |

Untuk detail kedalaman input *Zcoord* diilustrasikan sesuai Gambar 4.6. di bawah



**Gambar 4.6** Ilustrasi titik tinjau analisis

d. *Layer*

Menu *layer* ini berfungsi untuk input data parameter perkerasan berupa tebal perkerasan dan *poisson's ratio*. Nilai *poisson's ratio* yang digunakan merupakan nilai *typical* menurut (Huang, 2004). Data input pada menu *layer* dapat dijelaskan dan dilihat pada Tabel 4.17

**Tabel 4.17** Input Parameter layer

| No.<br><i>Layer</i> | Tebal<br>(cm) | <i>poisson's ratio</i> | Keterangan               |
|---------------------|---------------|------------------------|--------------------------|
| 1                   | 6             | 0,40                   | <i>AC-BC</i>             |
| 2                   | 6             | 0,40                   | <i>AC-BC</i>             |
| 3                   | 15            | 0,35                   | <i>Base, LPA – A</i>     |
| 4                   | 20            | 0,35                   | <i>Sub Base, LPA – B</i> |
| 5                   | $\infty$      | 0,45                   | <i>Subgrade</i>          |

e. Moduli (Modulus)

Menu moduli berfungsi untuk input parameter perkerasan berupa modulus resilient atau modulus elastis. Nilai modulus elastis ini diperoleh dari pengujian lendutan dengan menggunakan alat BB dan ke koreksi ke FWD dan pengujian CBR dengan menggunakan alat DCP. Data input pada menu moduli dapat dilihat pada Tabel 4.18 sampai dengan Tabel 4.19

**Tabel 4.18** Input Moduli dmax Jalan Hangtuh

| No. | Modulus Elastisitas (E), KPa |
|-----|------------------------------|
| 1   | 1.671.894                    |
| 2   | 1.671.894                    |
| 3   | 623.943                      |
| 4   | 416.369                      |
| 5   | 140.900                      |

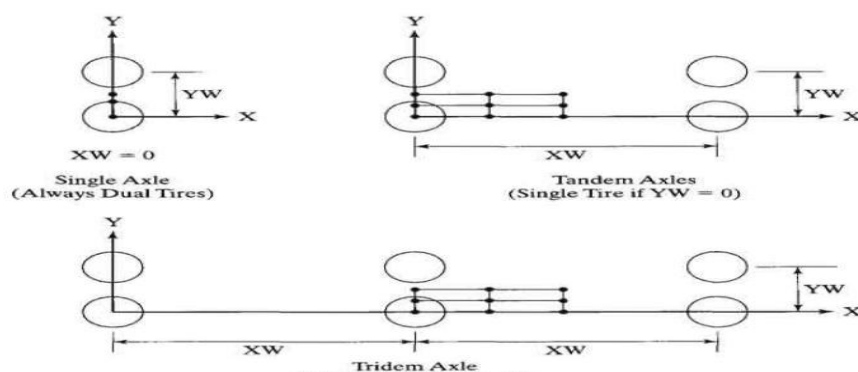
**Tabel 4.19** Input Moduli dmin Jalan Hangtua

| No. | Modulus Elastisitas (E), KPa |
|-----|------------------------------|
| 1   | 3.226.306                    |
| 2   | 3.226.306                    |
| 3   | 1.201.012                    |
| 4   | 803.481                      |
| 5   | 140.900                      |

f. Beban (Load)

Pada menu load ini akan dimasukkan data beban gandar yang akan diterima oleh perkerasan. Input data pada menu ini adalah :

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



**Gambar 4.7** Plan view of multiple wheels

(Sumber : (Huang, 2004))

5. NPT, nilai koordinat NPT yang ditinjau adalah 3, dengan nilai koordinat X dan Y dapat dilihat pada Tabel. 4.20.

**Tabel 4.20** Koordinat NPT

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

Setelah seluruh data telah terisi di setiap menu tampilan, selanjutnya disimpan dan kemudian kembali ke menu utama Kenpave. Data akan di-running dengan klik menu Kenlayer. Selanjutnya untuk melihat hasil analisis nilai tegangan dan regangan, klik menu Editor kemudian membuka nama file. Hasil analisis menggunakan program *Kenpave – Kenlayer* dapat dilihat pada Lampiran B sampai dengan Lampiran C Hal. 2 – 3.

Berdasarkan hasil perhitungan analisis pada program *kenpave kenlayer* diperoleh titik kritis sesuai teori bahwa kerusakan *fatigue cracking* berada pada lapis dasar lapis permukaan dan *permanent deformasi* terjadi di bawa lapis pondasi bawah

#### **4.2.3 Penentuan Sisa Umur Layan Lapis Perkerasan Eksisting**

Hasil analisis yang dilakukan oleh *Kenlayer* menghasilkan output analisis berupa tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Respons yang diberikan untuk *single axle load* (roda gandar tunggal) pada analisis ini berupa *vertical compressive strain* yang terdapat pada permukaan tanah dasar dan *radial (tangential) tensile strain* yang terletak di aspal bagian bawah. Tegangan dan regangan yang ada pada Tabel 4.21 sampai dengan Tabel 4.22 didapat ketika struktur perkerasan jalan sudah dibebani. Sedangkan pada Tabel 4.23 sampai dengan Tabel 4.24 merupakan rekapitulasi nilai tegangan dan regangan terbesar dari

tiap layer. Pengujian *Kenpave-Kenlayer* dilakukan terhadap  $\delta_{Max}$  dan  $\delta_{Min}$  pada ruas Jalan Hangtuah. Setiap pengujian memberikan informasi mengenai respons perkerasan jalan terhadap tekanan ban standar dan nyata lapangan dan hasil analisis dari setiap nilai tekanan ban tersebut secara rinci disajikan pada tabel berikut

1. Hasil analisis dengan Nilai tekanan Ban standar

**Tabel 4.21** Hasil analisis perkerasan Existing dengan Kenlayer  $\delta_{Max}$  STA 0+500 dengan beban standar pada Jalan Hangtuah

| <i>Point No</i> | <i>Vertical Coordinate</i> | <i>Vertical Strain <math>\epsilon_c</math></i> | <i>Minor Stress Strain <math>\epsilon_t</math></i> |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1               | 0                          | -3,68E-05                                      | -3,68E-05                                          |
|                 | 0,001                      | -3,68E-05                                      | -3,68E-05                                          |
|                 | 11,999                     | 2,36E-04                                       | -1,45E-04                                          |
|                 | 12                         | 2,36E-04                                       | -1,45E-04                                          |
|                 | 47                         | 1,49E-04                                       | -1,09E-04                                          |
|                 | 47,001                     | 2,14E-04                                       | -1,09E-04                                          |
| 2               | 0                          | -1,87E-05                                      | -1,87E-05                                          |
|                 | 0,001                      | -1,86E-05                                      | -1,86E-05                                          |
|                 | 11,999                     | 1,41E-04                                       | -1,34E-04                                          |
|                 | 12                         | 1,41E-04                                       | -1,34E-04                                          |
|                 | 47                         | 1,62E-04                                       | -1,15E-04                                          |
|                 | 47,001                     | 2,32E-04                                       | -1,15E-04                                          |
| 3               | 0                          | -1,02E-04                                      | -1,02E-04                                          |
|                 | 0,001                      | -1,02E-04                                      | -1,02E-04                                          |
|                 | 11,999                     | 7,97E-05                                       | -1,23E-04                                          |
|                 | 12                         | 7,97E-05                                       | -1,23E-04                                          |
|                 | 47                         | 1,64E-04                                       | -1,17E-04                                          |
|                 | 47,001                     | 2,35E-04                                       | -1,17E-04                                          |

**Tabel 4.22** Hasil perkerasan *existing* dengan kenlayer dmin pada STA 0+700 dengan beban standar pada Jalan Hangtuah

| <i>Point No</i> | <i>Vertical Coordinate</i> | <i>Vertical Strain <math>\epsilon_c</math></i> | <i>Minor Stress Strain <math>\epsilon_t</math></i> |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1               | 0                          | -3,02E-05                                      | -3,02E-05                                          |
|                 | 0,001                      | -3,02E-05                                      | -3,02E-05                                          |
|                 | 11,999                     | 1,20E-04                                       | -7,39E-05                                          |
|                 | 12                         | 1,20E-04                                       | -7,39E-05                                          |
|                 | 47                         | 9,02E-05                                       | -7,67E-05                                          |
|                 | 47,001                     | 1,53E-04                                       | -7,67E-05                                          |
| 2               | 0                          | -2,14E-05                                      | -2,14E-05                                          |
|                 | 0,001                      | -2,13E-05                                      | -2,13E-05                                          |
|                 | 11,999                     | 7,09E-05                                       | -6,84E-05                                          |
|                 | 12                         | 7,09E-05                                       | -6,84E-05                                          |
|                 | 47                         | 9,73E-05                                       | -8,08E-05                                          |
|                 | 47,001                     | 1,65E-04                                       | -8,08E-05                                          |
| 3               | 0                          | -6,44E-05                                      | -6,44E-05                                          |
|                 | 0,001                      | -6,44E-05                                      | -6,44E-05                                          |
|                 | 11,999                     | 3,93E-05                                       | -6,27E-05                                          |
|                 | 12                         | 3,93E-05                                       | -6,27E-05                                          |
|                 | 47                         | 9,85E-05                                       | -8,16E-05                                          |
|                 | 47,001                     | 1,67E-04                                       | -8,16E-05                                          |

**Tabel 4.23** Rekapitulasi regangan dan tegangan dmax pada STA 0+500

| <i>Point No.</i>  | $\delta$<br>di titik<br>0,001 cm | $\epsilon_c$<br>di titik<br>11,999 cm | $\epsilon_t$<br>di titik<br>11,999 cm | $\epsilon_c$<br>di titik<br>47,001 cm |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1                 | 3,68E-05                         | 2,36E-04                              | 1,45E-04                              | 2,14E-04                              |
| 2                 | 1,86E-05                         | 1,41E-04                              | 1,34E-04                              | 2,32E-04                              |
| 3                 | 1,02E-04                         | 7,97E-05                              | 1,23E-04                              | 2,35E-04                              |
| Nilai<br>Maksimum | 0,00010                          | 2,358E-04                             | 1,446E-04                             | 2,351E-04                             |

Data hasil analisis perhitungan tegangan dan regangan  $\delta_{\text{Max}}$  STA.0+500 Jalan Hangtuh menggunakan program *Kenpave-Kenlayer* terdapat pada Lampiran B sampai dengan Lampiran C Hal. 2-3.

**Tabel 4.24** Rekapitulasi tegangan dan regangan  $\delta_{\text{min}}$  STA 0+700 Jalan Hangtuh

| <i>Point No.</i> | $\delta$<br>di titik<br>0,001 cm | $\epsilon_c$<br>di titik<br>11,999 cm | $\epsilon_t$<br>di titik<br>11,999 cm | $\epsilon_c$<br>di titik<br>47,001 cm |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1                | 3,02E-05                         | 1,20E-04                              | 7,39E-05                              | 1,53E-04                              |
| 2                | 2,13E-05                         | 7,09E-05                              | 6,84E-05                              | 1,65E-04                              |
| 3                | 6,44E-05                         | 3,93E-05                              | 6,27E-05                              | 1,67E-04                              |
| Nilai Maksimum   | 0,00006                          | 1,204E-04                             | 7,386E-05                             | 1,671E-04                             |

Selanjutnya data hasil analisis perhitungan tegangan dan regangan menggunakan program *Kenpave-Kenlayer* pada lendutan minimum,  $\delta_{\text{Min}}$  STA.0+700 Jalan Hangtuh dapat dilihat dan dijelaskan pada Pada tabel 4.23 dan tabel 4.24 akan digunakan sebagai kontrol jumlah beban gandar dan menghitung sisa umur layan perkerasan jalan.

#### 4.2.4 Kontrol Jumlah Beban Gandar Perkerasan *Existing*

Setelah memperoleh nilai tegangan dan regangan akan dilakukan Analisa kerusakan berupa *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* sebagai kontrol prediksi umur pelayanan jalan. Kontrol dilakukan dengan cara menghitung nilai  $N_f$  yaitu untuk mengontrol kerusakan akibat *fatigue cracking* dan nilai  $N_d$  untuk mengontrol kerusakan akibat *rutting* dan *permanent deformation* dengan hasil akhir harus lebih besar dari nilai *CESA* yang telah diprediksi.

Perhitungan kontrol jumlah beban gandar perkerasan *existing* akibat repetisi beban lalu lintas untuk  $\delta_{Max}$  STA.0+500 Jalan Hangtuah adalah sebagai berikut

1. Perhitungan nilai Nf

$$\begin{aligned} Nf &= 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854} \\ &= 0,0796 (1.446 \times 10^{-4})^{-3,921} |1.67 \times 10^6|^{-0,854} \\ Nf &= 250.298.730,217 \text{ ESAL} \end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai Nd

$$\begin{aligned} Nd &= f_4 (\epsilon c)^{-f_5} \\ Nd &= 1,365 \times 10^{-9} \times (2.358 \times 10^{-4})^{-4,477} \\ Nd &= 23.727.613,27 \text{ ESAL} \end{aligned}$$

3. Perhitungan nilai Nd

$$\begin{aligned} Nd &= f_4 (\epsilon c)^{-f_5} \\ Nd &= 1,365 \times 10^{-9} \times (2.351 \times 10^{-4})^{-4,477} \\ Nd &= 24.045.545,32 \text{ ESAL} \end{aligned}$$

#### 4.2.5 Kontrol Umur Layan Perkerasan *Existing*

Hasil perhitungan analisis program *Kenpave-Kenlayer* menunjukkan bahwa ruas Jalan Hangtuah akan mengalami kerusakan berupa *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* setelah dilalui repetisi beban masing-masing sebesar 250.298.730,21 *ESAL*, 23.727.613,27 *ESAL* dan 24.045.545,32 *ESAL* pada STA 0+500. Untuk menganalisa sisa umur layanan dari Jalan Hangtuah dihitung berdasarkan persamaan 2.7 dan hasil dari perhitungan persamaan 2.7 terlampir. Pada Tabel 4.25 Hasil perhitungan sisa umur layanan perkerasan.

**Tabel 4.25** Hasil perhitungan sisa umur layanan perkerasan

| Tahun ke | NP (CESA5)(ESAL) | N1,5                                        |                                             |                                                | Sisa Umur Layanan  |                    |                        |
|----------|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
|          |                  | <i>Repetisi beban terhdg Fatigue (ESAL)</i> | <i>Repetisi beban terhdg Rutting (ESAL)</i> | <i>Repetis beban terhdg Deformation (ESAL)</i> | <i>Fatigue (%)</i> | <i>Rutting (%)</i> | <i>Deformation (%)</i> |
| 1        | 219.438,00       | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,91              | 99,08              | 99,09                  |
| 2        | 457.272,00       | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,82              | 98,07              | 98,09                  |
| 3        | 733.034,48       | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,71              | 96,91              | 96,95                  |
| 4        | 1.042.131,02     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,58              | 95,61              | 95,66                  |
| 5        | 1.326.740,54     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,47              | 94,41              | 94,48                  |
| 6        | 1.659.536,81     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,34              | 93                 | 93,09                  |
| 7        | 2.061.657,82     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,18              | 91,31              | 91,43                  |
| 8        | 2.453.760,97     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,02              | 89,66              | 89,79                  |
| 9        | 2.877.206,82     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 98,85              | 87,87              | 88,03                  |
| 10       | 3.333.116,93     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 98,67              | 85,95              | 86,14                  |

Berdasarkan pada analisis data lapis *existing* pada ruas Jalan Hangtuah menggunakan metode mekanistik empiris dengan program *Kenpave-Kenlayer* terlihat bahwa perkerasan mampu menerima beban repetisi sebesar 24.045.545,32 ESAL sampai terjadi *deformation permanent*, 23.727.613,27 ESAL sampai terjadi repetisi beban *ruting* dan 250.298.730,21 ESAL sampai terjadi repetisi beban *fatigue*. pada perkerasan *existing* diketahui bahwa lapisan perkerasan mampu mengakomodasi beban sampai tahun ke 10 dengan sisa umur layanan untuk deformation permanent 86.14%, ruting sebesar 85.95 % dan fatigue cracking sebesar 98.67%.

#### 4.2.6 Kontrol Penambahan Volume Lalu Lintas pada perkerasan Existing

Kontrol penambahan komposisi lalu lintas dilakukan dengan menaikkan jumlah kendaraan berat sebesar 100%,150% dan 200% dari LHR normal yang bertujuan untuk membandingkan penurunan sisa umur layanan jalan dengan meningkatnya komposisi kendaraan pada suatu ruas Jalan Hangtuah. Analisis penambahan

volume lalu lintas terhadap sisa umur layan pada perkerasan disajikan pada Tabel

4.26 sampai dengan Tabel 4.28 berikut:

**Tabel 4.26** Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas sebesar 100% terhadap sisa umur layan

| Tahun ke | NP (CESA5)(ESAL) | N1,5                                        |                                             |                                                | Sisa Umur Layanan  |                    |                        |
|----------|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
|          |                  | <i>Repetisi beban terhdp Fatigue (ESAL)</i> | <i>Repetisi beban terhdp Rutting (ESAL)</i> | <i>Repetis beban terhdp Deformation (ESAL)</i> | <i>Fatigue (%)</i> | <i>Rutting (%)</i> | <i>Deformation (%)</i> |
| 1        | 439.209,17       | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,82              | 98,15              | 98,17                  |
| 10       | 6.999.700,19     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 97,20              | 70,50              | 70,89                  |

**Tabel 4.27** Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas sebesar 150% terhadap sisa umur layan

| Tahun ke | NP (CESA5)(ESAL) | N1,5                                        |                                             |                                                | Sisa Umur Layanan  |                    |                        |
|----------|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
|          |                  | <i>Repetisi beban terhdp Fatigue (ESAL)</i> | <i>Repetisi beban terhdp Rutting (ESAL)</i> | <i>Repetis beban terhdp Deformation (ESAL)</i> | <i>Fatigue (%)</i> | <i>Rutting (%)</i> | <i>Deformation (%)</i> |
| 1        | 442.318,97       | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,82              | 98,14              | 98,16                  |
| 10       | 7.049.261,24     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 97,18              | 70,29              | 70,68                  |

**Tabel 4.28** Rekapitulasi penambahan volume lalu lintas sebesar 200% terhadap sisa umur layan

| Tahun ke | NP (CESA5)(ESAL) | N1,5                                        |                                             |                                                | Sisa Umur Layanan  |                    |                        |
|----------|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
|          |                  | <i>Repetisi beban terhdp Fatigue (ESAL)</i> | <i>Repetisi beban terhdp Rutting (ESAL)</i> | <i>Repetis beban terhdp Deformation (ESAL)</i> | <i>Fatigue (%)</i> | <i>Rutting (%)</i> | <i>Deformation (%)</i> |
| 1        | 445.447,75       | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 99,82              | 98,12              | 98,15                  |
| 10       | 7.099.124,78     | 250.298.730,21                              | 23.727.613,27                               | 24.045.545,32                                  | 97,16              | 70,08              | 70,48                  |

Berdasarkan data analisis penambahan volume lalu lintas 100 %,150% dan 200%, sisa umur layanan akibat *deformation* pada beban standar tahun ke 1 sebesar 98.17%, 98,16% dan 98,15% masih mampu menerima beban lalu lintas dan pada Tahun ke 10 repetisi akibat *deformation* dengan penambahan Volume lalu lintas 100%, 150% dan 200% sebesar 70.89%, 70.68%, 70,48% yang artinya perkerasan

jalan masih mampu mengakomodasi repetisi beban terhadap *permanent deformation* sampai tahun ke 7.

### 4.3 Penentuan Tebal lapis Perkerasan

#### 4.3.1 Kondisi Lalu Lintas

Data lalu lintas pada Jalan Hangtuh adalah data sekunder yang diperoleh pada Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu. Adapun data lalu lintas Jalan Hangtuh dalam table 4.29

Tabel 4.29 Data lalu lintas Jalan Hangtua

| No. | Data                            | Keterangan             |
|-----|---------------------------------|------------------------|
| 1.  | Jenis Jalan                     | Kolektor Sekunder      |
| 2.  | Umur Rencana                    | 10 tahun (2025 – 2035) |
| 3.  | Pertumbuhan lalu lintas ( i ) % | 4,75 %                 |
| 4.  | Distribusi kendaraan            | 1 lajur 2 arah         |

#### 4.3.2 Analisis Lalu Lintas

Distribusi kendaraan dan volume lalu lintas harian rata – rata (LHR) Jalan Hangtua disajikan pada Tabel 4.30

**Tabel 4.30** Proyeksi volume lalu lintas rata-rata (LHR) Jalan Hangtua

| Jenis Kendaraan | LHR<br>2025 | LHR<br>2026 | LHR<br>2027 | LHR<br>2028 | LHR<br>2029 | LHR<br>2035 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| (1)             | (2)         | (3)         | (4)         | 5           | 6           | 7           |
| 1               | 23.218      | 24.321      | 25.476      | 26.686      | 27.954      | 36.929      |
| 2,3,4           | 8.830       | 9.249       | 9.689       | 10.149      | 10.631      | 14.044      |
| 5A              | 63          | 66          | 69          | 72          | 76          | 100         |
| 5B              | 20          | 21          | 22          | 23          | 24          | 32          |
| 6A              | 880         | 922         | 966         | 1.011       | 1.059       | 1.400       |
| 6B              | 436         | 457         | 478         | 501         | 525         | 693         |
| 7A2             | 4           | 4           | 4           | 5           | 5           | 6           |
| Jumlah          | 33.451      | 35.040      | 36.704      | 38.448      | 40.274      | 53.205      |

Selanjutnya perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas (R) selama umur rencana di sajikan sesuai pada Tabel 4.31

**Tabel 4.31 Nilai R selama umur rencana**

| No. | Tahun | R     |
|-----|-------|-------|
| 1.  | 2026  | 1,000 |
| 2.  | 2027  | 2,001 |
| 3.  | 2028  | 3,001 |
| 4.  | 2029  | 4,003 |
| 5.  | 2035  | 10.02 |

Sehingga perhitungan rencana prediksi jumlah kendaraan setiap tahunnya dalam periode 10 (sepuluh) tahun dapat dilihat pada Tabel 4.32 sebagai berikut:

**Tabel 4.32 Jumlah LHR tahunan**

| No | Tahun | Jumlah kendaraan |
|----|-------|------------------|
| 1  | 2026  | 35.040           |
| 2  | 2027  | 36.704           |
| 3  | 2028  | 38.448           |
| 4  | 2029  | 40.274           |
| 5  | 2030  | 42.187           |
| 6  | 2031  | 44.191           |
| 7  | 2032  | 46.290           |
| 8  | 2033  | 48.489           |
| 9  | 2034  | 50.792           |
| 10 | 2035  | 53.205           |

#### **4.3.3 Analisis pemicu penanganan**

Dalam menganalisis pemicu penanganan, digunakan lendutan Dwakil BB pada STA 0+400 dan sampe STA 0+900 Jalan Hangtuah. Langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung lengkung lendutan karakteristik berdasarkan pengujian dengan Benkelmen Beam pada Jalan Hangtua. Dapat dilihat pada Tabel 4.1
2. Menghitung standar deviasi (s)

$$s = \sqrt{\frac{(5 \cdot 0.5446) - (1.6012)^2}{5(5-1)}}$$

$$= 0.0891$$

3. Menghitung lendutan *BB* rerata ( $d_r$ )

Perhitungan  $d_r$  menggunakan persamaan berikut:

$$d_r = \frac{1.6012}{5}$$

$$= 320 \text{ } \mu\text{m}$$

4. Menghitung lendutan wakil ( $D_{\text{Wakil}}$ )

Perhitungan lendutan wakil ( $D_{\text{Wakil}}$ ) menggunakan persamaan :

$$D_{\text{Wakil}} = d_r + (1.28 \cdot s)$$

$$= 320.2 + (1.28 \cdot 0.089)$$

$$= 320.31 \text{ } \mu\text{m}$$

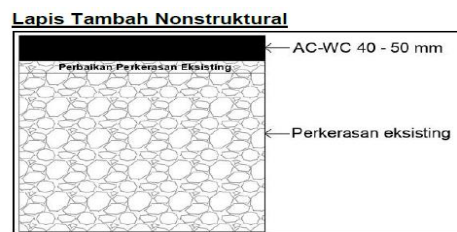
$$= 0.320 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan  $D_{\text{Wakil}}$  Jalan Hangtua disajikan pada Tabel 4.33 dibawah ini:

**Tabel 4.33** Rekapitulasi nilai lendutan wakil,  $D_{\text{Wakil}}$

| Jalan Hangtua                         |                   |
|---------------------------------------|-------------------|
| Standar Deviasi, s                    | 0.089             |
| Lendutan <i>BB</i><br>Rerata, $d_r$   | 320 $\mu\text{m}$ |
| Lendutan Wakil,<br>$D_{\text{Wakil}}$ | 0,32 mm           |

Hasil analisis perhitungan lendutan Dwakil dapat dibandingkan dengan tabel lendutan pemicu untuk pemilihan jenis penanganan (Lampiran K hal. XI) pada lapis overlay dan rekonstruksi bersama nilai CESA yang telah dihitung sebesar 3.354.798,45 ESAL. Hasil analisis bahwa lendutan pada Benkelmen Beam lapis perkerasan mampu mengakomodasi beban repetisi *deformation permanent* sebesar 24.045.545,32 ESAL sampai pada umur rencana 10 tahun sebesar 86.05%. Dan pemilihan jenis penanganan *overlay nonstructural*. Untuk tebal lapis tambah nonstruktural berdasarkan Dirjen Bina Marga tahun 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut:



**Gambar 4.8 Lapis Tambah Nonstruktural**

Sumber: Dirjen Bina Marga ,2024

Untuk desain tebal lapis tambah nonstruktural berdasarkan dirjen Bina Marga 2024 harus lebih besar atau sama dengan tebal minimum. Dimana permukaan yang tidak rata memerlukan lapis aspal yang lebih tebal untuk mencapai kerataan yang dikehendaki. Untuk Jalan Hangtuah berdasarkan data *SDI* yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu Tahun 2024 menyatakan bahwa 86,5 % kondisi baik pada permukaan jalan dan 13,5 % dalam kondisi sedang. Data tersebut tersajikan pada tabel 4.34.

**Tabel 4.34** Hasil Pengujian dengan Metode SDI

| Nama Ruas      | Panjang Ruas (Km) | Lebar (m) | Jenis Permu kaan (%) | Panjang tiap kondisi |      |        |     |              |    |             |    |
|----------------|-------------------|-----------|----------------------|----------------------|------|--------|-----|--------------|----|-------------|----|
|                |                   |           |                      | Baik                 |      | Sedang |     | Rusak ringan |    | Rusak Berat |    |
|                |                   |           |                      | %                    | Km   | %      | Km  | %            | Km | %           | Km |
| 1              | 2                 | 3         | 4                    | 5                    | 6    | 7      | 8   | 9            | 10 | 11          | 12 |
| Jalan Hangtuah | 1,48              | 6         | Aspal                | 86,5                 | 1,28 | 13,5   | 0,2 | 0            | 0  | 0           | 0  |

Berdasarkan pada tabel 2.3 dan tabel 2.4 kondisi Jalan Hangtuah berdasarkan hasil analisis dengan metode SDI pada Tabel 4.34, masih dalam kondisi baik dengan penanganan berupa pemeliharaan rutin.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian di lapangan dan analisis data, beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan adalah:

1. Analisis data hasil pengujian Benkelmen Beam menghasilkan nilai lendutan maksimum pada STA 0+500 sebesar 0.325 mm dan nilai lendutan minimum pada STA 0+700 sebesar 0.168 mm.
2. Analisis sisa umur layan perkerasan Jalan Hangtuh berdasarkan analisis repetisi beban standar pada lendutan maksimum akan mengalami *fatigue cracking* sebesar 1.345 dan *rutting* sebesar 14.14 % pada tahun ke 10 yang artinya perkerasan masih mampu menerima beban *fatigue cracking* dan *rutting*. Pada penambahan volume lalu lintas 100%, 150% dan 200% pada beban *permanent deformation* masing-masing sebesar 70,89%, 70,68% dan 70,48% hasil analisis ini bahwa perkerasan Jalan Hangtuh juga masih mampu melayani beban lalu lintas sampe tahun ke 7 dari umur rencana 10 tahun.
3. Setelah dilakukan analisis terhadap beban standar pada Jalan Hangtuh, hasil lendutan pada pengujian dengan alat *Benkelmem Beam*, penanganan lapis perkerasan adalah overlay nonstruktural dengan tebal 40-50 mm.

#### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian di lapangan dan analisis data, perlu dilakukan analisis sisa umur layan sampai terjadi *failure* pada perkerasan dan melakukan pengujian lendutan dengan alat FWD sebagai pembanding serta dapat membandingkan

metode mekanistik empiris dengan metode lainya dalam hal perkiraan umur sisa  
layan lapis perkerasan.



## DAFTAR PUSTAKA`

- Adrian, Y. D., Suryo, H. T. U., & Agus, T. M. (2021). *Prediksi Sisa Umur Perkerasan Luntur Dengan Metode Mekanistik-Empirik Ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro Yogyakarta*. Jurnal Transportasi Vol. 21 No. 3 Desember 2021: 173–186. Jln. Grafika 2, Kampus UGM.
- Annisa, P. W. (2018). *Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris Dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi-Kanigoro-Planjan*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Apriyadi, D. W. (2018). *Evaluasi Kondisi Perkerasan Dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode Pavement Condition Index, Bina Marga Dan Metode Mekanistik Empirik Dengan Program Kanpeve*. (Studi kasus Ruas Jalan Magelang – Yogyakarta Sta 11±000 – Sta 12±000). Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Arbani, F. R. (2018). *Analisis Kerusakan Dini Akibat Perubahan Volume Lalu Lintas Pada Perkerasan Lentur (Studi Kasis : Ruas Jalan Ahmad Yani Kartasura)*. Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*. SKBI-2.4.26, 1987, 1 – 11, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Nomor 03/M/BM/2024. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2000). *Perencanaan Tebal lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.

- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hasna, R. N. A. (2024). *Evaluasi Kondisi Perkerasan Menggunakan Pavement Condition Index (PCI) Dan Prediksi Umur Pelayanan Jalan Dengan Pemodelan Viskoelastik*. Studi Kasus: Jalan Koroulon–Joholanang Sta 0+00-1+00. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Hesti, R., & Latif, B. S. (2021). *Prediksi Present Serviceability Index Untuk Analisis Sisa umur Layan Perkerasan Lentur*. Ditjen Bina Marga, Kementerian PUPR. Satker P2JN DIY, BBPJJN Jateng-DIY. Yogyakarta.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavements Analysis and Design, University of Kentucky*. New Jersey. U.S.A: Prentice Hall.
- Huang, K. (2014). *Snip-Snap: An Analysis of Interpersonal Meaning In A Political TV Interview*. International Journal of English Linguistics. Vol. 4 No. 5 hal. 89-99.
- Muhammad, F. A. (2023). *Evaluasi Kinerja Perkerasan Lentur Dan Nilai Sisa Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen I STA 0+000 - STA 1+950*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Muh Iqbal, F. S. (2022). *Analisis Perbandingan Desain Mekanistikempiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik Dan Viskoelastik: Studi Kasus Pada Ruas Jalan Milir-Sentelo*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Niken, K. P. (2023). *Evaluasi Rancangan Struktur Perkerasan Untuk Memprediksi Umur Layan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 AASHTO 1993 Dan Metode Mekanistik Empirik Kanpave Study Kasus: Ruas Jalan Bts. Kab. Kampar – Bts. Kota Bangkinang (Sta. 12+000 – Sta. 14+000)*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.

- Nuzullul, A. (2023). *Evaluasi Kondisi Perkerasan Dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) Dan Metode Mekanistik-Empirik Pada Jalan Kapten Haryadi Sleman*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Rahma, A. S. (2021). *Evaluasi Kondisi Perkerasan Dengan Metode Pavements Dengan Metode Condition Index (PCI) Dan Nilai Sisa Dengan Metode Mekanisyik-Empirik Pada Jalan Gito-Gati*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.
- Randi. (2018). *Teori Penelitian Terdahulu*. Jakarta: Erlangga.
- Sukirman, S. (1999). *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Granit. Bandung.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur Jalan*. Nova. Bandung.
- Tiara.S (2024). *Kinerja Struktural Jalan Yos Sudarso Kota Palu Dengan Metode Mekanistik Empiric menggunakan Program Kenpave-Kenlayer*. Fakultas Teknik Sipil. Universitas Tadulako.

**Lampiran A** Hasil Perhitungan Analisis Data Lendutan Maksimum ( $\delta_{Max}$ ) Uji BB untuk memperoleh Modulus Elastisitas menggunakan persamaan Boussinesq

| No.<br>Test | KM    | SADW    | Beban<br>per<br>Roda, p | Tekanan<br>Ban, q     | Radius<br>Kontak<br>Ban, a | Nilai<br>Lendutan,<br>d | Poisson<br>Ratio,<br>$\mu$ | Z  |      | $\frac{(1 + \mu)qa}{d}$ | $\frac{a}{(a^2 + z^2)^{0,5}}$ | $\frac{1 + 2 \mu}{a}$ | $\left[ (a^2 + z^2)^{0,5} - z \right]$ | Modulus Elastisitas |                       |          |
|-------------|-------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|----|------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------|
|             |       | ( ton ) | ( ton )                 | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (cm)                       | (cm)                    |                            | ID | (cm) |                         |                               |                       |                                        | ID                  | (kg/cm <sup>2</sup> ) | MPa      |
| 1           | 0+400 | 8,16    | 2,04                    | 5,77                  | 10,62                      | 0,0208                  | 0,40                       | Z1 | 6    | 4123,963                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E1                  | 26608,296             | 2609,383 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,40                       | Z2 | 6    | 4123,963                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E2                  | 26608,296             | 2609,383 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z3 | 15   | 3976,678                | 0,578                         | 0,161                 | 3,379                                  | E3                  | 9930,088              | 973,809  |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z4 | 20   | 3976,678                | 0,469                         | 0,161                 | 2,645                                  | E4                  | 6626,538              | 649,842  |
| 2           | 0+500 | 8,16    | 2,04                    | 5,77                  | 10,62                      | 0,0325                  | 0,40                       | Z1 | 6    | 2642,321                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E1                  | 17048,567             | 1671,894 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,40                       | Z2 | 6    | 2642,321                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E2                  | 17048,567             | 1671,894 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z3 | 15   | 2547,953                | 0,578                         | 0,161                 | 3,379                                  | E3                  | 6362,446              | 623,943  |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z4 | 20   | 2547,953                | 0,469                         | 0,161                 | 2,645                                  | E4                  | 4245,782              | 416,369  |
| 3           | 0+600 | 8,16    | 2,04                    | 5,77                  | 10,62                      | 0,0297                  | 0,40                       | Z1 | 6    | 2891,085                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E1                  | 18653,622             | 1829,296 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,40                       | Z2 | 6    | 2891,085                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E2                  | 18653,622             | 1829,296 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z3 | 15   | 2787,832                | 0,578                         | 0,161                 | 3,379                                  | E3                  | 6961,443              | 682,685  |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z4 | 20   | 2787,832                | 0,469                         | 0,161                 | 2,645                                  | E4                  | 4645,504              | 455,569  |
| 4           | 0+700 | 8,16    | 2,04                    | 5,77                  | 10,62                      | 0,0168                  | 0,40                       | Z1 | 6    | 5098,971                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E1                  | 32899,163             | 3226,306 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,40                       | Z2 | 6    | 5098,971                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E2                  | 32899,163             | 3226,306 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z3 | 15   | 4916,865                | 0,578                         | 0,161                 | 3,379                                  | E3                  | 12277,811             | 1204,042 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z4 | 20   | 4916,865                | 0,469                         | 0,161                 | 2,645                                  | E4                  | 8193,218              | 803,481  |
| 5           | 0+900 | 8,16    | 2,04                    | 5,77                  | 10,62                      | 0,0203                  | 0,40                       | Z1 | 6    | 4220,882                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E1                  | 27233,629             | 2670,707 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,40                       | Z2 | 6    | 4220,882                | 0,871                         | 0,170                 | 6,198                                  | E2                  | 27233,629             | 2670,707 |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z3 | 15   | 4070,136                | 0,578                         | 0,161                 | 3,379                                  | E3                  | 10163,460             | 996,695  |
|             |       |         |                         |                       |                            |                         | 0,35                       | Z4 | 20   | 4070,136                | 0,469                         | 0,161                 | 2,645                                  | E4                  | 6782,272              | 665,114  |

Lampiran B Hasil Analisis Kenpave STA 0+500

| POINT<br>NO. | VERTICAL   | VERTICAL | VERTICAL | MAJOR     | MINOR    | INTERMEDIATE |
|--------------|------------|----------|----------|-----------|----------|--------------|
|              | COORDINATE | DISP.    | STRESS   | PRINCIPAL | PRINCIAL | P. STRESS    |
|              |            |          | (STRAIN) | STRESS    | STRESS   | (HORIZONTAL  |
|              |            |          |          | (STRAIN)  | (STRAIN) | P. STRAIN)   |
| 1            | 0          | 0,02729  | 550      | 790,724   | 548,493  | 734,502      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,66E-04  |          | 1,19E-04     |
| 1            | 0,001      | 0,02729  | 548,493  | 790,61    | 548,493  | 734,408      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,66E-04  |          | 1,19E-04     |
| 1            | 11,999     | 0,02557  | 250,273  | 251,489   | -204,102 | -157,199     |
|              | (STRAIN)   |          |          | 2,37E-04  |          | -1,45E-04    |
| 1            | 12         | 0,02557  | 250,253  | 251,469   | -204,176 | -157,265     |
|              | (STRAIN)   |          |          | 2,37E-04  |          | -1,45E-04    |
| 1            | 47         | 0,01847  | 32,292   | 32,72     | -47,323  | -38,348      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,51E-04  |          | -1,09E-04    |
| 1            | 47,001     | 0,01847  | 32,291   | 33,319    | 0,94     | 2,875        |
|              | (STRAIN)   |          |          | 2,24E-04  |          | -1,09E-04    |
| 2            | 0          | 0,02671  | 550      | 786,273   | 556,299  | 682,787      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,74E-04  |          | 8,72E-05     |
| 2            | 0,001      | 0,02671  | 556,297  | 785,971   | 556,297  | 682,313      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,74E-04  |          | 8,70E-05     |
| 2            | 11,999     | 0,02572  | 180,59   | 187,425   | -147,51  | 4,421        |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,46E-04  |          | -1,34E-04    |
| 2            | 12         | 0,02572  | 180,581  | 187,405   | -147,563 | 4,401        |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,46E-04  |          | -1,34E-04    |
| 2            | 47         | 0,01907  | 34,647   | 34,71     | -50,876  | -42,731      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,62E-04  |          | -1,15E-04    |
| 2            | 47,001     | 0,01907  | 34,646   | 34,802    | 0,888    | 3,318        |
|              | (STRAIN)   |          |          | 2,34E-04  |          | -1,15E-04    |
| 3            | 0          | 0,02506  | 0        | 306,735   | -2,029   | 112,901      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,57E-04  |          | -5,37E-06    |
| 3            | 0,001      | 0,02506  | -2,029   | 306,71    | -2,029   | 112,996      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,57E-04  |          | -5,31E-06    |
| 3            | 11,999     | 0,02541  | 134,956  | 134,956   | -107,244 | 111,659      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 7,97E-05  |          | -1,23E-04    |
| 3            | 12         | 0,02541  | 134,956  | 134,956   | -107,281 | 111,653      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 7,97E-05  |          | -1,23E-04    |
| 3            | 47         | 0,01918  | 35,057   | 35,057    | -51,509  | -43,446      |
|              | (STRAIN)   |          |          | 1,64E-04  |          | -1,17E-04    |
| 3            | 47,001     | 0,01918  | 35,057   | 35,057    | 0,876    | 3,416        |
|              | (STRAIN)   |          |          | 2,35E-04  |          | -1,17E-04    |

**Lampiran C** Hasil Analisis Kenpave STA 0+700

| POINT | VERTICAL   | VERTICAL | VERTICAL           | MAJOR              | MINOR              | INTERMEDIATE              |
|-------|------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
|       |            |          |                    | PRINCIPAL          | PRINCIAL           | P. STRESS                 |
| NO.   | COORDINATE | DISP.    | STRESS<br>(STRAIN) | STRESS<br>(STRAIN) | STRESS<br>(STRAIN) | (HORIZONTAL<br>P. STRAIN) |
| 1     | 0          | 0,02009  | 550                | 837,008            | 548,493            | 778,155                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,50E-05           |                    | 6,94E-05                  |
| 1     | 0,001      | 0,02009  | 548,493            | 836,887            | 548,492            | 778,061                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,49E-05           |                    | 6,94E-05                  |
| 1     | 11,999     | 0,01927  | 247,406            | 248,952            | -200,23            | -153,791                  |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 1,21E-04           |                    | -7,39E-05                 |
| 1     | 12         | 0,01927  | 247,386            | 248,932            | -200,307           | -153,86                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 1,21E-04           |                    | -7,39E-05                 |
| 1     | 47         | 0,01553  | 23,424             | 23,58              | -75,887            | -64,432                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,05E-05           |                    | -7,67E-05                 |
| 1     | 47,001     | 0,01553  | 23,423             | 24,073             | 1,079              | 2,325                     |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 1,60E-04           |                    | -7,67E-05                 |
| 2     | 0          | 0,01986  | 550                | 834,331            | 556,299            | 728,934                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,93E-05           |                    | 5,35E-05                  |
| 2     | 0,001      | 0,01986  | 556,297            | 834,018            | 556,296            | 728,466                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,92E-05           |                    | 5,34E-05                  |
| 2     | 11,999     | 0,01943  | 177,536            | 184,2              | -143,485           | 8,702                     |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 7,38E-05           |                    | -6,84E-05                 |
| 2     | 12         | 0,01943  | 177,527            | 184,178            | -143,542           | 8,68                      |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 7,38E-05           |                    | -6,84E-05                 |
| 2     | 47         | 0,01593  | 24,919             | 24,943             | -81,088            | -71,079                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,73E-05           |                    | -8,08E-05                 |
| 2     | 47,001     | 0,01593  | 24,919             | 25,018             | 1,023              | 2,562                     |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 1,66E-04           |                    | -8,08E-05                 |
| 3     | 0          | 0,01902  | 0                  | 355,081            | -2,029             | 159,457                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,05E-05           |                    | 5,65E-06                  |
| 3     | 0,001      | 0,01902  | -2,029             | 355,052            | -2,029             | 159,549                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,05E-05           |                    | 5,68E-06                  |
| 3     | 11,999     | 0,01928  | 131,914            | 131,914            | -103,111           | 115,963                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 3,93E-05           |                    | -6,27E-05                 |
| 3     | 12         | 0,01928  | 131,913            | 131,913            | -103,151           | 115,954                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 3,93E-05           |                    | -6,27E-05                 |
| 3     | 47         | 0,01601  | 25,176             | 25,176             | -82,009            | -72,179                   |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 9,85E-05           |                    | -8,16E-05                 |
| 3     | 47,001     | 0,01601  | 25,176             | 25,176             | 1,009              | 2,614                     |
|       | (STRAIN)   |          |                    | 1,67E-04           |                    | -8,16E-05                 |

Lampiran D Beban Sumbu Standart Kumulatif dengan Penambahan LHR 100%

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR / hari | ESA 4          |                | ESA 5          |                | R    | CESA 4         |                | CESA 5          |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |            | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |      | Faktual        | Normal         | Faktual         | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)        | (10 = 3*7*8*9) | (11 = 4*7*8*9) | (12 = 5*7*8*9) | (13 = 6*7*8*9) | (9)  | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17= 12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | 1                  | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 24321      | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 2,3,4              | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 9249       | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 5a                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 66         | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5b                 | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 21         | 10             | 10             | 11             | 11             | 1,00 | 3670,44        | 3670,44        | 3.976,31        | 3.976,31       |
| Truk 2 as (4 roda)        | 6a                 | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 1845       | 369            | 369            | 295            | 295            | 1,00 | 134655,80      | 134655,80      | 107.724,64      | 107.724,64     |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6b                 | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 914        | 329            | 146            | 329            | 110            | 1,00 | 120154,79      | 53402,13       | 120.154,79      | 40.051,60      |
| Truk 3 as                 | 7a                 | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 9          | 63             | 18             | 128            | 25             | 1,00 | 23144,21       | 6710,45        | 46.562,32       | 9.038,57       |
|                           |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 281625,24      | 198438,82      | 278.418,06      | 160.791,11     |
| CESA 2026                 |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 480064,06      |                | 439.209,17      |                |

Lampiran E Prediksi beban Sumbu Standar Kumulatif dengan Penambahan LHR 100 %

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5      |          | DD  | DL  | LHR / hari | ESA 4           |                 | ESA 5           |                 | R     | CESA 4         |                | CESA 5          |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|-----------|----------|-----|-----|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual 1 | Normal 1 |     |     |            | Faktual         | Normal          | Faktual         | Normal          |       | Faktual        | Normal         | Faktual         | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)       | (6)      | (5) | (6) | (7)        | (10 = 3*7*8*9 ) | (11 = 4*7*8*9 ) | (12 = 5*7*8*9 ) | (13 = 6*7*8*9 ) | (9)   | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17= 12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | (2)                | 0       | 0      | 0         | 0        | 0,5 | 0,8 | 38683      | 0               | 0               | 0               | 0               | 10,02 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 1                  | 0       | 0      | 0         | 0        | 0,5 | 0,8 | 14711      | 0               | 0               | 0               | 0               | 10,02 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 2,3,4              | 0       | 0      | 0         | 0        | 0,5 | 0,8 | 105        | 0               | 0               | 0               | 0               | 10,02 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5a                 | 1,2     | 1,2    | 1,3       | 1,3      | 0,5 | 0,8 | 33         | 16              | 16              | 17              | 17              | 10,02 | 58504,18       | 58504,18       | 63.379,53       | 63.379,53      |
| Truk 2 as (4 roda)        | 5b                 | 0,5     | 0,5    | 0,4       | 0,4      | 0,5 | 0,8 | 2934       | 587             | 587             | 469             | 469             | 10,02 | 2146317,02     | 2146317,02     | 1.717.053,61    | 1.717.053,61   |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6a                 | 0,9     | 0,4    | 0,9       | 0,3      | 0,5 | 0,8 | 1454       | 524             | 233             | 524             | 175             | 10,02 | 1915181,27     | 851191,68      | 1.915.181,27    | 638.393,76     |
| Truk 3 as                 | 6b                 | 16,9    | 4,9    | 34        | 6,6      | 0,5 | 0,8 | 15         | 101             | 29              | 203             | 39              | 10,02 | 368902,16      | 106959,80      | 742.170,03      | 144.068,30     |
|                           |                    |         |        |           |          |     |     | 57936      |                 |                 |                 |                 |       | 4488904,64     | 3162972,68     | 4.437.784,45    | 2.562.895,21   |
| CESA 2035                 |                    |         |        |           |          |     |     |            |                 |                 |                 |                 |       | 7651877,31     |                | 7.000.679,66    |                |

Lampiran F Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 150%

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR<br>/ hari | ESA 4             |                   | ESA 5             |                   | R    | CESA 4         |                | CESA 5             |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------------|----------------|--------------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |               | Faktual           | Normal            | Faktual           | Normal            |      | Faktual        | Normal         | Faktual            | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)           | (10 =<br>3*7*8*9) | (11 =<br>4*7*8*9) | (12 =<br>5*7*8*9) | (13 =<br>6*7*8*9) | (9)  | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17=<br>12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | 1                  | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 24321         | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00               | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 2,3,4              | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 9249          | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00               | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 5a                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 66            | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00               | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5b                 | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 21            | 10                | 10                | 11                | 11                | 1,00 | 3670,44        | 3670,44        | 3.976,31           | 3.976,31       |
| Truk 2 as (4 roda)        | 6a                 | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 1845          | 369               | 369               | 295               | 295               | 1,00 | 134692,30      | 134692,30      | 107.753,84         | 107.753,84     |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6b                 | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 915           | 329               | 146               | 329               | 110               | 1,00 | 120220,49      | 53431,33       | 120.220,49         | 40.073,50      |
| Truk 3 as                 | 7a                 | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 10            | 67                | 19                | 134               | 26                | 1,00 | 24377,91       | 7068,15        | 49.044,32          | 9.520,37       |
|                           |                    |         |        |         |        |     |     | 36427         |                   |                   |                   |                   |      | 282961,14      | 198862,22      | 280.994,96         | 161.324,01     |
| CESA 2026                 |                    |         |        |         |        |     |     |               |                   |                   |                   |                   |      | 481823,36      |                | 442.318,97         |                |

Lampiran G Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 150%

| Jenis Kendaraan                 |                           | VDF4    |        | VDF5        |            | DD  | DL  | LHR<br>/ hari | ESA 4                 |                       | ESA 5                 |                       | R     | CESA 4             |                    | CESA 5             |                    |
|---------------------------------|---------------------------|---------|--------|-------------|------------|-----|-----|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Mobil<br>Penumpang              | Golongan<br>Kendaraa<br>n | Faktual | Normal | Faktua<br>l | Norma<br>l |     |     |               | Faktual               | Normal                | Faktual               | Normal                |       | Faktual            | Normal             | Faktual            | Normal             |
| (1)                             | (2)                       | (3)     | (4)    | (5)         | (6)        | (5) | (6) | (7)           | (10 =<br>3*7*8*9<br>) | (11 =<br>4*7*8*9<br>) | (12 =<br>5*7*8*9<br>) | (13 =<br>6*7*8*9<br>) | (9)   | 15=(10*365*14<br>) | (16=11*365*14<br>) | (17=<br>12*365*14) | (18=13*365*14<br>) |
| Sepeda Motor                    | (2)                       | 0       | 0      | 0           | 0          | 0,5 | 0,8 | 38683         | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Mobil,<br>Angkutan<br>Umum, dll | 1                         | 0       | 0      | 0           | 0          | 0,5 | 0,8 | 14711         | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Bus Kecil                       | 2,3,4                     | 0       | 0      | 0           | 0          | 0,5 | 0,8 | 105           | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     | 10,02 | 0,00               | 0,00               | 0,00               | 0,00               |
| Bus Besar                       | 5a                        | 1,2     | 1,2    | 1,3         | 1,3        | 0,5 | 0,8 | 33            | 16                    | 16                    | 17                    | 17                    | 10,02 | 58504,18           | 58504,18           | 63.379,53          | 63.379,53          |
| Truk 2 as (4<br>roda)           | 5b                        | 0,5     | 0,5    | 0,4         | 0,4        | 0,5 | 0,8 | 2935          | 587                   | 587                   | 470                   | 470                   | 10,02 | 2146898,80         | 2146898,80         | 1.717.519,04       | 1.717.519,04       |
| Truk 2 as (6<br>roda)           | 6a                        | 0,9     | 0,4    | 0,9         | 0,3        | 0,5 | 0,8 | 1455          | 524                   | 233                   | 524                   | 175                   | 10,02 | 1916228,48         | 851657,10          | 1.916.228,48       | 638.742,83         |
| Truk 3 as                       | 6b                        | 16,9    | 4,9    | 34          | 6,6        | 0,5 | 0,8 | 16            | 106                   | 31                    | 214                   | 41                    | 10,02 | 388566,46          | 112661,28          | 781.731,34         | 151.747,85         |
|                                 |                           |         |        |             |            |     |     | 57938         |                       |                       |                       |                       |       | 4510197,93         | 3169721,37         | 4.478.858,39       | 2.571.389,25       |
| CESA 2035                       |                           |         |        |             |            |     |     |               |                       |                       |                       |                       |       | 7679919,30         |                    | 7.050.247,64       |                    |

Lampiran H Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 200%

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR / hari | ESA 4          |                | ESA 5          |                | R    | CESA 4         |                | CESA 5          |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |            | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |      | Faktual        | Normal         | Faktual         | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)        | (10 = 3*7*8*9) | (11 = 4*7*8*9) | (12 = 5*7*8*9) | (13 = 6*7*8*9) | (9)  | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17= 12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | 1                  | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 24321      | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 2,3,4              | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 9249       | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 5a                 | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 66         | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,00 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5b                 | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 21         | 10             | 10             | 11             | 11             | 1,00 | 3679,20        | 3679,20        | 3.985,80        | 3.985,80       |
| Truk 2 as (4 roda)        | 6a                 | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 1846       | 369            | 369            | 295            | 295            | 1,00 | 134728,80      | 134728,80      | 107.783,04      | 107.783,04     |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6b                 | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 915        | 330            | 146            | 330            | 110            | 1,00 | 120286,19      | 53460,53       | 120.286,19      | 40.095,40      |
| Truk 3 as                 | 7a                 | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 10         | 70             | 20             | 141            | 27             | 1,00 | 25611,61       | 7425,85        | 51.526,32       | 10.002,17      |
|                           |                    |         |        |         |        |     |     | 36428      |                |                |                |                |      | 284305,80      | 199294,38      | 283.581,35      | 161.866,40     |
| CESA 2026                 |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |      | 483600,18      |                | 445.447,75      |                |

Lampiran I Prediksi beban sumbu standar kumulatif dengan penambahan LHR 200%

| Jenis Kendaraan           |                    | VDF4    |        | VDF5    |        | DD  | DL  | LHR / hari | ESA 4          |                | ESA 5          |                | R     | CESA 4         |                | CESA 5          |                |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|---------|--------|-----|-----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Mobil Penumpang           | Golongan Kendaraan | Faktual | Normal | Faktual | Normal |     |     |            | Faktual        | Normal         | Faktual        | Normal         |       | Faktual        | Normal         | Faktual         | Normal         |
| (1)                       | (2)                | (3)     | (4)    | (5)     | (6)    | (5) | (6) | (7)        | (10 = 3*7*8*9) | (11 = 4*7*8*9) | (12 = 5*7*8*9) | (13 = 6*7*8*9) | (9)   | 15=(10*365*14) | (16=11*365*14) | (17= 12*365*14) | (18=13*365*14) |
| Sepeda Motor              | (2)                | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 38683      | 0              | 0              | 0              | 0              | 10,02 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Mobil, Angkutan Umum, dll | 1                  | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 14711      | 0              | 0              | 0              | 0              | 10,02 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Kecil                 | 2,3,4              | 0       | 0      | 0       | 0      | 0,5 | 0,8 | 105        | 0              | 0              | 0              | 0              | 10,02 | 0,00           | 0,00           | 0,00            | 0,00           |
| Bus Besar                 | 5a                 | 1,2     | 1,2    | 1,3     | 1,3    | 0,5 | 0,8 | 33         | 16             | 16             | 17             | 17             | 10,02 | 58643,81       | 58643,81       | 63.530,80       | 63.530,80      |
| Truk 2 as (4 roda)        | 5b                 | 0,5     | 0,5    | 0,4     | 0,4    | 0,5 | 0,8 | 2935       | 587            | 587            | 470            | 470            | 10,02 | 2147480,58     | 2147480,58     | 1.717.984,47    | 1.717.984,47   |
| Truk 2 as (6 roda)        | 6a                 | 0,9     | 0,4    | 0,9     | 0,3    | 0,5 | 0,8 | 1456       | 524            | 233            | 524            | 175            | 10,02 | 1917275,69     | 852122,53      | 1.917.275,69    | 639.091,90     |
| Truk 3 as                 | 6b                 | 16,9    | 4,9    | 34      | 6,6    | 0,5 | 0,8 | 17         | 112            | 32             | 225            | 44             | 10,02 | 408230,75      | 118362,76      | 821.292,64      | 159.427,39     |
|                           |                    |         |        |         |        |     |     | 57940      |                |                |                |                |       | 4531630,84     | 3176609,69     | 4.520.083,60    | 2.580.034,56   |
| CESA 2035                 |                    |         |        |         |        |     |     |            |                |                |                |                |       | 7708240,53     |                | 7.100.118,16    |                |

Lampiran J Data SDI

Data Dasar Prasarana Jalan Kabupaten/Kota

Provinsi : [72] SULAWESI  
TENGAH  
: [71]  
Kab / Kota Palu  
Tahun : 2024

FORM - DD1

| NO. | NOMOR RUAS    | NAMA RUAS JALAN | PANJANG RUAS (KM) | LEBAR (M) | PANJANG TIAP JENIS PERMUKAAN (%) |                |               |                   |                     | PANJANG TIAP KONDISI (%) |      |        |      |              |      |             |      | LHR | AKSES KE JALAN N/P/K | KETERANGAN |
|-----|---------------|-----------------|-------------------|-----------|----------------------------------|----------------|---------------|-------------------|---------------------|--------------------------|------|--------|------|--------------|------|-------------|------|-----|----------------------|------------|
|     |               |                 |                   |           | ASPAL                            | MACADAM /LAPEN | RIGID / BETON | TELFORD / KERIKIL | TAMAH /BELUM TEMBUS | BAIK                     |      | SEDANG |      | RUSAK RINGAN |      | RUSAK BERAT |      |     |                      |            |
|     |               |                 |                   |           |                                  |                |               |                   |                     | %                        | Km   | %      | Km   | %            | Km   | %           | Km   |     |                      |            |
| 1   | 2             | 3               | 4                 | 5         | 6                                | 7              | 8             | 9                 | 10                  | 11                       | 12   | 13     | 14   | 15           | 16   | 17          | 18   | 19  | 20                   | 21         |
| 1   | Jl. Hang Tuah | 0,00            | 1,48              | 6,00      | 100,00%                          | 0,00%          | 0,00%         | 0,00%             | 0,00%               | 86,5%                    | 1,28 | 13,5%  | 0,20 | 0,0%         | 0,00 | 0,0%        | 0,00 | 70  | P                    |            |

**Lampiran K** Lendutan Pemicu untuk penangana lapis perkerasan

| Lalu lintas pada lajur rencana untuk 10 tahun (juta ESA <sub>5</sub> ) | Jenis Lapis Permukaan | Lendutan Pemicu untuk <i>overlay</i> <sup>2</sup><br>(Lendutan Pemicu 1)  |                                                              | Lendutan Pemicu untuk investigasi untuk rekonstruksi atau daur ulang<br>(Lendutan Pemicu 2) |                                                              |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                        |                       | Lendutan (D <sub>0</sub> ) karakteristik Benkelmen Beam (mm) <sup>3</sup> | Kurva FWD D <sub>0</sub> -D <sub>200</sub> (mm) <sup>2</sup> | Lendutan (D <sub>0</sub> ) karakteristik Benkelmen Beam (mm) <sup>2</sup>                   | Kurva FWD D <sub>0</sub> -D <sub>200</sub> (mm) <sup>3</sup> |
| ≤ 0,1                                                                  | HRS                   | > 1,20                                                                    | Tidak digunakan                                              | > 1,70                                                                                      | Tidak digunakan                                              |
| 0,1 - 1                                                                | HRS                   | > 1,15                                                                    | Tidak digunakan                                              |                                                                                             |                                                              |
| > 1 - 2                                                                | HRS                   | > 1,40                                                                    | > 0,41                                                       | > 1,55                                                                                      |                                                              |
| > 2 - 5                                                                | AC                    | > 0,95                                                                    | > 0,34                                                       | > 1,40                                                                                      | > 0,35                                                       |
| > 5 - 10                                                               | AC                    | > 0,90                                                                    | > 0,27                                                       | > 1,70                                                                                      | > 0,41                                                       |
| > 10 - 20                                                              | AC                    | > 0,85                                                                    | > 0,20                                                       | > 1,55                                                                                      | > 0,36                                                       |
| > 20 - 50                                                              | AC                    | > 0,83                                                                    | > 0,16                                                       | > 1,50                                                                                      | > 0,31                                                       |
| > 50 - 100                                                             | AC                    | > 0,80                                                                    | > 0,14                                                       | > 1,40                                                                                      | > 0,22                                                       |
| > 100                                                                  | AC                    | > 0,78                                                                    | > 0,12                                                       | > 1,35                                                                                      | > 0,16                                                       |

