**TUGAS AKHIR**

# EVALUASI KINERJA PERKERASAN JALAN BARU DENGAN PENDEKATAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK PADA JALAN TAWANG-NGALANG

***(PERFORMANCE EVALUATION OF NEW ROAD PAVEMENT USING ELASTIC AND VISCOELASTIK APPROACHES ON THE TAWANG-NGALANG ROAD)***

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




**Taufik Nur Arkan**
**20511169**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**
**FAKULTASI TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
**2025**

**TUGAS AKHIR**

# EVALUASI KINERJA PERKERASAN JALAN BARU DENGAN PENDEKATAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK PADA JALAN TAWANG-NGALANG

## *(PERFORMANCE EVALUATION OF NEW ROAD PAVEMENT USING ELASTIC AND VISCOELASTIK APPROACHES ON THE TAWANG-NGALANG ROAD)*

Disusun oleh

**Taufik Nur Arkan**
**20511169**

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

Diuji pada tanggal
24 Januari 2025

Oleh Dewan Penguji:

| Pembimbing I | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| Dr. Eng. Faizul C, S.T., M.Sc. | Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc | Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. |
| NIK : 145110101 | NIK : 205111303 | NIK : 215111307 |

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

20/2/2025

**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.**
**NIK : 095110101**



Dipindai dengan CamScanner

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Penyusun menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Ahir yang disusun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu mata kuliah, yaitu Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dengan judul Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan Baru Dengan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik Pada Jalan Tawang-Ngalang merupakan hasil karya penulis. Adapun bagian-bagian tertentu yang merupakan pengutipan hasil karya orang lain telah ditulis referensinya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila kemudian hari ditemukan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini merupakan plagiasi karya orang lain, penyusun bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan dan undang-undang yang berlaku.

Yogyakarta, 24 Januari 2025

Yang membuat pernyataan,




Taufik Nur Arkan

(20511169)



Dipindai dengan CamScanner

# KATA PENGANTAR

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

Proses penyusunan Tugas Akhir ini terdapat banyak rintangan yang dihadapi penulis, namun berkat bantuan dukungan semangat, arahan, bimbingan, dan saran dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan selama penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. dan Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan banyak saran, masukan dan arahan agar penelitian ini menjadi lebih baik.
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Orang tua dan saudara penulis, yang selalu memberikan dorongan semangat, motivasi dan doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang turut membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis memohon maaf kepada semua pihak dan mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan berbagai pihak pembaca.

Yogyakarta, 24 Januari 2025

Penulis,

Taufik Nur Arkan

(20511169)



Dipindai dengan CamScanner

# DAFTAR ISI


| | | |
|---|---|---|
| HALAMAN JUDUL | | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | | iii |
| KATA PENGANTAR | | iv |
| DAFTAR ISI | | v |
| DAFTAR GAMBAR | | ix |
| DAFTAR TABEL | | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | | xiii |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | | xiv |
| ABSTRAK | | xvi |
| ABSTRACT | | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | | 1 |
| 1.1 | Latar Belakang | 1 |
| 1.2 | Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 | Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 | Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 | Batasan Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | | 6 |
| 2.1 | Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993 | 6 |
| 2.2 | Analisis Perkerasan Lentur Dengan *Software KENPAVE* | 7 |
| 2.3 | Perbandingan Penelitian Terdahulu | 10 |
| BAB III LANDASAN TEORI | | 13 |
| 3.1 | Definisi Jalan | 13 |
| 3.2 | Pengelompokan Jalan | 13 |
| 3.3 | Perkerasan Jalan | 14 |

3.4 Desain Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993 17
3.4.1 Persamaan Dasar Metode *AASHTO* 1993 17
3.4.2 Periode Analisa (*Analysis Period*) 18
3.4.3 Reliabilitas (R) dan Deviasi Standar Normal (ZR) 18
3.4.4 Standar Deviasi Keseluruhan ($S_O$) 19
3.4.5 Analisis Lalu Lintas 19
3.4.6 Modulus Resilient ($M_R$) 23
3.4.7 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*) 23
3.4.8 Koefisien Drainase ($m_i$) 25
3.4.9 Koefisien Lapisan (*layer coefficient*) 27
3.4.10 Structural Number (SN) 32
3.4.11 Syarat Tebal Lapis Perkerasan 33
3.5 Analisis Perkerasan Lentur Metode Mekanistik – Empirik 34
3.5.1 Sifat-Sifat Bahan Perkerasan 37
3.5.2 Permodelan Lapis Perkerasan 38
3.6 Program *KENPAVE* 43
3.6.1 *Data Path* 44
3.6.2 *File Name* 44
3.6.3 *Help* 44
3.6.4 *Editor* 44
3.6.5 *LGRAPH atau SGRAPH* 44
3.6.6 *Contour* 44
3.7 *KENLAYER* 44
3.7.1 *File* 45
3.7.2 *General* 45

3.7.3 *Zcoord* 47
3.7.4 *Layer* 47
3.7.5 *Interface* 48
3.7.6 *Moduli* 49
3.7.7 *Load* 49
3.7.8 *Viscoelastic* 50
3.8 Evaluasi Kegagalan Pada Struktur Perkerasan 53
3.8.1 *Fatigue Cracking* 54
3.8.2 *Rutting* 54
3.8.3 *Permanent Deformation* 55
3.9 Nilai Sisa Umur Layan 56
BAB IV METODE PENELITIAN 57
4.1 Lokasi Studi Kasus 57
4.2 Pengumpulan Data 57
4.3 Analisis dan Pengolahan Data 58
4.3.1 Analisis Tebal Strukrur Pekerasan Metode *AASHTO* 1993 58
4.3.2 Analisis Menggunakan Program *KENPAVE* 60
4.4 Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian 62
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 64
5.1 Data Penelitian 64
5.1.1 Status Jalan 64
5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisiting 64
5.1.3 Data Hujan 65
5.1.4 Data Tanah 65
5.1.5 Data Lalu Lintas 66

5.2 Desain Struktur Perkerasan Menggunakan Metode *AASHTO* 1993 67
5.3 Kinerja Struktur Perkerasan Dengan Program *KENPAVE* 79
5.3.1 Analisis Perkerasan Eksisting 81
5.3.2 Analisis Perkerasan Metode *AASTHO* 1993 84
5.3.3 Analisis Perkerasan Alternatif 87
5.4 Perbandingan Sisa Umur Pelayanan Jalan 93
5.5 Pembahasan 97
5.5.1 Desain Struktur Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 97
5.5.2 Kinerja Struktur Perkerasan Eksisting dan Alternatif 98
5.5.3 Perbandingan Sisa Umur Layan Perkerasan 101
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 104
6.1 Kesimpulan 104
6.2 Saran 105
DAFTAR PUSTAKA 106
LAMPIRAN 109

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 1. 1 a) Kerusakan Pada Segmen II dan b) Kerusakan Pada Segmen III 2
Gambar 3. 1 Nomogram Koefisien Relatif Lapis Permukaan ($a_1$) 29
Gambar 3. 2 Grafik Koefisien Relatif Lapis Pondasi Atas Granuler ($a_2$) 30
Gambar 3. 3 Grafik Koefisien Relatif Lapis Pondasi Atas *Bituminous* ($a_2$) 31
Gambar 3. 4 Grafik Koefisien Relatif Lapis Pondasi Bawah ($a_3$) 32
Gambar 3. 5 Nomogram Untuk Menentukan Nilai SN Pada Perkerasan Lentur 33
Gambar 3. 6 Ilustrasi Tebal Lapisan 33
Gambar 3. 7 Sistem Multi-Lapisan 36
Gambar 3. 8 Titik Penting Analisis Struktur Perkerasan 42
Gambar 3. 9 Titik Analisis Secara Horizontal Pada Struktur Perkerasan 42
Gambar 3. 10 Tampilan Awal Program *KENPAVE* 43
Gambar 3. 11 Tampilan Awal Menu *LAYERINP* 45
Gambar 3. 12 Tampilan Awal Pada *Menu Bar General* 46
Gambar 3. 13 Visualisasi *Menu Bar Zcoord* 47
Gambar 3. 14 Visualisasi *Menu Bar Layer* 48
Gambar 3. 15 Visualisasi *Menu Bar Interface* 48
Gambar 3. 16 Visualisasi *Menu Bar Moduli* 49
Gambar 3. 17 Visualisasi *Menu Bar Load* 50
Gambar 3. 18 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia 50
Gambar 3. 19 Visualisasi *Menu Bar Viscoelastic* 51
Gambar 3. 20 Visualisasi *Menu Bar General* Dalam *Menu Viscoelastic* 51
Gambar 3. 21 Visualisasi *Menu Bar Time* Dalam *Menu Viscoelastic* 52
Gambar 3. 22 Visualisasi *Menu Bar Layer* Dalam *Menu Viscoelastic* 52
Gambar 3. 23 Visualisasi *Menu Bar Creep* Dalam *Menu Viscoelastic* 53
Gambar 3. 24 Visualisasi *Menu Bar Temperature* Dalam *Menu Viscoelastic* 53
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian 57
Gambar 4. 2 Bagan Alir Desain Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993 59
Gambar 4. 3 Bagan Alir Analisis Menggunakan Program *KENPAVE* 62
Gambar 4. 4 Bagan Alir Penelitian 63

Gambar 5. 1 Struktur Perkerasan Eksisting Jalan Tawang-Ngalang 65
Gambar 5. 2 Grafik Nilai Modulus Resilient ($E_{AC}$) *Surface* 74
Gambar 5. 3 Nilai $M_R$ Lapis *Base* Berdasarkan Grafik 75
Gambar 5. 4 Grafik Nilai Modulus Resilient ($M_R$) *Subbase* 75
Gambar 5. 5 Nilai SN1 Berdasarkan *Nomogram* 76
Gambar 5. 6 Nilai SN2 Berdasarkan *Nomogram* 77
Gambar 5. 7 Nilai SN3 Berdasarkan *Nomogram* 77
Gambar 5. 8 Tebal Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 79
Gambar 5. 9 Perbandingan Nilai Regangan Maksimum Struktur Perkerasan 98
Gambar 5. 10 Perbandingan Nilai Repetisi Beban 99

# DAFTAR TABEL


Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu 10
Tabel 3. 1 Periode Analisa 18
Tabel 3. 2 Nilai Reliabilitas (R) 18
Tabel 3. 3 Hubungan antara R dengan ZR 19
Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL) 20
Tabel 3. 5 Distribusi Beban Kendaraan 21
Tabel 3. 6 Konfigurasi Sumbu Tiap Golongan Kendaraan 22
Tabel 3. 7 Persentase Pertumbuhan Lalu Lintas Secara Regional (%) 22
Tabel 3. 8 Nilai PSI 24
Tabel 3. 9 Indeks Permukaan Awal Umur Rencana ($IP_o$) 24
Tabel 3. 10 Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana ($IP_t$) 25
Tabel 3. 11 Nilai Indeks Permukaan (IP) 25
Tabel 3. 12 Kualitas Drainase 25
Tabel 3. 13 Nilai Indeks Aliran (C) 26
Tabel 3. 14 Koefisien Drainase ($m_i$) Akibat Pengaruh Kualitas Drainase 27
Tabel 3. 15 Koefisien Lapisan ($a_i$) 27
Tabel 3. 16 Tebal Minimum Campuran Beraspal dan Lapis Pondasi 34
Tabel 3. 17 Nilai *Creep Compliances* 38
Tabel 3. 18 Nilai Modulus Elastisitas Menurut Jenis Beban Perkerasan 39
Tabel 3. 19 Nilai Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio 39
Tabel 3. 20 Letak Titik Penting Analisis Perkerasan 41
Tabel 5. 1 Status Jalan 64
Tabel 5. 2 Hari Hujan per Tahun Kawasan Gunungkidul 65
Tabel 5. 3 Data LHR Ruas Jalan Piyungan-Bts. Kab.Gunungkidul 66
Tabel 5. 4 Perkiraan LHR Saat Jalan Mulai Beroperasi 68
Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai Total *EALF* 69
Tabel 5. 6 Perhitungan W18 Pada Tahun 2044 70
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Nilai W18 71
Tabel 5. 8 Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan 80

Tabel 5. 9 Nilai Modulus Elastistas dan *Poisson's Ratio* 80
Tabel 5. 10 Data Input Pembebanan 80
Tabel 5. 11 Nilai Regangan Perkerasan Eksisting Secara Elastik 82
Tabel 5. 12 Nilai Regangan Perkerasan Eksisting Secara Viskoelastik 82
Tabel 5. 13 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Eksisting Secara Elastik 83
Tabel 5. 14 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Eksisting Secara Viskoelastik 84
Tabel 5. 15 Nilai Regangan Perkerasan *AASHTO* 1993 Secara Elastik 84
Tabel 5. 16 Nilai Regangan Perkerasan *AASHTO* 1993 Secara Viskoelastik 84
Tabel 5. 17 Nilai Repetisi Beban Perkerasan *AASHTO* 1933 Secara Elastik 86
Tabel 5. 18 Nilai Repetisi Beban Perkerasan *AASHTO* 1993 Viskoelastik 87
Tabel 5. 19 Nilai Regangan Perkerasan Alternatif Secara Elastik 87
Tabel 5. 20 Nilai Regangan Perkerasan Alternatif Secara Viskoelastik 87
Tabel 5. 21 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Alternatif Secara Elastik 88
Tabel 5. 22 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Alternatif Secara Viskoelastik 89
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Nilai Regangan 90
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai Repetisi Beban Izin 92
Tabel 5. 25 Umur Sisa Layan Perkerasan Eksisting 94
Tabel 5. 26 Umur Sisa Layan Perkerasan *AASHTO* 1993 95
Tabel 5. 27 Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif 96
Tabel 5. 28 Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan 98
Tabel 5. 29 Perbandingan Nilai Sisa Umur Pelayanan Perkerasan 102

# DAFTAR LAMPIRAN


Lampiran 1 Data Volume LHR 110
Lampiran 2 Data Jumlah Hari Hujan 111
Lampiran 3 Data Tanah (CBR) 112
Lampiran 4 Perhitungan *EALF* 113
Lampiran 5 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Elastik 115
Lampiran 6 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Viskoelastik 116
Lampiran 7 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 Elastik 118
Lampiran 8 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 Viskoelastik 119
Lampiran 9 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Alternatif Elastik 121
Lampiran 10 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Alternatif Viskoelastik 122
Lampiran 11 Keterangan Plagiasi 124
Lampiran 12 Foto Kerusakan Jalan 125

# DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | | |
|---|---|---|
| *AASHTO* | = | *American Association of State Highway and Transportation Officials* |
| *AC-WC* | = | *Asphalt Concrete Wearing Course* |
| *AC-BC* | = | *Asphalt Concrete Binder Course* |
| *AC-Base* | = | *Asphalt Concrete-Base* |
| *ATB* | = | *Asphalt Treated Base* |
| $a_i$ | = | Koefisien Lapisan |
| *CBR* | = | *California Bearing Ratio* |
| cm | = | *Centimeter* |
| *CTB* | = | *Cement Treated Base* |
| $^oC$ | = | Celcius |
| $D_D$ | = | Faktor Distribusi Arah |
| $D_i$ | = | Ketebalan Lapisan |
| $D_L$ | = | Faktor Distribusi Lajur |
| E | = | Modulus Elastisitas |
| i | = | Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas |
| In. | = | Inci |
| IP | = | Indeks Permukaan |
| *ESAL* | = | *Equivalent Standard Axle Load* |
| *EALF* | = | *Equivalent Axle Load Factor* |
| kPa | = | *Kilo Pascal* |
| LASTON | = | Lapis Aspal Beton |
| LAPEN | = | Lapis Penetrasi Makadam |
| LASBUTAG | = | Lapis Asbuton Campuran Dingin |
| Lbs | = | *Pound* |
| LHR | = | Lalu Lintas Harian Rata-Rata |
| LPA | = | Lapis pondasi Atas |
| $m_i$ | = | Koefisien Drainase |

| | | |
|---|---|---|
| mm | = | Milimeter |
| MPa | = | Mega Pascal |
| $M_R$ | = | Modulus Reseilient |
| Nd | = | Repetisi Beban Izin Untuk Kerusakan *fatigue cracking* |
| Nf | = | Repetisi Beban Izin Untuk Kerusakan *rutting* |
| Nd | = | Repetisi Beban Izin Untuk Kerusakan *permanent deformation* |
| Np | = | Nilai Lalu Lintas Rencana |
| $p_o$ | = | Indeks Kemampuan Pelayanan Awal |
| Psi | = | *Pound Per Square Inch* |
| $p_t$ | = | Indeks Kemampuan Pelayanan Akhir |
| RAB | = | Rencana Anggaran Biaya |
| R | = | Reliabilitas |
| R | = | Faktor Umur Rencana Jalan |
| RL | = | Nilai Umur Sisa |
| *SN* | = | *Structural Number* |
| Sta. | = | Station |
| $S_O$ | = | Deviasi Standar Keseluruhan |
| μ | = | Rasio *Poisson* |
| σ | = | Tegangan Normal |
| $\tau$ | = | Tegangan Geser |
| $\varepsilon_t$ | = | Regangan Tarik Horizontal |
| $\varepsilon_c$ | = | Regangan Tarik Vertikal |
| $Z_R$ | = | Deviasi Standar Normal |

# ABSTRAK

Kabupaten Gunungkidul menjadi salah satu daerah yang sering dijadikan sebagai tujuan wisata utama ketika berwisata di Yogyakarta. Meningkatnya jumlah wisatawan setiap tahun dapat menyebabkan potensi kemacetan pada ruas jalan menuju Kabupaten Gunungkidul yakni ruas Jalan Piyungan-Patuk. Oleh karena itu, untuk mengatasi potensi kemacetan maka dibangun ruas jalan Tawang-Ngalang sebagai jalan alternatif yang menghubungkan kabupaten Gunungkidul dengan Kabupaten Sleman melalui sisi utara. Jalan Tawang-Ngalang telah diresmikan pada Januari 2024 yang terdiri dari lima segmen. Namun, jalan tersebut mengalami kerusakan dini di segmen II dan segmen III pada masa awal layannya. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur perkerasan eksisting dan memberikan desain perkerasan alternatif yang dianalisis menggunakan *KENPAVE* secara elastik dan viskoelastik untuk mengetahui nilai umur sisa pelayanannya.

Data sekunder yang digunakan pada penelitian diperoleh dari Dinas PUP ESDM DIY dan BBPJN DIY-Jateng. Penelitian ini menggunakan data ketebalan struktur perkerasan eksisting dan mendesain ulang struktur perkerasan dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 serta memberikan tebal alternatif yang dievaluasi dengan program *KENPAVE* secara elastik dan viskoleastik untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan akibat suatu pembebanan sehingga diperoleh nilai repetisi beban izin pada masing-masing jenis kerusakan yang akan terjadi. Selain itu, nilai regangan tersebut juga digunakan untuk memprediksi nilai sisa umur layan perkerasan.

Hasil penelitian diperoleh nilai lalu lintas selama umur rencana yaitu sebesar 33.106.914,4648 *ESAL* dan pada metode *AASHTO* 1993 dihasilkan tebal perkerasan dengan lapis *surface* setebal 21 cm, lapis *base* dengan material *ATB* setebal 5 cm, dan lapis *subbase* setebal 19 cm. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan program *KENPAVE* diketahui bahwa struktur perkerasan yang di analisis dengan pendekatan elastik memberikan hasil umur layan yang lebih panjang daripada struktur perkerasan yang dianalisis secara viskoelastik. Pada struktur perkerasan eksisting tidak mampu menahan repetisi beban selama umur rencana. Sedangkan pada struktur perkerasan metode *AASHTO* 1993 hanya mampu menahan kerusakan *rutting*. Struktur perkerasan alternatif merupakan struktur perkerasan dengan total ketebalan sebesar 64 cm yang mampu menahan repetisi beban selama umur rencananya tanpa mengalami kerusakan seperti *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation*. Perbedaan nilai sisa umur yang diperoleh dapat disebabkan oleh perbedaan penggunaan jenis material dan ketebalan struktur perkerasan.

**Kata kunci** : *AASHTO* 1993, elastik dan viskoelastik, *KENPAVE*, perkerasan lentur

# ABSTRACT

*Gunungkidul Regency is one of the areas that is often used as a main tourist destination when traveling in Yogyakarta. The increasing number of tourists every year can cause potential congestion on the road to Gunungkidul Regency, namely the Piyungan-Patuk Road section. Therefore, to overcome the potential for congestion, the Tawang-Ngalang road section was built as an alternative road connecting Gunungkidul Regency with Sleman Regency via the north side. The Tawang-Ngalang Road was inaugurated in January 2024, consisting of five segments. However, the road experienced premature damage in segments II and III during its early service period. Thus, this study aims to determine the performance of the existing pavement structure and provide an alternative pavement design that is analyzed using KENPAVE elastically and viscoelastically to determine the remaining service life value.*

*Secondary data used in the study were obtained from the DIY PUP ESDM Service and BBPJN Jateng-DIY. This study uses existing pavement structure thickness data and redesigns the pavement structure using the AASHTO 1993 method and provides alternative thicknesses that are evaluated with the KENPAVE program elastically and viscoelastically to obtain strain and stress values due to a load so that the permissible load repetition value is obtained for each type of damage that will occur. In addition, the strain value is also used to predict the remaining service life of the pavement.*

*The results of the study obtained the traffic value during the design life of 33,106,914.4648 ESAL and the AASHTO 1993 method produced a pavement thickness with a surface layer of 21 cm, a base layer with ATB material of 5 cm thick, and a subbase layer of 19 cm thick. Based on the results of the study using the KENPAVE program, it is known that the pavement structure analyzed using the elastic approach provides a longer service life than the pavement structure analyzed viscoelastically. The existing pavement structure is unable to withstand the load repetition during the design life. Meanwhile, the AASHTO 1993 pavement structure method is only able to withstand rutting damage. The alternative pavement structure is a pavement structure with a total thickness of 64 cm that is able to withstand repeated loads during its design life without experiencing damage such as fatigue cracking, rutting, and permanent deformation. The difference in the remaining life values obtained can be caused by differences in the use of material types and thickness of the pavement structure*

.

**Keywords:** *AASHTO 1993, elastic and viscoelastic, flexible pavement, KENPAVE*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Daerah Istimewa Yogyakarta terkenal sebagai tempat tujuan wisata dan provinsi yang kaya budaya. Kabupaten Gunungkidul menjadi salah satu daerah yang sering dijadikan sebagai tujuan wisata utama oleh para wisatawan ketika berkunjung ke provinsi ini karena memiliki banyak destinasi wisata alam yang menarik untuk dieksplorasi. Keindahan alam yang ditawarkan di Kabupaten Gunungkidul dapat meningkatkan minat wisatawan baik wisatawan mancanegara maupun lokal untuk berwisata ke kabupaten ini. Sekitar ±1,9 juta wisatawan mengunjungi Kabupaten Gunungkidul pada tahun 2020 dan jumlah ini naik menjadi ±3,1 juta pada tahun 2022 menurut data Badan Pusat Statistik Kabupaten tersebut.

Pada umumnya para wisatawan yang akan berwisata ke Kabupaten Gunungkidul akan melewati jalan dengan rute Piyungan – Patuk – Gading – Wonosari. Namun, kondisi lebar jalan pada rute tersebut relatif kecil dan volume lalu lintas yang semakin meningkat dapat menyebabkan potensi kemacetan di rute jalan tersebut semakin besar. Oleh karena itu, Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta (PUP ESDM DIY) melakukan pembangunan jalan baru pada ruas Tawang-Ngalang sebagai usaha untuk mendukung mobilitas baik warga sekitar maupun wisatawan yang akan berwisata ke Kabupaten Gunungkidul agar menjadi lebih lancar, aman dan nyaman.

Ruas Jalan Tawang-Ngalang merupakan jalan alternatif yang dapat digunakan untuk menuju ke Kabupaten Gunungkidul selain melalui jalan Wonosari. Berbagai objek wisata akan terhubung dengan adanya jalan ini, seperti Tebing Breksi dan Gunung Api Purba. Bahkan, jalan ini direncanakan akan terhubung dengan jalan keluar tol Jogja-Solo di Bokoharjo. Jalan Tawang-Ngalang berlokasi di Kecamatan Gunung Butak, Nglanggeran, Gunungkidul. Menurut statusnya jalan ini termasuk kedalam kategori jalan provinsi, sedangkan menurut fungsinya termasuk jalan

kolektor. Jalan Tawang-Ngalang terdiri dari satu jalur dan dua lajur tidak terbagi dengan lebar masing-masing lajur sebesar 3,75 m. Jalan ini dibangun sepanjang 9,5 km yang terbagi menjadi lima segmen. Pembangunan jalan Tawang-Ngalang dilaksanakan selama tiga tahun, dimulai pada tahun 2021 dengan dilaksanakannya pembangunan segmen I dan segmen V. Kemudian dilanjutkan pembangunan pada tahun 2022 untuk segmen IV dan pada tahun 2023 untuk segmen II dan segmen III. Jalan Tawang-Ngalang telah diresmikan pada tahun 2024.

Meningkatnya volume lalu lintas setiap tahun dapat mengakibatkan struktur perkerasan jalan mengalami penurunan kualitas pelayanan secara bertahap. Sebagian besar segmen II dan III jalan Tawang-Ngalang memiliki permukaan jalan yang terawat. Namun, ada beberapa titik kerusakan yang dapat mengganggu keamanan dan kenyamanan pengendara yang melintas. Menurut Kepala Seksi Pembangunan Jalan Dinas PUP ESDM DIY, kerusakan ini disebabkan karena kondisi tanah yang labil sehingga mengakibatkan kerusakan pada permukaan jalan segmen III. Selain itu, juga ditemukan keretakan jalan pada segmen II. Berikut merupakan Gambar 1.1 yang menunjukkan kerusakan pada jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III.



a) b)

**Gambar 1. 1 a) Kerusakan Pada Segmen II dan b) Kerusakan Pada Segmen III**

Menurut data dari Dinas PUP ESDM DIY diketahui bahwa perkerasan eksisting Jalan Tawang-Ngalang di desain dengan menggunakan metode Bina Marga 2017. Namun, perkerasan eksisting tersebut telah mengalami kerusakan dini. Kondisi ini menjadi fokus peneliti untuk mengevaluasi kinerja lapis perkerasan lentur pada Jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III karena terjadi kerusakan dini pada awal masa layan dan untuk mengetahui nilai umur sisa layannya. Pada penelitian ini, peneliti akan mendesain ulang tebal perkerasan

dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 untuk mendapatkan perbandingan hasil ketebalan lapisan perkerasan yang diperoleh dengan perkerasan eksisting yang sebelumnya telah di desain menggunakan metode Bina Marga 2017.

Metode *AASHTO* 1993 dalam penelitian ini juga diterapkan dalam studi lain, seperti penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto (2023) pada Jalan Ngawean-Pasar Sore-Temengeng-Gubug Payung, Blora. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode *AASHTO* 1993 menghasilkan lapisan permukaan yang lebih besar dibandingkan metode Bina Marga 2017. Perbedaan ini menjadi dasar bagi peneliti untuk mendesain ulang dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 guna mengetahui perbandingan kinerjanya jika lapisan permukaannya lebih tebal dari perkerasan eksisting.

Program *KENPAVE* adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menganalisis respon struktur perkerasan. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. seorang professor teknik sipil dari *University of Kentucky.* Program *KENPAVE* digunakan dalam penelitian ini karena dapat memudahkan analisis dengan membantu memperoleh nilai tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas. Analisis dilakukan secara elastik dan viskoelastik. Pendekatan elastik mengasumsikan perkerasan bersifat homogen, isotropik dan linear elastis tanpa mempertimbangkan faktor suhu dan waktu. Sedangkan pendekatan viskoelastik mempertimbangkan pengaruh waktu dan suhu untuk menghasilkan nilai respon struktur. Penggunaan program *KENPAVE* juga sudah diterapkan oleh Marlina, dkk (2023) untuk mengetahui kinerja perkerasan pada ruas Jalan Pulau Indah, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana desain lapis perkerasan ruas Jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III jika dihitung menggunakan metode *AASHTO* 1993?
2. Bagaimana kinerja struktur perkerasan eksisting dan struktur perkerasan alternatif dengan pendekatan elastik dan viskoelastik?

3. Bagaimana perbandingan nilai sisa umur layan pada perkerasan eksisting, perkerasan metode *AASHTO* 1993 dan perkerasan alternatif dengan pendekatan elastik dan viskoelastik?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendesain tebal lapis perkerasan ruas Jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III menggunakan metode *AASHTO* 1993.
2. Mengidentifikasi kinerja struktur perkerasan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik.
3. Membandingkan prediksi nilai sisa umur layan pada struktur perkerasan eksisting, struktur perkerasan metode *AASHTO* 1993 dan alternatif lainnya.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan alternatif dalam pemilihan metode untuk menghitung tebal lapis perkerasan jalan.
2. Mengetahui kondisi struktur perkerasan jalan akibat repetisi beban kendaraan pada ruas Jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III, Gunungkidul.
3. Mengetahui alternatif desain tebal perkerasan yang optimal pada ruas Jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III, Gunungkidul.
4. Memberikan referensi kepada instansi yang berwenang dalam proses pengambilan keputusan untuk meningkatkan dan merawat ruas Jalan Tawang-Ngalang dengan tujuan mencegah terjadinya kerusakan yang berkelanjutan.

## 1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan penelitian yang dibahas adalah sebagai berikut.

1. Fokus penelitian berada pada segmen II dan segmen III ruas jalan Tawang-Ngalang (Sta.1+950 – Sta.4+650), Gunungkidul

2. Perhitungan desain ulang tebal perkerasan menggunakan metode *AASHTO* 1993.
3. Analisis kinerja struktur perkerasan menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik.
4. *Creep compliance* yang digunakan untuk analisis viskoelastik pada program *KENPAVE* mengacu pada data dari Huang (2004).
5. Respon regangan merupakan parameter yang akan dibahas pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai prediksi umur sisa perkerasan.
6. Tidak melakukan perhitungan perencanaan drainase pada perkerasan.
7. Data sekunder yang digunakan dalam analisis diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral Daerah Istimewa Yogyakarta serta data dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng-DIY.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993

Wesli, dkk (2023) melakukan penelitian dengan judul "Studi Komparasi Metode *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) 1993 dan Metode Bina Marga 2017 pada Perencanaan Tebal Lapis Pekerasan". Tujuan dari penelitian yang dilakukan pada ruas Jalan Bireun-Takengon ini adalah untuk membandingkan nilai ketebalan perkerasan yang diperoleh menggunakan dua metode yaitu metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2017. Data penelitian seperti LHR diperoleh dengan cara survey langsung. Data LHR tersebut nantinya akan dianalisis untuk mendapatkan nilai ketebalan perkerasan dari masing-masing metode yang digunakan. Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah nilai ketebalan perkerasan menggunakan metode *AASTHO* 1993 menghasilkan tebal yang lebih besar daripada perkerasan yang didesain menggunakan metode Bina Marga 2017. Ketebalan total yang diperoleh pada metode *AASHTO* 1993 adalah 83 cm. Kemudian ketebalan total sebesar 54,5 cm merupakan tebal yang dihasilkan pada metode Bina Marga 2017

Krisdiyanto, dkk (2022) melakukan penelitian dengan judul "Analisa Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993 dan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017". Penelitian yang berlokasi di ruas Jalan Salem-Bandungsari ini memiliki tujuan untuk mendapatkan perbandingan nilai tebal struktur perkerasan antara dua metode yaitu metode *AASHTO* 1993 dan metode Bina Marga 2017 beserta dengan nilai RAB-nya. Bina Marga 2017 menghasilkan perkerasan dengan spesifikasi tebal lapisan *AC-WC* 5 cm, lapisan *AC-BC* 6 cm, lapisan *AC-Base* 16 cm, lapisan *CTB* 15 cm dan lapisan pondasi agregat kelas A 15 cm. Sehingga total tebal perkerasan dari metode Bina Marga adalah 57 cm. Kemudian metode *AASHTO* 1993 didapatkan total perkerasan sebesar 35 cm dengan spesifikasi lapisan permukaan (Laston MS 590) memiliki tebal 5 cm dan 15 cm untuk masing-masing lapisan pondasi atas (LPA kelas A) serta

pondasi bawah (Sirtu kelas B). Jadi, kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah nilai RAB untuk perkerasan yang didesain dengan metode Bina Marga 2017 lebih mahal dari perkerasan metode *AASHTO* 1993 karena tebal perkerasan metode *AASHTO* 1993 lebih kecil daripada tebal perkerasan metode Bina Marga 2017.

Hariyanto, dkk (2023) melakukan penelitian dengan judul penelitian "Perencanaan Tebal Lapisan Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 Pada Proyek Peningkatan Jalan Ngawenan – Pasar Sore – Temengeng – Gubug Payung, Sambong, Blora". Penelitian yang dilakukan pada ruas Jalan Ngawenan – Pasar Sore – Temengeng – Gubug Payung, Sambong Blora pada Sta. 0+000 – Sta. 2+671 ini menggunakan dua metode dalam mendesain tebal struktur perkerasan lentur yaitu menggunakan metode Bina Marga 2017 dan menggunakan metode *AASHTO* 1993. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil tebal struktur perkerasan antara metode Bina Marga 2017 dengan metode *AASHTO* 1993. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa perkerasan metode *AASHTO* 1993 menghasilkan tebal lapis permukaan yang lebih besar daripada perkerasan metode Bina Marga 2017. Berikut merupakan rincian tebal lapisan yang dihasilkan pada metode *AASHTO* 1993, lapis permukaan setebal 16,69 cm, lapis pondasi kelas A setebal 8,84 cm dan lapis pondasi kelas B setebal 21,40 cm. Sedangkan pada metode Bina Marga 2017 dihasilkan tebal lapis permukaan setebal 10 cm, lapis pondasi agregat kelas A setebal 40 cm.

## 2.2 Analisis Perkerasan Lentur Dengan *Software KENPAVE*

Ottu dkk (2023) melakukan penelitian dengan judul "Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 Pada Jalan Denggung-Wonorejo, Sleman". Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan ketebalan lapis perkerasan dengan mengacu pada pedoman Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993. Pada metode Bina Marga 2017 diperoleh spesifikasi tebal perkerasan *AC-WC* tebalnya 40 mm, lapisan *AC-BC* 60 mm, lapisan *AC-Base* 125 mm, lapisan *CTB* 150 mm, dan LPA kelas A 150 mm. Selanjutnya metode *AASHTO* 1993 menunjukkan tebal *AC-WC* 60 mm, *AC-BC* 50 mm, laston MS 744 setebal 250 mm dan LPA klas A 40 mm. Berdasarkan nilai

ketebalan struktur perkerasan yang diperoleh dipilih perkerasan yang didesain dengan metode Bina Marga 2017 karena dianggap lebih ekonomis. Selanjutnya digunakan aplikasi *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan akibat beban. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program *KENPAVE* menunjukkan bahwa ruas jalan Denggung-Wonorejo yang didesain sesuai Bina Marga 2017 mampu melayani beban kendaraan sesuai umur rencana yaitu selama 20 tahun.

Lia dan Pambudi (2022) melakukan penelitian dengan judul "Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi Kenpave". Penelitian ini berlokasi di Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung. Data-data dalam penelitian diperoleh dengan melakukan survey secara langsung ataupun diperoleh dari dinas diwilayah penelitian. Terdapat tiga metode yang digunakan untuk menghitung tebal perkerasan lentur pada penelitian ini, yaitu metode *AASHTO* 1993, analisa komponen dan Bina Marga 2017. Hasil analisis struktur perkerasan dari ketiga metode tersebut akan dievaluasi dengan pendekatan mekanistik-empirik menggunakan aplikasi *KENPAVE* untuk mengetahui nilai perbandingannya. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh total tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 sebesar 450 mm, metode Analisia Komponen sebesar 600 mm dan metode Bina Marga 2017 sebesar 610 mm. Penilaian kinerja dengan bantuan *KENPAVE* didapatkan bahwa ketiga metode yang digunakan, metode analisa komponen menjadi salah satu metode yang mampu bertahan dari kerusakan retak lelah selama umur rencana. Selain itu, dari ketiga metode yang digunakan tersebut struktur perkerasan tidak mengalami kerusakan deformasi permanen. Namun, metode Bina Marga 2017 mengalami kerusakan retak lelah karena tidak mampu menahan pengulangan beban sebesar 25.031.114,8 ESAL.

Marlina dkk (2023) melakukan penelitian dengan judul penelitian "Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program *KENPAVE*". Penelitian ini dilakukan di jalan sepanjang 320 meter pada ruas Jalan Pulau Indah, Oesapa Barat, Kota Kupang. Tujuan dari penelitian yang dilakukan Marlina dkk yaitu untuk mengetahui nilai besarnya ketebalan struktur perkerasan yang ideal pada lokasi yang ditinjau. Hal tersebut dilakukan karena pada ruas jalan

yang ditinjau sudah mengalami kerusakan jalan seperti berlubang dan permukaan jalan yang bergelombang yang diakibatkan banyak kendaraan berat yang melintasi ruas jalan tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan tebal perkerasan yang tepat agar dapat menahan beban kendaraan secara optimal dan bertahan cukup lama. Metode yang digunakan dalam mendesain tebal struktur perkerasan lentur pada penelitian ini menggunakan metode Bina Marga 2017 dan metode analisa komponen. Tebal perkerasan yang dihasilkan dari kedua metode yang digunakan tersebut akan dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui nilai respon strukturnya akibat dari pembebanan lalu lintas. Respon struktur yang dihasilkan diperoleh dengan menggunakan bantuan program *KENPAVE*. Data pada penelitian diperoleh dari Dinas PUPR Provinsi NTT seperti data CBR, data *survey* lalu lintas, data tebal perkerasan eksisting, data lebar jalan dan tingkat curah hujan disekitar lokasi penelitian. Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini diperoleh data bahwa perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 menghasilkan nilai ESA4 sebesar 44.150.197 *ESAL* dan nilai ESA5 sebesar 61.876.545 *ESAL* sehingga diperoleh ketebalan struktur perkerasan selama umur rencana dengan rincian tebal lapis permukaan sebesar 16 cm, lapis pondasi atas sebesar 30 cm dan lapis pondasi bawah sebesar 15 cm. Sedangkan pada metode Analisa Komponen menghasilkan tebal perkerasan dengan rincian tebal lapis permukaan sebesar 10 cm, lapis pondasi atas sebesar 15 cm dan lapis pondasi bawah sebesar 21 cm. Analisis menggunakan bantuan *KENPAVE* dapat diketahui bahwa perkerasan pada kedua metode yang digunakan mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Struktur perkerasan Bina Marga 2017 memiliki nilai repetisi beban untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 5,84E+09 *ESAL*, kerusakan *rutting* sebesar 1,19E+14 ESAL dan *permanent deformation* sebesar 3,94E+09 *ESAL*. Sedangkan pada metode Analisa Komponen diketahui bahwa perkerasannya memiliki nilai repetisi beban untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 1,84E+10 *ESAL*, kerusakan *rutting* sebesar 3,02E+13 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 8,81E+09 *ESAL*.

## 2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu

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

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

| **Peneliti** | Wesli dkk (2022) | Krisdiyanto dkk (2022) | Hariyanto dkk (2023) | Ottu dkk (2023) | Lia dan Pambudi (2022) | Marlina dkk (2023) | Penulis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Judul Penelitian** | Studi Komparasi Metode *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) 1993 dan Metode Bina Marga 2017 Pada Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan | Analisa Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993 dan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 | Perencanaan Tebal Lapisan Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan *AASHTO* 1993 Pada Proyek Peningkatan Jalan Ngawenan-Pasar Sore-Temengeng-Gubug Payung, Sambong, Blora | Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 Pada Jalan Denggung-Wonorejo, Sleman | Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi *KENPAVE* | Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program *KENPAVE* | Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan Baru Dengan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik Pada Jalan Tawang-Ngalang |
| **Lokasi Studi** | Ruas Jalan Bireuen-Takengon | Jalan Salem-Bandungsari | Jalan Ngawenan-Pasar Sore-Temengeng-Gubug Payung, Sambong, Blora | Jalan Denggung-Wonorejo, Sleman | Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung | Jalan Pulau Indah, Oesapa Barat, Kota Kupang | Jalan Tawang-Ngalang Segmen II dan Segmen III, Nglanggeran, Gunungkidul |

Sumber : Wesli dkk (2022), Krisdiyanto dkk (2023), Hariyanto dkk (2023), Ottu dkk (2023), Lia dan Pambudi (2022), Marlina dkk (2023)

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

| **Peneliti** | Wesli dkk (2022) | Krisdiyanto dkk (2022) | Hariyanto dkk (2023) | Ottu dkk (2023) | Lia dan Pambudi (2022) | Marlina dkk (2023) | Penulis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Target Penelitian** | Mengkomparasi ketebalan struktur perkerasan antara dua metode yang diterapkan pada penelitian | Mengetahui hasil komparasi ketebalan perkerasan beserta nilai RAB dari dua metode yang digunakan pada penelitian. | Mengetahui hasil perbandingan ketebalan perkerasan antara metode Bina Marga 2017 dengan metode *AASHTO* 1993 | Mengevaluasi dan membandingkan ketebalan lapis perkerasan dengan menggunakan acuan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 untuk mengetahui umur layan. | Mengetahui kinerja struktur perkerasan lentur secara elastik dan membandingkan ketebalan perkerasan lentur menggunakan metodologi *AASHTO* 1993, Analisis Komponen, dan Bina Marga 2017. | Mengetahui besarnya ketebalan yang ideal pada struktur perkerasan lentur yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana | Mengetahui perbandingan kinerja dan sisa umur layan dari struktrur perkerasan eksisting, struktur perkerasan metode *AASHTO* 1993 dan struktur perkerasan alternatif |
| **Metode Penelitian** | Metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2017 | Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 | Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 | Metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 serta program *KENPAVE* | Metode *AASHTO* 1993, Analisa Komponen, Bina Marga 2017 dan program *KENPAVE* | Metode Bina Marga 2017, Analisa Komponen dan program *KENPAVE* | Metode *AASHTO* 1993 dan program *KENPAVE* |

Sumber : Wesli dkk (2022), Krisdiyanto dkk (2023), Hariyanto dkk (2023), Ottu dkk (2023), Lia dan Pambudi (2022), Marlina dkk (2023)

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

| **Peneliti** | Wesli dkk (2022) | Krisdiyanto dkk (2022) | Hariyanto dkk (2023) | Ottu dkk (2023) | Lia dan Pambudi (2022) | Marlina dkk (2023) | Penulis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Output Penelitian** | Metode *AASHTO 1993* mampu menciptakan tebal perkerasan yang lebih tebal daripada metode Bina Marga 2017. Tebal total struktur perkerasan antara kedua metode tersebut adalah 83 cm dan 54,5 cm. | Tebal struktur perkerasan lentur yang diperoleh dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 didapatkan lebih tebal dibandingkan dengan metode *AASHTO* 1993 dengan perbandingan 57 cm : 35 cm. Sehingga nilai RAB pada perkerasan metode Bina Marga 2017 juga lebih besar daripada perkeran metode *AASHTO* 1993. | Hasil penelitian diketahui bahwa metode Bina Marga 2017 menghasilkan tebal perkerasan *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, dan lapis pondasi atas setebal 40 cm. Sedangkan metode *AASHTO* 1993 diperoleh ketebalan lapisan permukaan 16,69 cm, lapis pondasi atas 8,84 cm dan lapis pondasi bawah setebal 21,40 cm | Berdasarkan hasil analisis, struktur perkerasan yang digunakan untuk menentukan dan mengetahui umur layan jalan adalah struktur perkerasan dengan metode Bina Marga 2017. Metode tersebut dipilih karena dianggap lebih murah daripada perkerasan metode *AASHTO* 1993. Perkerasan yang dipilih tersebut mampu melayani beban kendaraan sesuai umur rencana. | Hasil evaluasi ditemukan bahwa ketiga metode tidak mengalami kerusakan deformasi permanen. Kerusakan retak lelah terjadi pada metode Analisa Komponen dan *AASHTO* 1993. Sedangkan kerusakan retak alur hanya terjadi pada metode Bina Marga 2017 | Diketahui bahwa perkerasan metode Bina Marga 2017 dan metode Analisa Komponen mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Perkerasan metode Bina Marga menghasilkan ketebalan total sebesar 61 cm dan 93 cm untuk tebal perkerasan metode Analisa Komponen | Metode *AASHTO* 1993 menghasilkan tebal perkerasan yang lebih kecil daripada perkerasan eksisting. Analisis kinerja perkerasan metode *AASHTO* 1993 mampu menahan kerusakan *rutting* selama umur layannya. Sedangkan perkerasan eksisting pendekatan elastik memiliki umur layan yang lebih baik daripada pendekatan viskoelastik |

Sumber : Wesli dkk (2022), Krisdiyanto dkk (2023), Hariyanto dkk (2023), Ottu dkk (2023), Lia dan Pambudi (2022), Marlina dkk (2023)

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Definisi Jalan

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 “jalan merupakan suatu prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh bagian jalan termasuk, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang berada di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel.”

Jalan sebagai komponen prasarana transportasi berfungsi untuk menciptakan jalur mobilitas bagi masyarakat supaya dapat bergerak dari satu titik ke titik yang lainnya (Darwoto dkk, 2023). Prasarana jalan sangat penting bagi masyarakat karena dengan adanya jalan akan membantu masyarakat dalam menjangkau suatu daerah ke daerah yang lain sehingga mobilitas masyakarat menjadi lancar dan dapat memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, jalan harus dibuat dengan konstruksi yang tahan terhadap beban kendaraan agar mampu mendukung mobilitas masyarakat sekitar dalam jangka waktu yang panjang. Selain itu, variabel lain yang harus dicermati ketika mendesain jalan yaitu jalan harus didesain sebaik mungkin baik dari segi geometrik maupun segi teknisnya (Maryam 2020).

## 3.2 Pengelompokan Jalan

Menurut Undang-undang Nomor 38 Tahun 2004 jalan diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok sebagai berikut.

1. Menurut Statusnya

   Berikut merupakan klasifikasi jalan berdasarkan statusnya.

   a. Jalan nasional merupakan jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi, dan jalan strategis nasional serta jalan tol.

b. Jalan provinsi merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota, atau antar ibukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi.
c. Jalan kabupaten adalah jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, serta jalan umum dan sistem jaringan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.
d. Jalan kota adalah jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antar persil, serta menghubungkan antar pusat pemukiman yang beradai di dalam kota.
e. Jalan desa adalah jalan umum yang menghubungkan kawasan dan atau antar pemukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.

2. Menurut Fungsinya

Berikut merupakan klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya.

a. Jalan arteri adalah jalan umum yang berfungsi melayani dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rerata yang tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
b. Jalan kolektor adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rerata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
c. Jalan lokal adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rerata rendah.
d. Jalan lingkungan adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rerata rendah."

## 3.3 Perkerasan Jalan

Menurut Kholiq (2014) lapisan agregat yang terdapat di atas lapisan tanah di jalan yang pada umumnya dipadukan dengan lapis pengikat dikenal sebagai

konstruksi perkerasan jalan yang berguna untuk menahan muatan lalu lintas. Kemudian menurut Silvia Sukirman (1999), perkerasan jalan dapat diklasifikasikan berdasarkan material pengikatnya dalam tiga tipe yaitu:

1. Perkerasan yang memiliki sejumlah lapisan yang berguna untuk menyerap dan mendistribusikan muatan kendaraan sampai ke tanah dasar dengan aspal sebagai komponen pengikatnya dikenal dengan perkerasan fleksibel.
2. Perkerasan yang bergantung pada kualitas beton dan menggunakannya sebagai komponen utama pengikat disebut sebagai perkerasan *rigid*.
3. Perpaduan komponen pengikat antara perkerasan fleksibel dan *rigid* yang terdapat pada suatu perkerasan maka perkerasan itu disebut sebagai perkerasan komposit.

Konstruksi jalan dengan perkerasan tipe fleksibel adalah konstruksi terpopular dan digemari di Indonesia. Perkerasan ini disebut sebagai perkerasan lentur karena menggunakan aspal sebagai material pengikatnya sehingga memiliki sifat lentur dan dapat meredam getaran akibat pergerakan kendaraan. Jalan seperti yang ada diperkotaan yang notabenenya terdapat lalu lintas dengan intensitas kecil sampai menengah akan lebih cocok jika digunakan perkerasan tipe fleksibel (Krisdiyanto, dkk, 2022). Perkerasan tipe ini memiliki sejumlah lapisan. Dibawah ini merupakan penjelasan fungsi dari setiap lapisan pada perkerasan tipe fleksibel.

1. Lapis permukaan (*surface course*)

   Lapisan ini merupakan lapisan teratas dari struktur perkerasan yang secara struktural mempunyai fungsi untuk menerima dan menyalurkan beban kendaraan ke bawah. Selain itu, sebagai lapisan aus dan kedap air merupakan fungsi non struktural dari lapisan permukaan. Oleh karena itu, lapisan ini harus memiliki tingkat kekesatan tertentu agar dapat memunculkan dampak positif dari pengendara seperti rasa nyaman.
2. Lapis pondasi atas (*base course*)

   Berada tepat di bawah lapis permukaan, lapisan ini juga mempunyai fungsi sebagai bantalan yang menyokong lapisan diatasnya serta mendistribusikan beban kendaraan ke lapisan bawah.
3. Lapis pondasi bawah (*sub-base course*)

Lapisan yang terletak ditengah-tengah antara lapis pondasi atas dan tanah dasar ini memiliki fungsi yang sama yakni menyalurkan beban kendaraan ke lapisan dibawahnya. Selain harus kokoh, lapisan ini harus mengantisipasi adanya kenaikan partikel kecil dari dasar tanah dan harus mencegah penumpukan air.

4. Lapis tanah dasar (*subgrade*)

   Lapisan terbawah dari suatu perkerasan tipe fleksibel adalah lapisan tanah dasar dimana bisa berupa tanah asli, tanah yang digali atau tanah yang ditimbun yang diberikan pemadatan sesuai dengan kebutuhan atau rencana.

Adapun Hardiyatmo (2011) mengelompokkan tanah dasar menjadi tiga macam yaitu:

1. Tanah dasar pada permukaan tanah asli

   Tanah dasar pada permukaan tanah asli umumnya harus memiliki daya dukung tanah dasar yang kuat untuk menghindari terjadinya penurunan akibat beban. Apabila tanah dasar tidak memiliki daya dukung tanah yang sesuai dengan persyaratan maka harus dilakukan perbaikan tanah atau penggantian tanah. Penentuan kondisi lapisan tanah dasar yang dirancang pada tanah asli dapat dilakukan melalui penyelidikan tanah.

2. Tanah dasar pada timbunan

   Pada umumnya material tanah di daerah timbunan dipadatkan sampai mencapai kepadatan yang cukup tinggi sehingga tanah tersebut memiliki daya dukung yang besar. Namun, stabilitas lereng menjadi masalah utama yang harus dihadapi pada saat pembangunan perkerasan yang berada di daerah timbunan. Stabilitas lereng menjadi perhatian khusus karena jika lereng tersebut tidak stabil maka dapat mengakibatkan bencana tanah longsor, dengan demikian ruas jalan akan menjadi terdampak akibat dari adanya material tanah longsor tersebut. Oleh karena itu, pemadatan pada material di daerah timbunan sangat penting karena dapat menambah stabilitas lereng timbunan dan mampu mengurangi daya serap air pada tanah.

3. Tanah dasar pada galian

Hal penting yang harus diperhatikan ketika tanah dasar berada pada daerah galian yaitu drainase dan stabilitas lereng. Pada daerah ini kerap dilakukan pembangunan perkuatan lereng untuk meminimalisasi terjadinya tanah longsor. Selain itu, sistem drainase yang baik juga diperlukan karena pada daerah galian air akan cenderung turun mengarah ke struktur perkerasan.

## 3.4 Desain Tebal Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993

*American Association of State Highway and Transportation Official* atau biasa disebut sebagai *AASHTO* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendesain tebal perkerasan jalan. Metode ini telah berkembang sejak dilakukannya penelitian dan pengujian lapangan di Ottawa (negara bagian Illinois), Amerika Serikat pada tahun 1958 hingga tahun 1960. Metode ini telah mengalami beberapa perubahan akibat dari adanya perkembangan kondisi lingkungan dan alam. Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode *AASHTO* 1993. Parameter-parameter yang digunakan pada metode *AASHTO* 1993 dalam menentukan tebal lapis perkerasan adalah sebagai berikut.

### 3.4.1 Persamaan Dasar Metode *AASHTO* 1993

Pada tahap perencanaan tebal perkerasan lentur terdapat persyaratan dasar yaitu jalan yang dibangun harus memiliki kekuatan dalam menahan beban lalu lintas, memiliki tingkat kekesatan permukaan yang cukup dan bernilai ekonomis sehingga dapat memberikan rasa kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan. Persamaan 3.1 di bawah ini menunjukkan rumus dasar dalam penentuan tebal lapis struktur perkerasan menurut metode *AASHTO* 1993.

$$log_{10}W_{18} = Z_R S_o + 9{,}36 log_{10}(SN+1) - 0{,}2 + \frac{log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}\right]}{0{,}4+\frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32\ x\ log_{10}M_R - 8{,}07 \quad (3.1)$$

Keterangan:

$W_{18}$ = jumlah beban ekivalen (*ESAL*),

SN = angka struktural,

$Z_R$ = deviasi standar normal,

$S_O$ = deviasi standar keseluruhan,

$\Delta PSI$ = nilai indeks permukaan, dan

$M_R$ = *modulus resilient* tanah dasar

### 3.4.2 Periode Analisa (*Analysis Period*)

Dalam membangun jalan baru pada umumnya digunakan umur rencana (UR) selama 20 tahun. Biaya dan fungsi jalan yang akan dibangun juga dapat menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan periode analisa. Nilai periode analisa berdasarkan fungsi jalan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3. 1 Periode Analisa**

| *Highway Conditions* | *Analysis Period (years)* |
|---|---|
| *High volume urban* | 30 – 50 |
| *High volume rural* | 20 – 50 |
| *Low volume paved* | 15 – 25 |
| *Low volume aggregate* | 10 – 20 |

Sumber : *AASHTO* (1993)

### 3.4.3 Reliabilitas (R) dan Deviasi Standar Normal (ZR)

Reliabilitas adalah tingkatan potensi perkerasan yang telah didesain akan tetap mampu dan memuaskan selama masa pelayanan. Nilai reliabilitas (R) berguna untuk mengatasi potensi kesalahan dalam kalkulasi volume lalu lintas dan kinerja perkerasan. Jika nilai R besar maka menunjukkan bahwa perkerasan mempunyai kinerja yang baik dimana perkerasannya lebih tebal. Nilai tersebut memiliki rentang antara 50% hingga 99,99% yang menggambarkan probabilitas ketidaktepatan besaran nilai parameter desain yang digunakan. Nilai (R) memiliki hubungan *linear* dimana apabila nilai R besar, maka nilai probabilitas perbedaan diantara perkerasan hasil desain dengan perkerasan eksisting juga semakin besar. *AASHTO* 1993 menyarankan nilai (R) dan nilai (ZR) yang terlihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 dibawah ini.

**Tabel 3. 2 Nilai Reliabilitas (R)**

| Jenis Jalan | Nilai (R) % | |
|---|---|---|
| | Daerah kota (*urban*) | Daerah desa (*rural*) |
| Jalan Nasional dan Bebas Hambatan | 85 – 99,9 | 80 – 99,9 |
| Arteri | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Kolektor | 80 – 95 | 75 – 95 |

**Lanjutan Tabel 3. 2 Nilai Reliabilitas (R)**

| Jenis Jalan | Nilai (R) % | |
|---|---|---|
| | Daerah kota (*urban*) | Daerah desa (*rural*) |
| Lokal | 50 – 80 | 50 – 80 |

Sumber : *AASHTO* (1993)

**Tabel 3. 3 Hubungan antara R dengan ZR**

| Reliabilitas (R), % | $Z_R$ | Reliabilitas (R), % | $Z_R$ |
|---|---|---|---|
| 50 | 0,000 | 93 | -1,476 |
| 60 | -0,253 | 94 | -1,555 |
| 70 | -0,524 | 95 | -1,645 |
| 75 | -0,674 | 96 | -1,751 |
| 80 | -0,841 | 97 | -1,881 |
| 85 | -1,037 | 98 | -2,054 |
| 90 | -1,282 | 99 | -2,327 |
| 91 | -1,340 | 99,9 | -3,090 |
| 92 | -1,405 | 99,99 | -3,750 |

Sumber : *AASHTO* (1993)

### 3.4.4 Standar Deviasi Keseluruhan ($S_O$)

Adanya berbagai macam jenis data yang diperlukan dalam proses analisis, maka diperlukan suatu faktor yang mampu mengukur keberagaman jenis data yang dikenal dengan deviasi standar keseluruhan ($S_o$). Angka rekomendasi menurut *AASHTO* 1993 pada faktor ini adalah 0,35 untuk perkerasan kaku dan 0,45 untuk perkerasan lentur.

### 3.4.5 Analisis Lalu Lintas

Analisis lalu lintas yang dilakukan meliputi menghitung jumlah kendaraan yang melintas. Jumlah kendaraan yang melintas akan dinyatakan dalam bentuk beban gandar ekivalen yaitu kumulatif kendaraan yang melintas dari segala arah pada suatu lintasan. *AASHTO* 1993 memberikan saran untuk nilai faktor distribusi arah ($D_D$) sebesar 0,3 – 0,7, bergantung pada arah kendaraan berat yang melintas. Umumnya nilai $D_D$ yang digunakan sebesar 0,5. *AASHTO* 1993 memberikan rumus

yang ditunjukkan pada Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 dibawah untuk menentukan lalu lintas pada jalur desain.

$W_{18}$ = $D_D$ x $D_L$ x *EALF* x $LHR_0$ x 365 x R (3.2)

$$R = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (3.3)$$

Keterangan:

$W_{18}$ = total beban lalu lintas standar kumulatif umur rencana,

$D_D$ = faktor distribusi arah,

$D_L$ = faktor distribusi lajur,

*EALF* = faktor ekivalensi beban kendaraan,

R = faktor umur rencana jalan

i = faktor pertumbuhan lalu lintas, dan

n = umur rencana.

Adapun rumus yang dapat digunakan untuk menghitung lalu lintas harian rata-rata dengan Persamaan 3.4 seperti di bawah ini.

$LHRT = LHR_0 (1+i)^n$ (3.4)

Keterangan:

$LHR_0$ = lalu lintas harian rata-rata tahun pertama (kend/hari)

*i* = tingkat kenaikan pertumbuhan lalu lintas (%)

n = umur rencana

Berikut merupakan Tabel 3.4 yang menunjukkan nilai faktor distribusi lajur menurut *AASHTO* 1993.

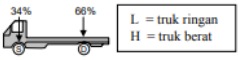
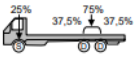
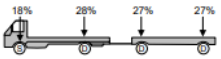
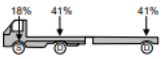
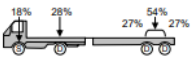
**Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL)**

| Jumlah Lajur per Arah | Persentase Lalu Lintas pada Jalur Rencana (%) |
|---|---|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 – 90 |
| 3 | 60 – 80 |
| 4 | 50 – 75 |

Sumber : *AASHTO* (1993)

*AASHTO* (1993) menjelaskan bahwa faktor ekivalensi beban dinyatakan ke dalam bentuk faktor beban gandar ekivalen yaitu kerusakan yang disebabkan oleh beban dari berbagai macam tipe kendaraan dan konfigurasi gandar terhadap beban gandar standar. Beban gandar standar diartikan sebagai beban dengan nilai 18-kip atau setara dengan 80 kN dari kendaraan yang berkonfigurasi gandar tunggal dengan roda *double*. Tabel 3.5 dibawah ini menunjukkan informasi mengenai distribusi beban kendaraan pada masing-masing jenis kendaraan.

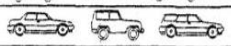
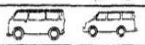
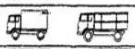
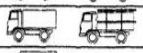
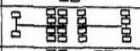
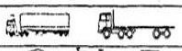
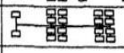
**Tabel 3. 5 Distribusi Beban Kendaraan**

| Konfigurasi Sumbu & Tipe | Berat Kosong (ton) | Beban Muatan Maksimum (ton) | Berat Total Maksimum (ton) | |
|---|---|---|---|---|
| 1.1 Mobil Penumpang | 1,5 | 0,5 | 2,0 |   |
| 1.2 Bus | 3 | 6 | 9 |   |
| 1.2L Truk | 2,3 | 6 | 8,3 |   |
| 1.2H Truk | 4,2 | 14 | 18,2 |   |
| 1.22 Truk | 5 | 20 | 25 |   |
| 1.2 + 2.2 Trailer | 6,4 | 25 | 31,4 |   |
| 1.2+ 2 Trailer | 6,2 | 20 | 26,2 |   |
| 1.2+ 22 Trailer | 10 | 32 | 42 |   |

Sumber : Sukirman (2010)

Informasi mengenai konfigurasi sumbu pada setiap jenis golongan kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.6 di bawah ini.

**Tabel 3. 6 Konfigurasi Sumbu Tiap Golongan Kendaraan**

| Golongan | Kelompok jenis kendaraan | Jenis kendaraan | Konfigurasi sumbu | Kode |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Sepeda motor, kendaraan roda-3 |  | | |
| 2 | Sedan, jeep, station wagon |  |  | 1.1 |
| 3 | Angkutan penumpang sedang |  |  | 1.1 |
| 4 | Pick up, micro truk dan mobil hantaran |  |  | 1.1 |
| 5a | Bus kecil |  |  | 1.1 |
| 5b | Bus besar |  |  | 1.2 |
| 6a | Truk ringan 2 sumbu |  |  | 1.1 |
| 6b | Truk sedang 2 sumbu |  |  | 1.2 |
| 7a | Truk 3 sumbu |  |  | 1.2.2 |
| 7b | Truk gandengan |  |  | 1.2.2 - 2.2 |
| 7c | Truk semitrailer |  |  | 1.2.2.2.2 |
| 8 | Kendaraan tidak bermotor |  | | |

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Adapun dalam menentukan nilai faktor gandar ekivalen (*EALF*), dapat digunakan rumus seperti pada Persamaan 3.5 hingga Persamaan 3.8 dibawah ini.

$$EALF = \left[\frac{Beban\ Sumbu\ Tunggal\ Roda\ Tunggal\ (kN)}{53\ kN}\right]^4 \quad (3.5)$$

$$EALF = \left[\frac{Beban\ Sumbu\ Tunggal\ Roda\ Ganda\ (kN)}{80\ kN}\right]^4 \quad (3.6)$$

$$EALF = \left[\frac{Beban\ Sumbu\ Ganda\ Roda\ Ganda\ (kN)}{135\ kN}\right]^4 \quad (3.7)$$

$$EALF = \left[\frac{Beban\ Sumbu\ Tridem\ Roda\ Ganda\ (kN)}{181\ kN}\right]^4 \quad (3.8)$$

Selanjutnya dalam menentukan nilai persentase pertumbuhan lalu lintas dapat digunakan nilai yang ada pada Tabel 3.7 dibawah ini.

**Tabel 3. 7 Persentase Pertumbuhan Lalu Lintas Secara Regional (%)**

| | Jawa | Sumatera | Kalimantan | Rata-rata Indonesia |
|---|---|---|---|---|
| Arteri dan perkotaan | 4,8 | 4,83 | 5,14 | 4,75 |
| Kolektor rural | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Jalan desa | 1 | 1 | 1 | 1 |

Sumber : Bina Marga (2017)

### 3.4.6 Modulus Resilient ($M_R$)

Ketahanan lapisan tanah atau pondasi granular terhadap perubahan bentuk yang disebabkan oleh muatan lalu lintas disebut sebagai *modulus resilient* ($M_R$). Karakteristik tegangan dan regangan yang tidak menentu dapat disebabkan karena adanya variasi nilai dari tegangan tersebut. Dalam Hardiyatmo (2011), *Shell Oil Co*. dan *Asphalt Institute* (MS-23) menyajikan korelasi antara $M_R$ dan *CBR* yang ditunjukkan dalam Persamaan 3.9 dan 3.10 di bawah ini.

$M_R = 10{,}3\ (CBR)$ (psi) (3.9)

atau

$M_R = 1500\ (CBR)$ (psi) (3.10)

### 3.4.7 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

Kemampuan pelayanan terbagi menjadi dua macam yaitu kemampuan pelayanan pada tahap awal ($p_o$) dan kemampuan pelayanan pada tahap akhir perkerasan ($p_t$). Tingkat kekasatan permukaan perkerasan pada tahap awal operasional disebut sebagai indeks kemampuan pelayanan awal. *AASHTO* 1993 memberikan saran nilai kemampuan pelayanan awal ($p_o$) sebesar 4,2 untuk perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan sebesar 4,5 untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*). Sedangkan indeks kemampuan pelayanan akhir ($p_t$) adalah nilai pada perkerasan jalan di tahap akhir masa layan yang dilihat dari tingkat kekasaran dan ketidakrataan permukaan perkerasan sebelum dilaksanakannya perbaikan pada struktur perkerasan jalan. *AASHTO* 1993 memberikan saran nilai ($p_t$) 2,5 atau 3 untuk jalan lintas utama. Sedangkan pada jalan raya relatif minor dan jalan raya dengan lalu lintas rendah secara berurutan memiliki nilai sebesar 1,5 dan 2,0.

Seiring dengan berjalannya waktu, perkerasan jalan akan terus melayani beban kendaraan yang melitas. Hal tersebut akan diikuti dengan tingkat kemampuan perkerasan yang semakin menurun. Oleh sebab itu, untuk menentukan nilai kehilangan kemampuan pelayanan (*serviceability*) dapat digunakan rumus seperti Persamaan 3.11 berikut.

$\Delta PSI = p_o - p_t$ (3.11)

Keterangan:

$\Delta PSI$ = penurunan kinerja pelayanan,

$p_o$ = indeks kemampuan pelayanan awal, dan

$p_t$ = indeks kemampuan pelayanan akhir

Nilai *PSI* dapat diperoleh dari evaluasi secara fisik dengan melihat tingkat kekasaran dan kerusakan pada permukaan perkerasan jalan selama masa pakainya. Kekasaran permukaan memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan nilai *PSI* karena apabila kekasaran berubah maka akan diikuti dengan berubahnya umur perkerasan. *AASHTO* 1993 menyatakan skala nilai *PSI* yang ditunjukkan dalam Tabel 3.8 dibawah.

**Tabel 3. 8 Nilai *PSI***

| Nilai *PSI* | Kelas |
|---|---|
| 0 – 1 | Sangat jelek |
| 1 – 2 | Jelek |
| 2 – 3 | Standar |
| 3 – 4 | Bagus |
| 4 – 5 | Sangat bagus |

Sumber : *AASHTO* (1993)

Pada Pedoman Perencaaan Perkerasan Lentur (Pt. T-01-2002-B), skala indeks permukaan (*IP*) menunjukkan kondisi permukaan perkerasan. Indeks permukaan diartikan sebagai nilai ketidakrataan dan kekuatan perkerasan dalam melayani lalu lintas. Menurut pedoman tersebut nilai IP ditampilkan di Tabel 3.9 dan 3.10 dibawah ini.

**Tabel 3. 9 Indeks Permukaan Awal Umur Rencana ($IP_o$)**

| Jenis lapis perkerasan | $IP_o$ | Ketidakrataan (IRI, mm/km) |
|---|---|---|
| LASTON | ≥ 4<br>3,9 – 3,5 | ≤ 1,0<br>> 1,0 |
| LASBUTAG | 3,9 – 3,5<br>3,4 – 3,0 | ≤ 2,0<br>> 2,0 |
| LAPEN | 3,4 – 3,0<br>2,9 – 2,5 | ≤ 3,0<br>> 3,0 |

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

**Tabel 3. 10 Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana ($IP_t$)**

| Klasifikasi jalan | | | | Lintas Ekivalen Rencana |
|---|---|---|---|---|
| Lokal | Kolektor | Arteri | Bebas Hambatan | |
| 1,0 – 1,5 | 1,5 | 1,5 – 2,0 | - | <10 |
| 1,5 | 1,5 – 2,0 | 2,0 | - | 10 – 100 |
| 1,5 – 2,0 | 2,0 | 2,0 – 2,5 | - | 100 – 1000 |
| - | 2,0 – 2,5 | 2,5 | 2,5 | >1000 |

Sumber : Bina Marga (1987)

Tabel 3.11 dibawah memberikan informasi mengenai nilai indeks permukaan berdasarkan Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

**Tabel 3. 11 Nilai Indeks Permukaan (IP)**

| Nilai IP | Kategori |
|---|---|
| 2,5 | Permukaan jalan dalam kondisi yang cukup baik dan stabil |
| 2,0 | Tingkat pelayanan terendah yang masih cukup baik |
| 1,5 | Tingkat pelayanan terendah yang masih memungkinan bagi lalu lintas untuk lewat |
| 1,0 | Permukaan jalan yang mengalami kerusakan parah dan dapat mengganggu aliran lalu lintas |

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

### 3.4.8 Koefisien Drainase ($m_i$)

Drainase merupakan komponen penting dalam desain perkerasan jalan yang memerlukan perhatian khusus karena bisa memengaruhi kinerja lapisan pondasi. Kondisi drainase dan proporsi struktur perkerasan yang terkena air hingga mencapai tingkat kejenuhan selama setahun akan menentukan koefisien drainase (Isnaini et al., 2019). Tabel 3.12 dibawah menunjukkan tingkat kualitas drainase menurut *AASHTO* 1993.

**Tabel 3. 12 Kualitas Drainase**

| Kualitas drainase | Waktu air hingga terserap |
|---|---|
| Sempurna | 2 jam |
| Baik | 1 hari |
| Sedang | 1 minggu |
| Buruk | 1 bulan |

**Lanjutan Tabel 3. 12 Kualitas Drainase**

| Kualitas drainase | Waktu air hingga terserap |
|---|---|
| Sangat Buruk | Air tidak mengalir |

Sumber : *AASHTO* (1993)

Penentuan kualitas drainase dapat dilakukan dengan menghitung persen struktur perkerasan terkena air sampai tingkat jenuh selama satu tahun. Perumusan persen struktur perkerasan terkena air dapat dilihat pada Persamaan 3.12 seperti berikut.

$$P = \frac{T_J}{24} \; x \; \frac{T_h}{365} \; x \; W_L \; x \; 100 \qquad (3.12)$$

Persamaan 3.13 dibawah dapat membantu untuk mementukan nilai $W_L$.

$$W_L = 1 - C \qquad (3.13)$$

Keterangan:

$P$ = Persentase hari efektif hujan dalam satu tahun yang mampu memengaruhi struktur perkerasan (%),

$T_j$ = durasi hujan rata-rata harian (jam),

$T_h$ = jumlah hari hujan rata-rata tahunan (hari),

$W_L$ = faktor resapan air hujan pada pondasi jalan, dan

C = indeks aliran

Berikut merupakan nilai indeks aliran menurut Bina Marga 1990 yang ditunjukkan pada Tabel 3.13 dibawah.

**Tabel 3. 13 Nilai Indeks Aliran (C)**

| Kondisi permukaan tanah | Indeks aliran (C) |
|---|---|
| Jalan aspal dan beton | 0,70 – 0,95 |
| Bahu jalan :<br>1. Tanah berbutir halus<br>2. Tanah berbutir kasar<br>3. Batuan masif keras<br>4. Batuan masif lunak | <br>0,40 – 0,65<br>0,10 – 0,20<br>0,70 – 0,85<br>0,60 – 0.75 |

Sumber : DPU Bina Marga (1990)

Setelah melakukan perhitungan persentase waktu struktur perkerasan terdampak air sampai tingkat jenuh selama satu tahun, selanjutnya dapat ditentukan

kualitas drainase dan koefisien drainase. Tabel 3.14 dibawah ini merupakan nilai koefisien drainase yang disarankan oleh *AASHTO* 1993.

**Tabel 3. 14 Koefisien Drainase ($m_i$) Akibat Pengaruh Kualitas Drainase**

| Kualitas drainase | Persen waktu struktur perkerasan terkena air sampai mendekati jenuh air (*P*) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 1% | 1 – 5 % | 5 – 25% | > 25% |
| Sempurna | 1,40 – 1,35 | 1,35 – 1,30 | 1,30 – 1,20 | 1,20 |
| Baik | 1,35 – 1,25 | 1,25 – 1,15 | 1,15 – 1,00 | 1,00 |
| Sedang | 1,25 – 1,15 | 1,15 – 1,05 | 1,00 – 0,80 | 0,80 |
| Buruk | 1,15 – 1,05 | 1,05 – 0,80 | 0,80 – 0,60 | 0,60 |
| Sangat Buruk | 1,05 – 0,95 | 0,95 – 0,75 | 0,75 – 0,40 | 0,40 |

Sumber : *AASHTO* (1993)

### 3.4.9 Koefisien Lapisan (*layer coefficient*)

Yoder dan Witczack (1995) menyebutkan untuk memastikan material-material saling terikat satu sama lain dalam suatu struktur perkerasan, terdapat korelasi empirik dari nilai SN dan ketebalan lapisan di suatu struktur perkerasan yang mana menunjukkan kekuatan material tersebut. Korelasi ini dikenal dengan sebutan koefisien lapisan ($a_i$). Nilai koefisien lapisan ($a_i$) yang diberikan oleh *AASHTO* 1993 ditampilkan oleh Tabel 3.15 dibawah ini.

**Tabel 3. 15 Koefisien Lapisan ($a_i$)**

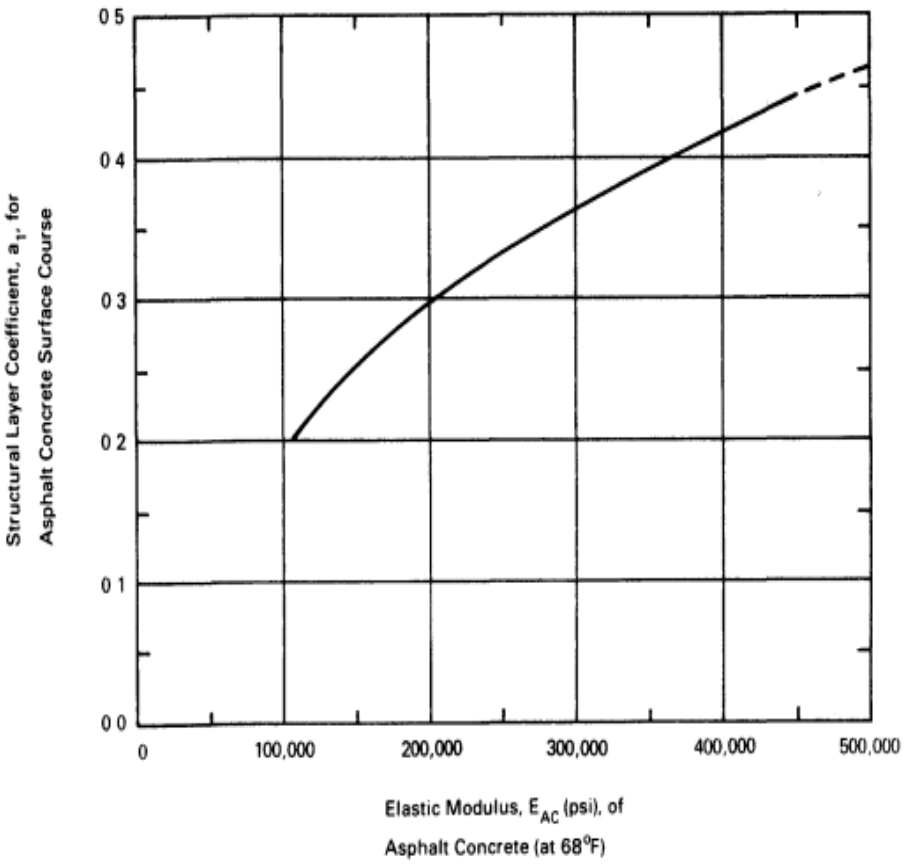
| Jenis material | $a_i$ (1/in) |
|---|---|
| **Lapis permukaan aspal (*surface course*), $a_1$** | |
| Campuran aspal panas gradasi padat | 0,44 |
| Aspal pasir | 0,40 |
| Campuran dipakai ulang (*recycled*) di tempat | 0,20 |
| Campuran dipakai ulang olah pabrik | 0,40 (0,40 – 0,44) |
| **Lapis pondasi (*base course*) $a_2$** | |
| Batu pecah | 0,14 (0,08 – 0,14) |
| Kerikil berpasir | 0,07 |
| Pondasi pozolanik | 0,28 (0,25 – 0,30) |

**Lanjutan Tabel 3. 15 Koefisien Lapisan ($a_i$)**

| Jenis material | $a_i$ (1/in) |
|---|---|
| Pondasi dirawat kapur (*lime treated base*) | 0,22 (0,15 – 0,30) |
| Pondasi dirawat semen (*cement treated base)* | 0,27 |
| Tanah-semen (*soil – cement*) | 0,20 |
| Pondasi dirawat aspal, gradasi kasar | 0,34 |
| Pondasi dirawat aspal, gradasi pasir | 0,30 |
| Campuran dipakai ulang (*recycled*) diolah di tempat | 0,20 |
| Campuran dipakai ulang (*recycled*) diolah di tempat | 0,40 (0,40 – 0,44) |
| Campuran aspal panas gradasi padat | 0,44 |
| **Lapis pondasi bawah (*subbase*) $a_3$** | |
| Kerikil berpasir | 0,11 |
| Lempung berpasir | 0,08 (0,05 – 0,10) |
| Tanah dirawat kapur | 0,11 |
| Lempung dirawat kapur | 0,16 (0,14 – 0,18) |
| Batu pecah | 0,14 (0,08 – 0,14) |

Sumber : *AASHTO* (1993)

Selain nilai koefisien lapisan yang telah disebutkan pada Tabel 3.15 diatas, *AASHTO* 1993 juga menyajikan grafik atau *nomogram* yang dapat digunakan dalam menentukan nilai koefisien lapisan pada perkerasan. Dalam menentukan koefisien kekuatan relatif pada lapisan permukaan dapat digunakan *nomogram* yang terlihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.

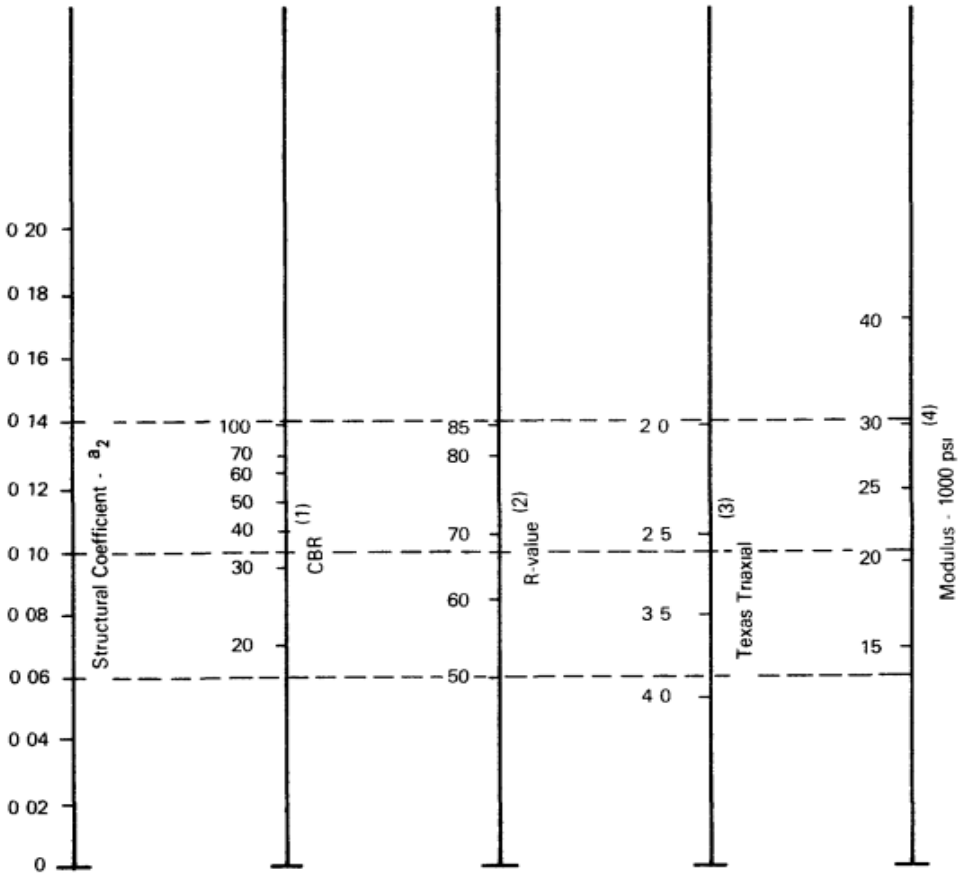



**Gambar 3. 1 Nomogram Koefisien Relatif Lapis Permukaan ($a_1$)**
Sumber : *AASHTO* (1993)

Selanjutnya dalam menentukan nilai koefisien pada lapisan pondasi granuler yang tidak dirawat ($a_2$), *AASHTO* 1993 menyajikan grafik seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 atau Persamaan 3.14 dibawah ini dapat digunakan sebagai rumus untuk menentukan nilai $a_2$

$a_2 = 0{,}249\ (log_{10} M_R) - 0{,}977$ (3.14)

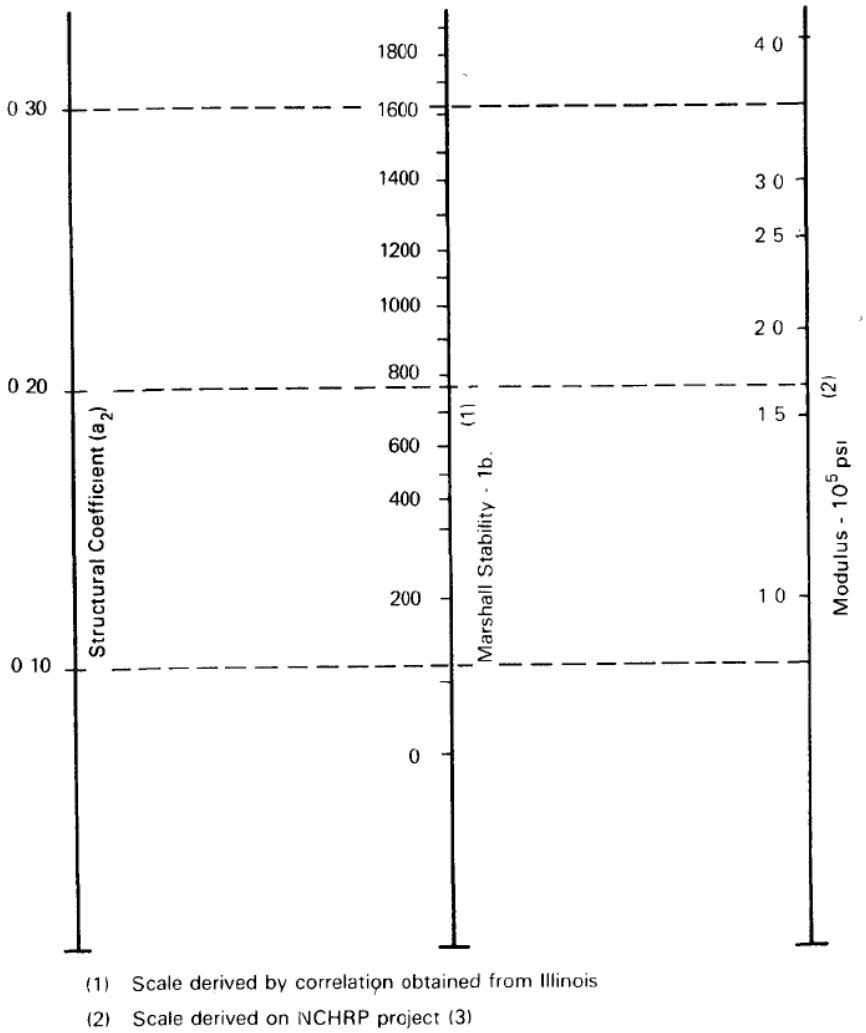
atau menggunakan grafik sebagai berikut.




(1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
(2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

**Gambar 3. 2 Grafik Koefisien Relatif Lapis Pondasi Atas Granuler ($a_2$)**
Sumber : *AASHTO* (1993)

Apabila digunakan lapis pondasi atas yang materialnya terdapat campuran beraspal maka dapat digunakan grafik seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 berikut.

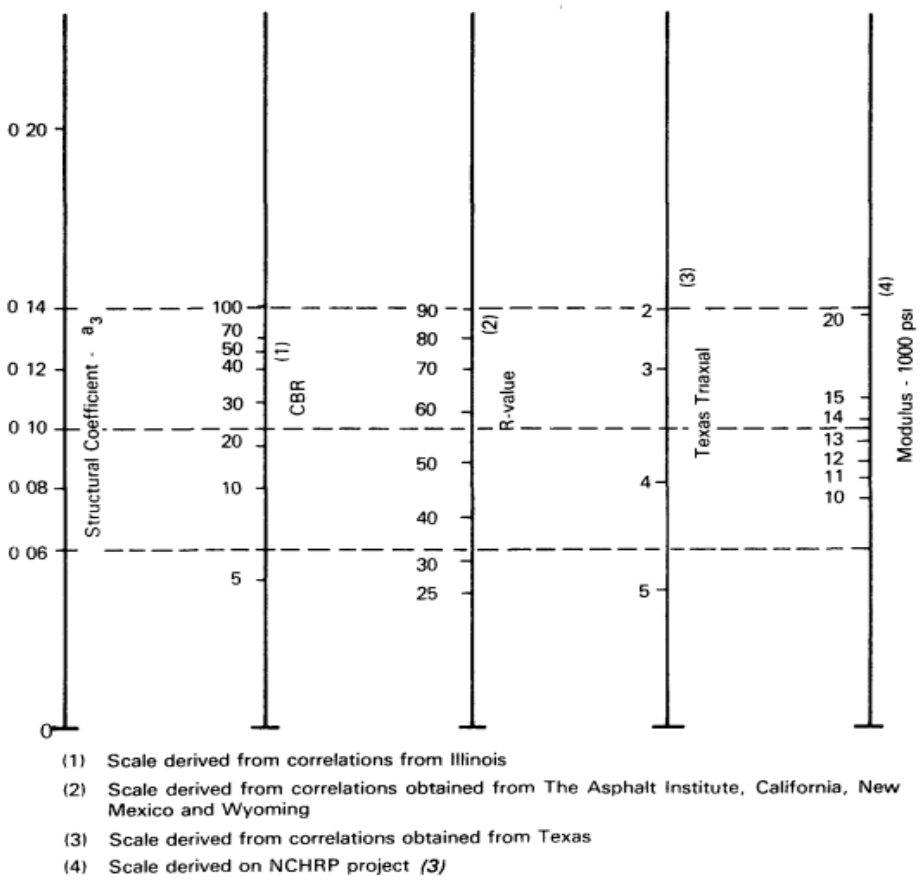



**Gambar 3. 3 Grafik Koefisien Relatif Lapis Pondasi Atas *Bituminous* ($a_2$)**
Sumber : *AASHTO* (1993)

Kemudian untuk menentukan koefisien lapis pondasi bawah granuler ***($a_3$)*** *AAHSTO* 1993 juga menyajikan nomogram yang dapat digunakan seperti pada Gambar 3.4 atau dengan menggunakan Persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$a_3 = 0{,}227\ (log_{10}M_R) - 0{,}839 \quad (3.15)$$

atau dengan grafik sebagai berikut.




(1) Scale derived from correlations from Illinois
(2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived from correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

**Gambar 3. 4 Grafik Koefisien Relatif Lapis Pondasi Bawah ($a_3$)**
Sumber : *AASHTO* (1993)

### 3.4.10 Structural Number (SN)

Angka struktural (*SN*) merupakan representasi dari kekuatan suatu struktur perkerasan. Variasi ketebalan suatu lapisan beserta koefisiennya dapat menentukan angka struktural. Rumus pada Persamaan 3.16 dibawah dapat digunakan untuk menghitung nilai *SN*.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (3.16)$$

Keterangan:

$D_1$ = tebal lapis permukaan (in.)

$D_2$ = tebal lapis pondasi (in.)

$D_3$ = tebal lapis pondasi bawah (in.)

$m_2$ = koefisien drainase pada lapis pondasi

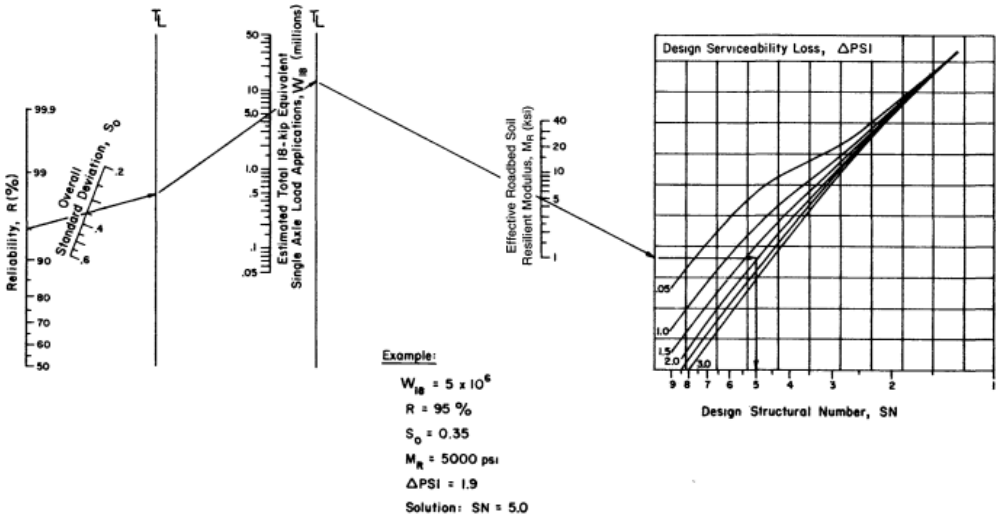
$m_3$ = koefisien drainase pada lapis pondasi bawah

$a_1$ = koefisien lapisan untuk lapis permukaan

$a_2$ = koefisine lapisan untuk lapis pondasi atas, dan

$a_3$ = koefisien lapisan untuk lapis pondasi bawah

*AASHTO* 1993 memberikan nomogram yang dapat membantu dalam menentukan nilai *SN* pada perkerasan lentur seperti yang terlihat pada Gambar 3.5 dibawah.

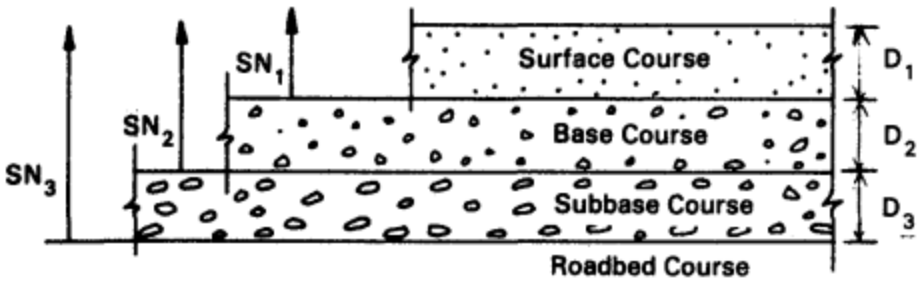



**Gambar 3. 5 Nomogram Untuk Menentukan Nilai *SN* Pada Perkerasan Lentur**

Sumber : *AASHTO* (1993)

### 3.4.11 Syarat Tebal Lapis Perkerasan

Perhitungan tebal pada tiap lapisan perkerasan dapat dilakukan dengan cara seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.6 berikut.




**Gambar 3. 6 Ilustrasi Tebal Lapisan**

Sumber : *AASHTO* (1993)

Persamaan 3.17 sampai Persamaan 3.19 dibawah menunjukkan syarat tebal masing-masing lapisan yang ditentukan oleh *AASHTO* 1993.

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (3.17)$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2} \quad (3.18)$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3} \quad (3.19)$$

Nilai tebal lapisan minimum campuran beraspal dan lapis pondasi menurut *AASHTO* 1993 dan Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Pt. T0-1-2001-B) dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

**Tabel 3. 16 Tebal Minimum Campuran Beraspal dan Lapis Pondasi**

| ESAL | Campuran beraspal (in.) | LAPEN (in.) | LASBUTAG (in.) | Agregat lapis pondasi (in.) |
|---|---|---|---|---|
| <50.000 | 1* | 2 | 2 | 4 |
| 50.001-150.000 | 2 | - | - | 4 |
| 150.001-500.000 | 2,5 | - | - | 4 |
| 500.001-2.000.000 | 3 | - | - | 6 |
| 2.000.001-7.000.000 | 3,5 | - | - | 6 |
| >7.000.000 | 4 | - | - | 6 |

Sumber : *AASHTO* (1993) dan Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah (2002)

## 3.5 Analisis Perkerasan Lentur Metode Mekanistik – Empirik

Metode empiris mengacu pada pemahaman yang didapatkan dari hasil penelitian tentang jalan raya yang sudah ada atau dibangun secara khusus. Sedangkan metode mekanistik – empirik merupakan gabungan dari metode mekanistik dan metode empiris yang digunakan dalam proses desain tebal lapisan perkerasan jalan. Pada awalnya metode mekanistik digunakan untuk merencanakan desain tebal perkerasan jalan yang hanya bergantung pada hasil dari beberapa *test*. Kemudian, dilakukan pengembangan metode yang berkenaan dengan gagasan teoritis tentang karakteristik bahan perkerasan yang digunakan beserta perkiraan kinerja struktur perkerasan terhadap beban gandar kendaraan. Metode ini disebut sebagai metode analitik – mekanisme. Namun, dalam penggunaannya untuk

mendesain tebal struktur perkerasan jalan kedua metode tersebut memiliki kelemahan. Oleh karena itu, seiring dengan kemajuan teknologi maka dilakukan pengembangan metode yang berupa metode mekanistik – empiris untuk mempercepat dan mempermudah kontrol dalam perhitungan desain perkerasan.

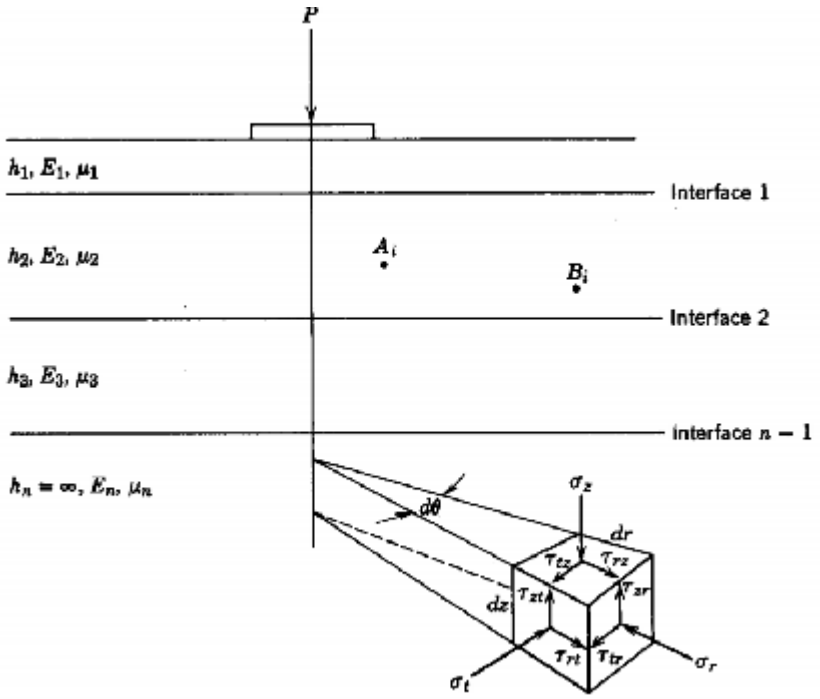
Metode mekanistik – empiris adalah salah satu pendekatan dalam desain tebal struktur perkerasan jalan yang didasarkan pada sifat material dengan menggunakan data-data yang dibutuhkan seperti beban roda. Pada metode pendekatan ini akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan sebagai respon struktur perkerasan terhadap repetisi beban lalu lintas. Respon struktur tersebut dapat digunakan dalam memprediksi kinerja jalan seperti umur pelayanan jalan. Metode mekanis memiliki kekurangan diantaranya dibutuhkan alat uji yang relatif mahal dalam proses penentuan sifat bahan dari perkerasan.

Huang (2004), mengatakan bahwa perlu dilakukan peninjauan terhadap kinerja struktur perkerasan secara berkala karena dalam mendesain perkerasan yang akurat sesuai dengan kondisi lapangan tidak dapat mengandalkan pemahaman teoritis saja. Oleh karena itu, salah satu jawaban dalam pendekatan mekanistik-empirik adalah sistem elastis berlapis-lapis (*Multilayer Elastic System*). Sistem ini berisi mengenai beberapa persepsi yang digunakan dalam menentukan nilai respons struktural. Yoder dan Witczak (1975) memberikan persepsi-persepsi yang meliputi:

1. Material yang digunakan diasumsikan bersifat homogen.
2. Material yang digunakan disetiap lapisan bersifat isotropik, sebagai contoh pada titik Ai memiliki sifat yang sama diseluruh arah.
3. Lapisan tanah dasar diasumsikan memiliki ketebalan yang tidak terhingga dan setiap lapisan memiliki lebar yang tidak terhingga.
4. Parameter *modulus resilient* ($M_R$) dan *Poisson Ratio* ($\mu$) merepresentasikan sifat pada material yang digunakan.
5. Lapisan memiliki sifat linear elastis, linear artinya menggambarkan korelasi antara regangan dan tegangan yang diasumsikan linear. Kata elastis berarti regangan dapat kembali ke bentuk semula jika tegangan dihilangkan.
6. Beban roda diasumsikan dengan bidang bentuk lingkaran yang menyalurkan gaya vertikal secara seragam terhadap struktur perkerasan.

7. Kondisi *slip* diasumsikan tidak terjadi diantara lapis perkerasan.

Gambar 3.7 dibawah ini menunjukkan detail sistem lapis banyak menurut Yoder dan Witczak.




**Gambar 3. 7 Sistem *Multi*-Lapisan**
Sumber : Yoder dan Witczak (1975)

Tegangan geser ($\tau$rt, $\tau$tr, $\tau$rz, $\tau$zr, $\tau$tz, $\tau$zt) bekerja sejajar dengan permukaan. Sedangkan tegangan yang bekerja secara tegak lurus dengan permukaan disebut sebagai tegangan normal (σz, σr, σt). Tegangan geser yang bekerja di setiap permukaan memiliki nilai yang sama besar ketika dalam kondisi kesimbangan statis sehingga memiliki arti bahwa jumlah total tegangan pada kondisi tersebut sama dengan nol. Selain itu, perhitungan pada Persamaan 3.20 hingga 3.22 di bawah ini dapat digunakan sebagai rumus untuk menentukan nilai regangan.

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.20)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}[\sigma_r - \mu(\sigma_t + \sigma_z)] \quad (3.21)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E}[\sigma_t - \mu(\sigma_z + \sigma_r)] \quad (3.22)$$

Keterangan:

P = beban terpusat roda,

E = modulus elastisitas tiap lapisan,

Ai, Bi = koordinat titik yang ditinjau,

hn = kedalaman masing-masing lapisan,

μ = rasio *Poisson* per lapisan,

σ = tegangan normal, dan

$\tau$ = tegangan geser.

### 3.5.1 Sifat-Sifat Bahan Perkerasan

Terdapat beberapa sifat-sifat pada bahan perkerasan yaitu, lapisan elastik dan lapisan viskoelastik. Berikut merupakan penjelasan mengenai kedua lapisan tersebut.

1. Lapisan Elastik

Pada lapisan dengan model elastik ini sifat-sifat bahan pada perkerasan dianggap homogen, elastis secara linear dan isotropis (Huang, 2004). Pada permodelan ini dapat dihitung nilai lendutan, tegangan dan regangan pada struktur perkerasan yang permukaannya sudah dibebani.

2. Lapisan Viskoelastik

Sifat bahan pada lapisan viskoelastik memiliki sifat dimana perilaku aspal dipengaruhi oleh waktu pembebanan dan suhu. Prinsip korespondensi elastis-viskoelastis dapat digunakan sebagai solusi untuk menghasilkan lapisan viskoelastis yaitu dengan menggantikan variabel waktu dengan transformasi *Laplace* (Huang, 2004). Pendekatan yang dapat digunakan untuk mengkarakteristikan material viskoelastik yaitu melalui spesifikasi *creep compliances*. Pengukuran *creep compliances* dapat dihitung dengan menggunakan 11 periode yang berbeda yakni 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 detik. Persamaan 3.23 di bawah ini digunakan untuk menentukan nilai *creep compliance* yang nantinya akan diinput pada program *KENPAVE*.

$$D(t) = \frac{1}{E0}\left(1 + \frac{1}{T0}\right) + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{E1}\left[1 - exp\left(\frac{-t}{T1}\right)\right] \quad (3.23)$$

Adapun Huang (2004) memberikan nilai *creep compliances* yang ditampilkan pada Tabel 3.17 di bawah ini.

**Tabel 3. 17 Nilai *Creep Compliances***

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

Sumber : Huang (2004)

### 3.5.2 Permodelan Lapis Perkerasan

Terdapat beberapa aspek yang digunakan dalam permodelan lapis perkerasan diantaranya seperti berikut ini.

1. Aspek per lapisan
   a. Modulus Elastisitas

Rasio antara nilai tegangan dan regangan suatu benda dikenal sebagai modulus elastisitas. Persamaan 3.24 di bawah ini dapat digunakan untuk mencari nilai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \tag{3.24}$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas (kPa atau Psi)

$\tau$ = tegangan (kPa), dan

$\varepsilon$ = regangan

Setiap material memiliki batas modulus elastisitas. Batas elastis suatu material mencerminkan seberapa baik material tersebut dapat kembali ke dimensi dan bentuk aslinya setelah menanggung tekanan atau regangan. Tabel 3.18 dibawah ini menampilkan nilai modulus elastisitas dari sejumlah material perkerasan jalan.

**Tabel 3. 18 Nilai Modulus Elastisitas Menurut Jenis Beban Perkerasan**

| Material | Modulus Elastisitas | |
|---|---|---|
| | Psi | Kpa |
| *Cement treated granular base* | $1x10^6 – 2x10^6$ | $7x10^6 – 14x10^6$ |
| *Cement aggregate mixture* | $5x10^5 – 1x10^6$ | $35x10^5 – 7x10^6$ |
| *Asphalt treated base* | $7x10^4 – 45x10^4$ | $49x10^5 – 3x10^6$ |
| *Asphalt concrete* | $2x10^4 – 2x10^6$ | $14x10^4 – 14x10^6$ |
| *Bituminous stabilized mixture* | $4x10^4 – 3x10^5$ | $28x10^4 – 21x10^5$ |
| *Lime stabilized* | $2x10^4 – 7x10^4$ | $14x10^4 – 49x10^4$ |
| *Unbound granular materials* | $15x10^3 – 45x10^3$ | $105x10^3 – 315x10^3$ |
| *Fine grained or material subgrade materials* | $3x10^3 – 4x10^4$ | $21x10^3 – 28x10^4$ |

Sumber : Huang (2004)

b. *Poisson Ratio*

*Poisson ratio* membandingkan regangan yang dihasilkan oleh beban sumbu parallel dalam arah vertikal (*axial strain*) dengan arah horizontal (*lateral strain*). Bina Marga 2017 memberikan nilai *Poisson's ratio* beserta nilai modulus elastisitas pada masing-masing lapisan perkerasan yang ditampilkan pada Tabel 3.19 di bawah ini.

**Tabel 3. 19 Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson Ratio***

| Material | Modulus Elastisitas (Mpa) | Poisson Ratio (υ) |
|---|---|---|
| AC-WC | 1100 | 0,4 |
| AC-BC | 1200 | |
| AC Base | 1600 | |
| Bahan bersemen | 500 | |
| LFA sub lapis 1* | 150 | 0,35 |
| LFA sub lapis 2 | 124,9 | |

**Lanjutan Tabel 3. 19 Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson Ratio***

| Material | Modulus Elastisitas (Mpa) | Poisson Ratio (υ) |
|---|---|---|
| LFA sub lapis 3 | 104,0 | 0,35 |
| LFA sub lapis 4 | 86,6 | |
| LFA sub lapis 5 | 72,1 | |
| Tanah dasar | 10 x CBR (MPa) | 0,45 |

* Sub lapis 1 = lapis teratas (langsung dibawah lapis beraspal)
Sumber : Bina Marga (2017)

2. Aspek ketebalan per lapisan

Ketebalan masing-masing lapisan pada struktur perkerasan digunakan sebagai data *input* dalam melakukan analisis menggunakan program *KENPAVE*. Satuan yang digunakan adalah *inch* atau *millimeter*.

3. Aspek beban

Beban yang dimaksud bersumber dari kendaraan yang melintas seperti beban roda, tekanan roda dan jarak antar roda ganda khusus untuk sumbu roda belakang. Berat beban yang dibawa oleh suatu kendaraan akan mempengaruhi nilai beban pada masing-masing roda. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan terdapat perbedaan konfigurasi antara sumbu roda belakang dengan sumbu roda depan. Sedangkan tekanan roda dan jarak antara roda belakang tidak dipengaruhi oleh berat beban yang diangkut oleh kendaraan, melainkan nilainya ditetapkan berdasarkan spesifikasi teknis kendaraan sesuai dengan kendaraan yang digunakan. Selain itu, diperlukan data-data penunjang lainnya seperti data radius bidang kontak roda terhadap permukaan perkerasaan. Bidang kontak yang terjadi pada roda kendaraan di permukaan struktur perkerasan diasumsikan memiliki bentuk lingkaran. Berikut merupakan rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai jari-jari atau radius bidang kontak dapat dilihat pada Persamaan 3.25 di bawah ini.

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi \, x \, q}} \tag{3.25}$$

Keterangan:

a = radius area kontak (mm)

P = bobot kendaraan (kN/lbs), dan

q = nilai tekanan roda (kPa/Psi)

Permodelan perkerasan sistem lapis banyak akan menghasilkan nilai yang berupa regangan, tegangan dan defleksi. Regangan diartikan sebagai kemampuan benda untuk berubah seperti bentuk awalnya setelah dilakukan pembebanan. Regangan ditulis dalam satuan (*inch/inch* atau mm/mm). Pada umumnya karena nilai regangan sangat kecil, maka regangan ditulis dalam bentuk *micro strain* ($10^{-6}$). Kemudian ada tegangan dinyatakan sebagai tekanan yang dialami oleh struktur perkerasan. Tegangan terjadi di berbagai titik di dalam suatu struktur perkerasan dan memiliki satuan ($N/mm^2$, Pa, atau Psi). Berikutnya, perubahan periodic dalam bentuk yang dinyatakan dalam panjang (μm atau *inch* atau mm) adalah definisi defleksi.

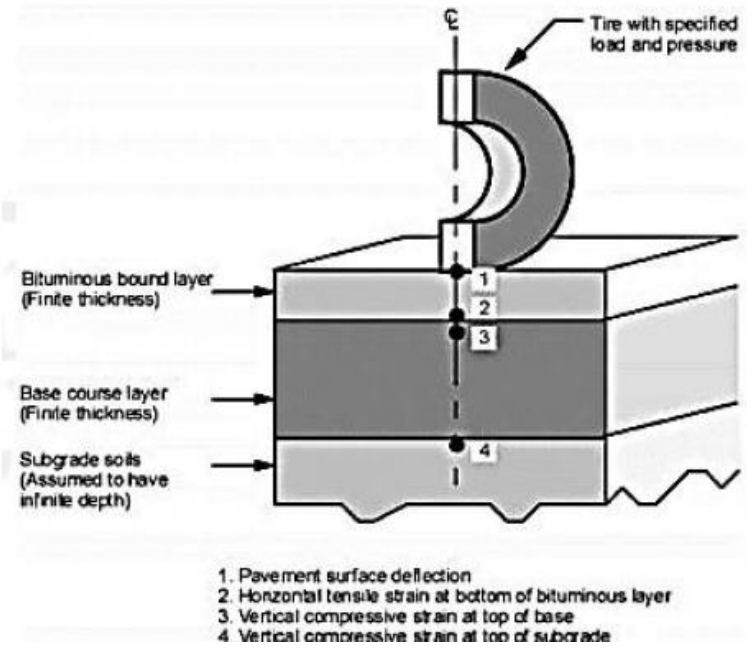
Dalam usaha memperoleh nilai respon struktur perkerasan dapat digunakan program *KENPAVE*. Program ini dapat mempermudah dalam mengkalkulasi nilai respon struktural seperti nilai regangan, tegangan dan defleksi akibat beban lalu lintas yang melewati struktur perkerasan. Secara umum dalam melakukan analisis respons struktur perkerasan terdapat titik penting yang menjadi tinjauan. Tabel 3.20 di bawah ini menyajikan informasi mengenai letak titik penting beserta fungsinya dalam analisis permodelan lapis banyak.

**Tabel 3. 20 Letak Titik Penting Analisis Perkerasan**

| Letak Titik | Reaksi | Fungsi |
|---|---|---|
| Pada lapis permukaan | Lendutan | Keperluan desain *overlay* |
| Dibawah lapisan permukaan | Regangan tarik horizontal dan regangan tarik vertikal | Memprediksi kerusakan berupa *fatigue crack* dan *rutting* |
| Dibawah lapisan tanah dasar | Regangan tarik vertikal | Memprediksi kerusakan berupa *permanent deformation* |

Sumber : Harsvardan (2021)

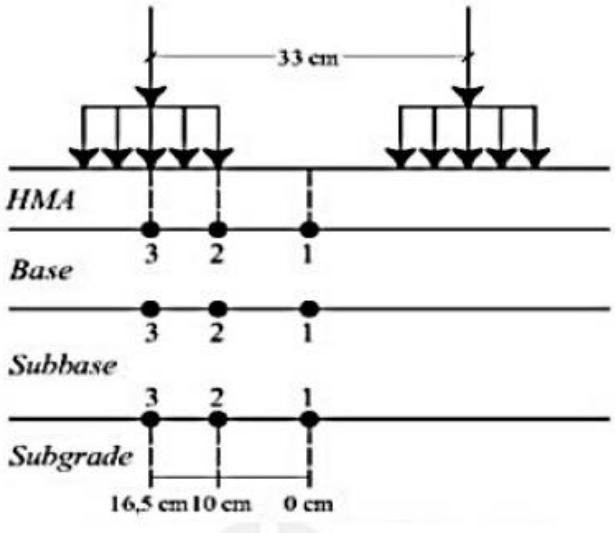
Gambar 3.8 dibawah mengilustrasikan letak titik penting dalam analisis struktur perkerasan dengan sistem lapis banyak.




**Gambar 3. 8 Titik Penting Analisis Struktur Perkerasan**

Sumber : *Pavement Interactive* (2008)

Gambar 3.9 dibawah ini menunjukkan letak titik koordinat analisis pembebanan yang digunakan pada *menu bar Load* dalam analisis menggunakan program *KENPAVE*.

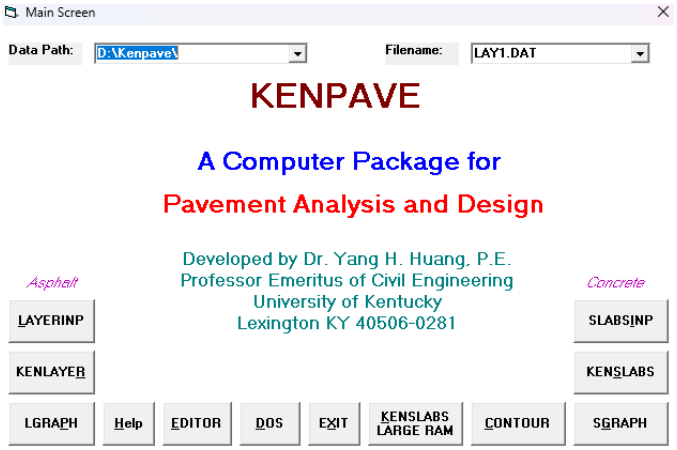



**Gambar 3. 9 Titik Analisis Secara Horizontal Pada Struktur Perkerasan**

## 3.6 Program *KENPAVE*

*KENPAVE* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain perencanaan perkerasan jalan yang dikembangkan oleh Profesor Emeritius Teknik Sipil di University of Kentucky yang bernama Dr. Yang H. Huang, P.E. Perangkat lunak yang ditulis dalam bahasa pemograman *Visual Basic* ini dapat dijalankan dengan menggunakan versi *Windows* 95 atau di diatasnya.

Pada saat digunakan untuk melakukan proses analisis struktur perkerasan jalan, program *KENPAVE* memiliki dua bagian utama yaitu untuk menganalisis perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Analisis perkerasan lentur menerapkan pendekatan yang mengacu pada sistem lapisan banyak. Proses menganalisis perkerasan lentur dapat digunakan pada pilihan *menu LAYERINP* dan *menu KENLAYER*. Sedangkan *Menu SLABSINP* dan *menu KENSLAB* merupakan pilihan menu yang digunakan untuk menganalisis jenis perkerasan kaku. Perangkat lunak ini dapat dijalankan dengan cukup mudah karena hanya dengan memasukkan data-data yang telah diperoleh ke program *KENPAVE*. Setelah memasukkan data-data tersebut program ini akan melakukan proses kalkulasi untuk memperoleh nilai respon struktural perkerasan jalan yang berupa nilai regangan, tegangan dan defleksi akibat repetisi beban lalu lintas. Gambar 3.10 berikut menunjukkan tampilan awal pada perangkat lunak *KENPAVE*.




**Gambar 3. 10 Tampilan Awal Program *KENPAVE***

Penjelasan menu-menu yang terdapat pada program *KENPAVE* dapat dilihat sebagai berikut.

### 3.6.1 *Data Path*

*Data path* digunakan untuk mengelola dan menyimpan arus data dari mulai dilakukan proses *input data* sampai dengan menujukkan hasil analisis, biasanya data-data ini disimpan di lokasi yang sama dengan *file* instalasi *software KENPAVE*.

### 3.6.2 *File Name*

*File name* berfungsi untuk memberikan nama sesuai dengan yang diinginkan pada hasil analisis.

### 3.6.3 *Help*

*Help* merupakan fitur yang berfungsi untuk memberikan segala macam penjelasan dan informasi yang dibutuhkan untuk membantu pengguna agar lebih mudah dalam menjalankan proses analisis.

### 3.6.4 *Editor*

*Editor* berfungsi untuk menyunting, memerika serta mencetak *file* data. *Menu editor* dapat membantu bagi para pengguna yang dianggap belum mahir dalam menjalankan program.

### 3.6.5 *LGRAPH atau SGRAPH*

Grafik yang menggambarkan hasil *output* atau hasil analisis perkerasan dapat dilihat dengan menggunakan fitur *menu LGRAPH* atau *SGRAPH*. *Menu LGRAPH* digunakan apabila analisis yang telah dilakukan merupakan analisis struktur perkerasan lentur dan *menu SGRAPH* untuk menunjukkan grafik hasil analisis struktur perkerasan kaku.

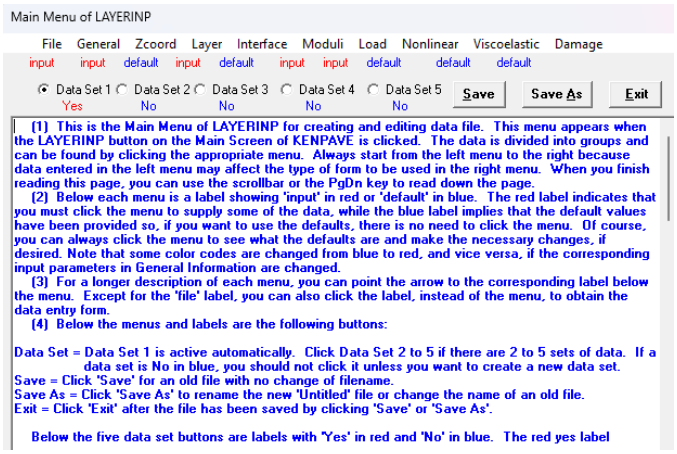
### 3.6.6 *Contour*

Pembuatan kontur pada arah x dan y dilakukan dengan menggunakan *menu contour*.

## 3.7 KENLAYER

*Menu KENLAYER* merupakan menu yang digunakan untuk menjalankan atau memulai proses analisis perkerasan lentur yang akan menghasilkan nilai respon struktural pada perkerasan. Namun sebelum dilakukan proses analisis, data-data penting yang akan digunakan untuk analisis perlu dimasukkan pada *menu LAYERINP* terlebih dahulu. *Menu LAYERINP* berisi sepuluh macam *menu bar*

dengan fungsi yang berbeda-beda. Gambar 3.11 di bawah menunjukkan tampilan awal dari *main menu LAYERINP.*




**Gambar 3. 11 Tampilan Awal Menu *LAYERINP***

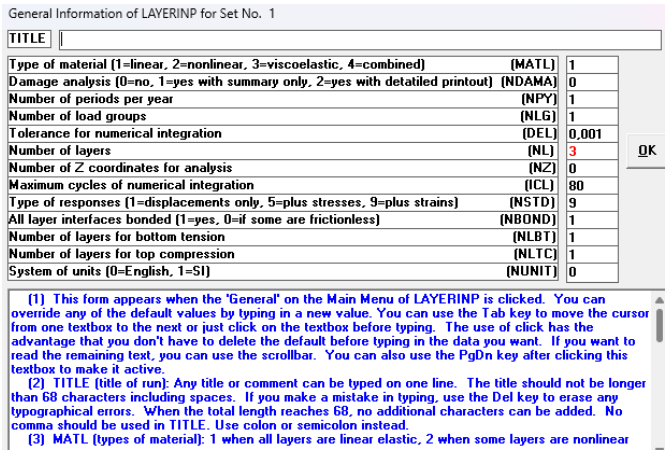
Berikut merupakan penjelasan masing-masing *menu bar* yang terdapat pada *menu LAYERINP*.

### 3.7.1 *File*

Pada *menu bar file* menyediakan dua macam pilihan yakni pilihan *new* untuk memulai pekerjaan baru dan pilihan *old* yang memungkinkan untuk membuka *file* yang telah dibuat sebelumnya.

### 3.7.2 *General*

Informasi umum mengenai struktur perkerasan yang akan dianalisis seperti jumlah lapis perkerasan, sifat material perkerasan, dll perlu di *input* pada kolom yang ada di *menu bar General*. Berikut merupakan visualisasi *menu bar general* seperti yang terlihat pada Gambar 3.12.




**Gambar 3. 12 Tampilan Awal Pada *Menu Bar General***

Terdapat beberapa kolom yang perlu diisikan pada tampilan awal *menu bar general*, berikut merupakan penjelasannya:

a. *TITLE* : Memberikan judul dari analisis yang akan dikerjakan.

b. *MATL* : Menentukan tipe analisis material yang akan digunakan dengan memasukkan pilihan angka pada kolom. (1) lapisan perkerasan dianalisis secara linear elastis, (2) lapisan perkerasan dianalisis secara nonlinear elastis, (3) lapisan perkerasan dianalisis secara viskoelastik, dan (4) lapisan perkerasan dianalisis dengan menggabungkan asumsi dari ketiga opsi sebelumnya.

c. *NDAMA* : Kolom ini berfungsi untuk menentukan analisis kerusakan yang akan dipilih. Masukkan (1) pada kolom untuk proses analisis kerusakan yang dapat menghasilkan hasil cetakan atau (2) untuk analisis kerusakan yang menghasilkan cetakan dengan informasi yang lebih lengkap.

d. *DEL* : Nilai ketelitian data.

e. *NL* : Banyaknya lapisan perkerasan yang akan dianalisis.

f. *NZ* : Menggambarkan berapa banyak titik penting koordinat yang dianalisa. Nilai *NZ* bergantung pada nilai *NDAMA*, jika pada *NDAMA* berisi angka satu atau dua, maka nilai NZ sama

dengan nol. Program akan melakukan analisis kerusakan sesuai dengan letak titik koordinat yang di *input*.

g. *NSTD* : Menunjukkan nilai respon struktural pada perkerasan yang dianalisis. (1) untuk menunjukkan hasil analisis berupa nilai *displacement* saja, (5) untuk menunjukkan hasil analisis berupa nilai *displacement* dan stress, (9) untuk menunjukkan hasil analisis berupa nilai *stress, strain* dan *displacement*.

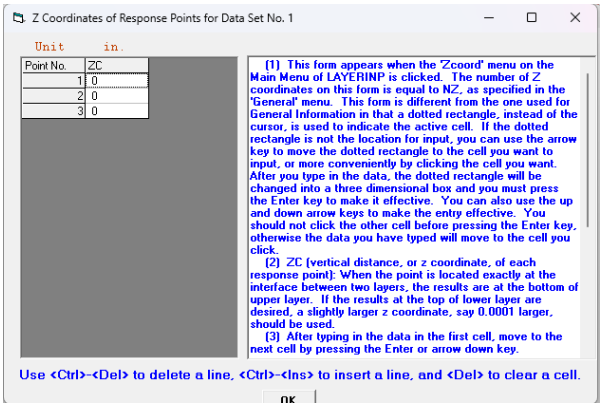
h. *NBOND* : Menunjukkan hubungan antar lapisan. (1) tiap lapisan diasumsikan saling terikat, (2) tiap lapisan dianggap tidak saling terikat dan mengabaikan nilai gesekan.

i. *NUNIT* : Pemilihan satuan yang akan digunakan dalam proses analisis dengan memilih angka (0) untuk menggunakan satuan inggris dan (1) untuk menggunakan satuan Standar Internasional (SI).

### 3.7.3 *Zcoord*

*Menu bar Zcoord* berfungsi untuk meng-*input* jarak antar letak titik penting yang digunakan untuk proses analisis. Jumlah titik penting pada *menu bar Zcoord* akan menyesuaikan nilai dari kolom *NZ* yang telah diisi pada *menu bar general* sebelumnya. Berikut merupakan visualisasi dari *menu bar Zcoord* seperti yang terlihat di Gambar 3.13.

\

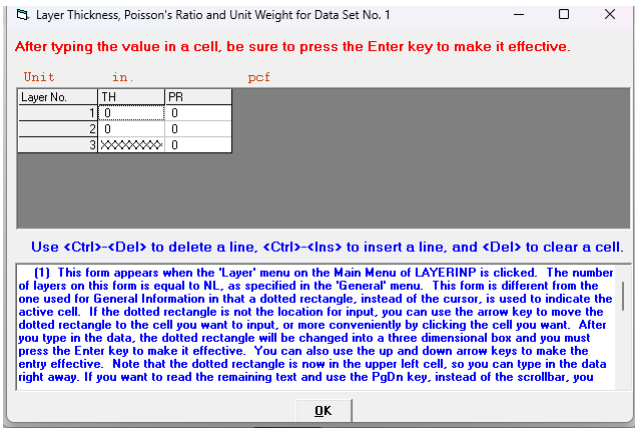



**Gambar 3. 13 Visualisasi *Menu Bar Zcoord***

### 3.7.4 *Layer*

Data yang dapat diisikan pada menu ini adalah data ketebalan dan nilai *Poisson Ratio* per lapisan. Data ketebalan tersebut di *input* pada kolom TH.

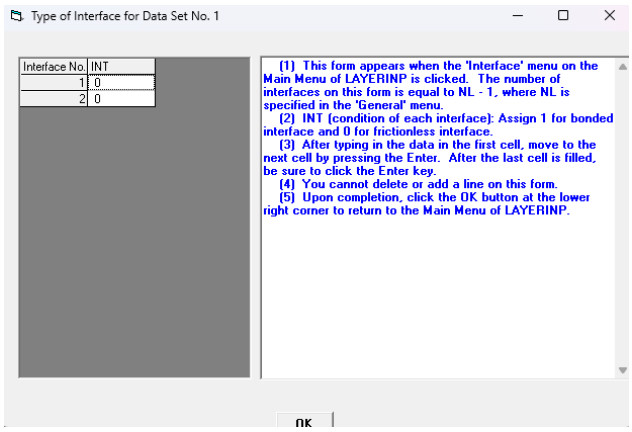
Sedangkan kolom PR untuk data *Poisson Ratio*. Gambar 3.14 seperti di bawah ini memvisualisasikan *menu bar Layer*.




**Gambar 3. 14 Visualisasi *Menu Bar Layer***

### 3.7.5 *Interface*

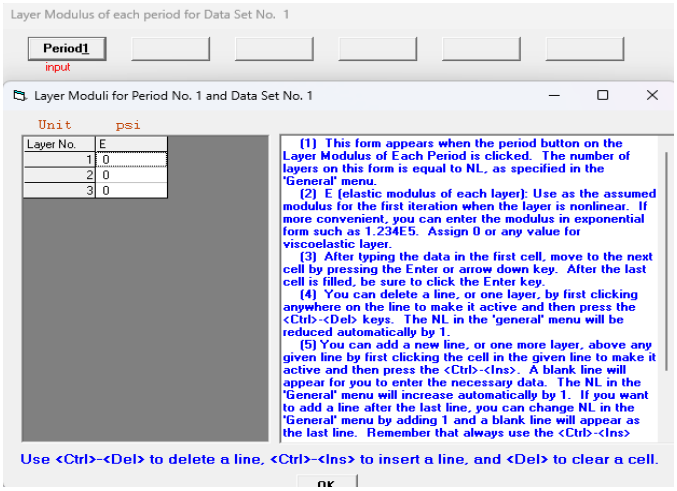
Nilai *NBOUND* yang telah diisikan pada kolom di *menu bar General* dapat mempengaruhi nilai pada *menu bar Interface*. *Menu bar Interface* akan ditetapkan sebagai *default* apabila *NBOUND* diisikan dengan angka satu. Sedangkan kolom pada *menu bar Interface* dapat diisi nilai apabila *NBOUND* diisikan dengan angka dua. Gambar 3.15 memperlihatkan contoh visualisasi *menu bar Interface*.




**Gambar 3. 15 Visualisasi *Menu Bar Interface***

### 3.7.6 *Moduli*

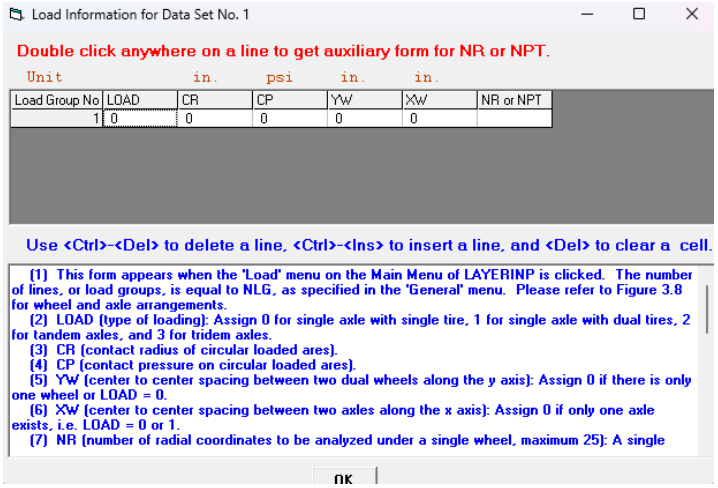
Data periode dapat di*input* pada *menu bar moduli* jika angkanya sesuai dengan nilai yang dimasukkan pada kolom *NY* di *menu bar General* sebelumnya. Pada masing-masing periode terdapat tampilan untuk meng-*input* nilai modulus elastisitas (E). Gambar 3.16 dibawah menunjukkan visualisasi dari *menu bar Moduli.*




**Gambar 3. 16 Visualisasi *Menu Bar Moduli***

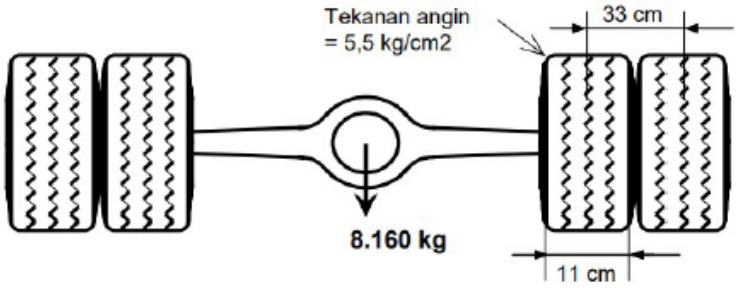
### 3.7.7 *Load*

Pada *menu bar load* terdapat kolom yang dapat diisikan dengan angka. Angka tersebut menunjukkan konfigurasi sumbu kendaraan yang melintasi struktur perkerasan yang dapat diisikan pada kolom *load*. Angka yang dapat dimasukkan berawal dari angka nol sampai dengan tiga. (0) untuk kendaraan dengan konfigurasi gandar tunggal, (1) untuk kendaraan dengan konfigurasi gandar tunggal dan memakai roda *double*, (2) untuk kendaraan dengan konfigurasi gandar *tandem* dan (3) untuk kendaraan dengan konfigurasi sumbu *tridem*. Selanjutnya nilai jari-jari kontak beban dapat di *input* pada kolom CR. Sedangkan kolom *CP* dapat diisi dengan nilai tekanan roda kendaraan. Kemudian kolom XW dan YW dapat digunakan secara berturut-urut untuk memasukkan data jarak antara roda arah x dan arah y. Kolom terakhir adalah kolom *NR* atau *NPT*. Jumlah titik koordinat analisis beban dan detail letak masing-masing titik koordinat dapat dimasukkan ke dalam kolom tersebut. Seperti pada Gambar 3.17 di bawah ini, berikut visualisasi *menu bar Load*.




**Gambar 3. 17 Visualisasi *Menu Bar Load***

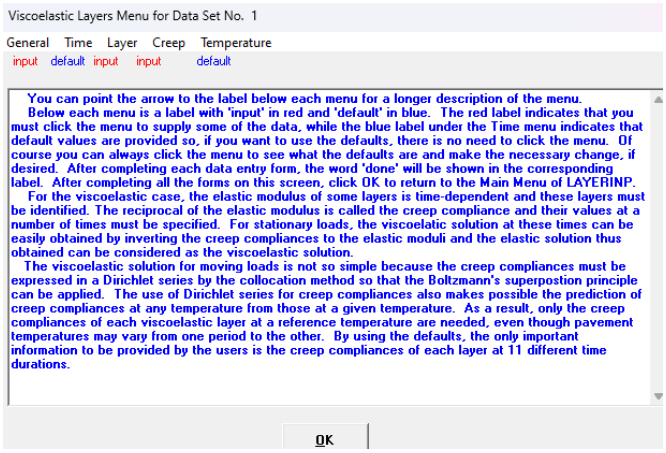
Data letak titik koordinat pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.9. Sedangkan data-data yang dibutuhkan untuk proses analisis lainnya seperti data tekanan ban, dimensi sumbu kendaraan, dan jarak ban pada konfigurasi roda ganda dapat dilihat pada Gambar 3.18 dibawah ini.




**Gambar 3. 18 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia**
Sumber: Sukirman (2010)

### 3.7.8 *Viscoelastic*

Pada penelitian ini, digunakan pendekatan viskoelastik sehingga pada program *LAYERINP* dipilih *menu bar Viscoelastic*. *Menu* seperti, *General, Temperature, Time, Creep* dan *Layer* merupakan *submenu* yang terdapat didalam *menu bar Viscoelastic*. Visualisasi *menu bar Viscoelastic* ditunjukkan pada Gambar 3.19 di bawah ini.

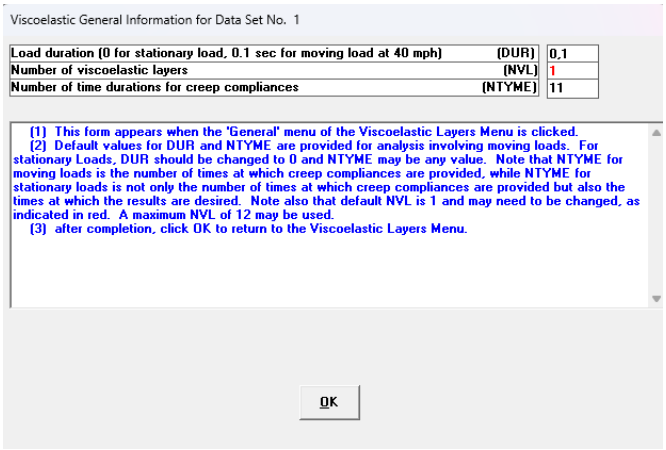



**Gambar 3. 19 Visualisasi *Menu Bar Viscoelastic***

Berikut merupakan penjelasan dari beberapa *submenu* yang terdapat pada *menu bar Viscoelastic*.

1. *General*

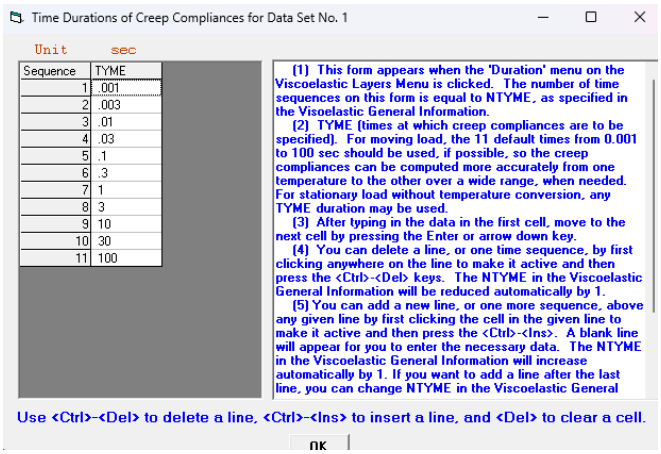
Data-data seperti, jumlah lapisan viskoelastik, durasi lama pembebanan, dan nilai dari *creep compliance* dapat diisikan pada *menu bar General* ini. Gambar 3.20 berikut menunjukkan tampilan *menu bar general* dalam *menu viscoelastic*.




**Gambar 3. 20 Visualisasi *Menu Bar General* Dalam *Menu Viscoelastic***

2. *Time*

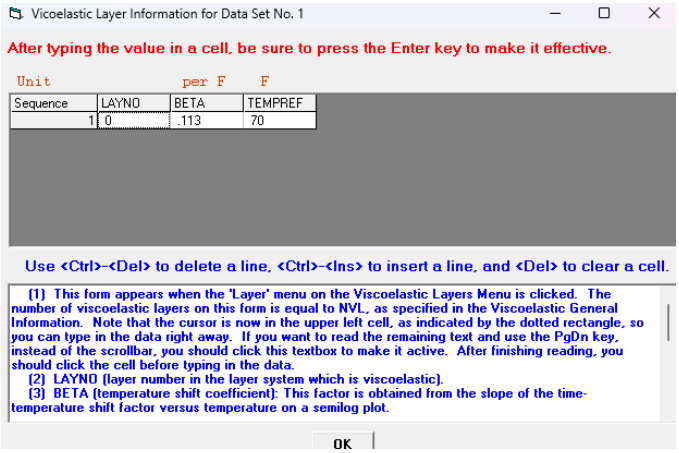
Pada umumnya, nilai durasi *creep compliances* pada *menu bar Time* dalam *menu Viscoelastic* akan teriisi secara otomatis sesuai dengan nilai yang telah ditentukan oleh Dr. Yang H. Huang. Tampilan atau visualisasi *menu bar Time* dalam *menu Viscoelastic* terlihat seperti pada Gambar 3.21 di bawah ini.




**Gambar 3. 21 Visualisasi *Menu Bar Time* Dalam *Menu Viscoelastic***

3. *Layer*

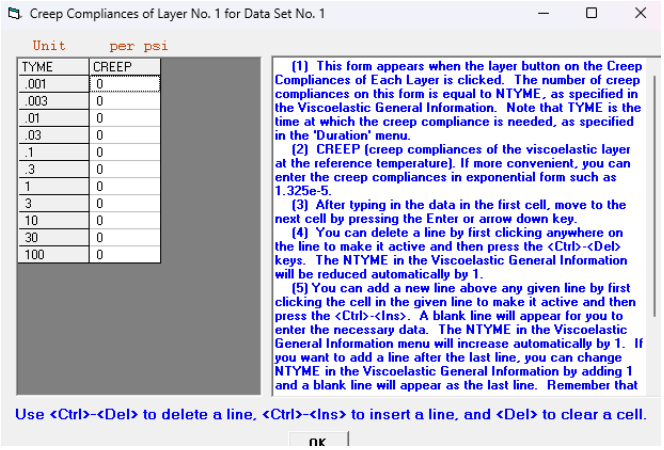
Data yang dapat dimasukkan pada *menu bar Layer* yaitu nilai *Beta* dan nilai *temperature* disetiap lapisan viskoelastik yang ditinjau. Seperti pada Gambar 3.22 di bawah ini, berikut visualisasi dari *menu bar Layer* yang terdapat di *menu bar Viscoelastic*




**Gambar 3. 22 Visualisasi *Menu Bar Layer* Dalam *Menu Viscoelastic***

4. *Creep*

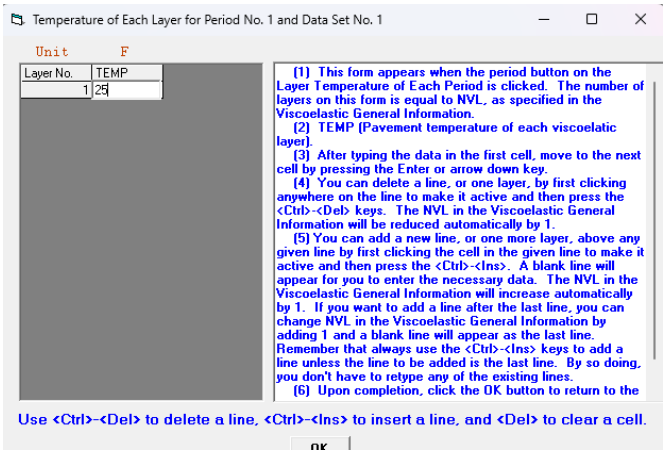
*Menu bar creep* berfungsi untuk memasukkan nilai *creep compliance* setiap satuan waktu sesuai dengan yang disarankan Dr. Yang H. Huang, P.E. Penentuan nilai *creep compliances* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.23 atau dapat menggunakan Tabel 3. 17. Berikut merupakan visualisasi *menu bar Creep* dalam *menu Viscoelastic* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.23 di bawah ini.




**Gambar 3. 23 Visualisasi *Menu Bar Creep* Dalam *Menu Viscoelastic***

5. *Temperature*

Data suhu atau *temperature* dapat dimasukkan pada menu ini. Suhu yang telah ditentukan menurut Dr. Huang adalah 25° C. Seperti pada Gambar 3.24 di bawah ini, berikut visualisasi dari *menu bar Temperature* dalam *menu Viscoelastic*.




**Gambar 3. 24 Visualisasi *Menu Bar Temperature* Dalam *Menu Viscoelastic***

## 3.8 Evaluasi Kegagalan Pada Struktur Perkerasan

Desain perkerasan jalan dengan metode mekanistik-empirik terdapat beberapa kriteria kegagalan yang harus diperhatikan. Secara umum, perkerasan lentur mengalami tiga jenis kerusakan utama yaitu retak lelah, retak akibat suhu dan alur (Huang, 2004). Selain itu, suatu perkerasan lentur juga tidak menutup kemungkinan untuk terjadi kerusakan deformasi permanen. Muatan kendaraan menjadi salah satu faktor utama yang mengakibatkan kegagalan pada perkerasan

jalan. Kegagalan tersebut dapat ditandai dengan kondisi jalan yang mulai rusak. Kegagalan atau kerusakan yang terjadi akibat muatan kendaraan ini dapat dianalisis dengan bantuan program *KENPAVE* dimana akan membantu untuk mengetahui reaksi struktur perkerasan. Sehingga dengan diketahuinya nilai reaksi tersebut yang berupa nilai tegangan dan regangan, maka dapat dilakukan analisis untuk memprediksi ketahanan struktur perkerasan dalam melayani muatan lalu lintas selama umur desainnya. Jumlah repetisi muatan lalu lintas dapat diperkirakan salah satunya dengan menggunakan persamaan yang diberikan oleh *The Asphalt Institute* (Setiawan, 2018). Berikut merupakan penjelasan dari beberapa jenis kerusakan pada struktur perkerasan.

### 3.8.1 *Fatigue Cracking*

Kerusakan jenis *fatigue cracking* merupakan kerusakan yang dapat terjadi karena pembebanan secara terus menerus pada struktur perkerasan jalan. Pembebanan tersebut dapat menyebabkan aspal mengalami suatu gerakan melentur sehingga dapat memunculkan tegangan-tegangan yang dapat mengakibatkan material perkerasan menjadi lelah dan terjadi keretakan. Jumlah repetisi muatan lalu lintas izin yang diperbolehkan sebelum perkerasan mengalami kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.26. Nilai repetisi yang dihasilkan tersebut akan bergantung dari besarnya hasil analisis respon atau reaksi struktural yang berupa nilai regangan tarik yang berada dibawah lapisan permukaan struktur perkerasan. Persamaan 3.26 dapat dilihat dibawah ini.

$$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291} |E|^{-0{,}854} \quad (3.26)$$

Keterangan:

$N_f$ = jumlah repetisi muatan lalu lintas izin sebelum mengalami retak lelah.

$\varepsilon_t$ = regangan tarik horizontal (*tensile strain*) dibawah lapisan permukaan perkerasan, dan

$|E|$ = modulus elastisitas pada lapis permukaan.

### 3.8.2 *Rutting*

*Rutting* merupakan kerusakan pada struktur perkerasan jalan yang terlihat seperti cekungan atau alur memanjang mengikuti arah bergeraknya roda kendaraan

diatas permukaan jalan. Kerusakan ini juga diakibatkan karena pembebanan yang terlebih terhadap struktur perkerasan jalan yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan pada lapisan pondasi sehingga terbentuk seperti cekungan pada lapisan permukaan jalan. Jumlah repetisi beban yang dapat dihitung pada kerusakan jenis *rutting* berdasarkan regangan tekan di bawah lapisan pondasi dapat digunakan Persamaan 3.27 berikut.

$$N_d = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.27)$$

Keterangan:

$N_d$ = jumlah repetisi muatan lalu lintas izin sebelum mengalami retak alur.

$\varepsilon_c$ = regangan tekan vertikal (*tensile strain*) diatas lapisan dasar, dan

$f_4$, $f_s$ = koefisien standar deformasi permanen.

### 3.8.3 *Permanent Deformation*

*Permanent deformation* merupakan kerusakan dimana struktur perkerasan kehilangan kemampuan untuk berubah kebentuk aslinya setelah mengalami pembebanan secara berulang-ulang. Kerusakan tersebut dapat ditandai seperti terjadinya penurunan struktur perkerasan yang sangat signifikan. Nilai repetisi beban yang diperbolehkan pada kerusakan jenis *permanent deformation* dapat diketahui dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 3.28 berikut.

$$N_d = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.28)$$

Keterangan:

$N_d$ = jumlah repetisi muatan lalu lintas izin sebelum mengalami rusak permanen,

$\varepsilon_c$ = regangan tekan vertikal (*tensile strain*) diatas lapisan dasar, dan

$f_4$, $f_s$ = koefisien standar deformasi permanen.

Rekomendasi *Asphalt Institute* (1970) untuk nilai $f_4$ dan $f_5$ masing-masing adalah $f_4 = 1{,}365x10^{-9}$ dan $f_s = 4{,}477$

## 3.9 Nilai Sisa Umur Layan

Kondisi dimana suatu struktur perkerasan jalan masih dapat menahan repetisi beban lalu lintas secara konstan sampai dengan dibutuhkannya perbaikan disebut dengan umur layan perkerasan. Penentuan nilai sisa umur pelayanan perkerasan dapat dilakukan dengan mencari rasio antara jumlah lalu lintas aktual dengan jumlah nilai pengulangan atau repetisi muatan izin dalam satuan 18-kip *ESAL*. Rumus seperti pada Persamaan 3.29 di bawah ini digunakan untuk menghitung nilai sisa umur pelayanan struktur perkerasan

$$\text{RL} \quad = 100x\left(1 - \frac{N_P}{N_{1,5}}\right) \tag{3.29}$$

Keterangan:

RL = *remaining life,*

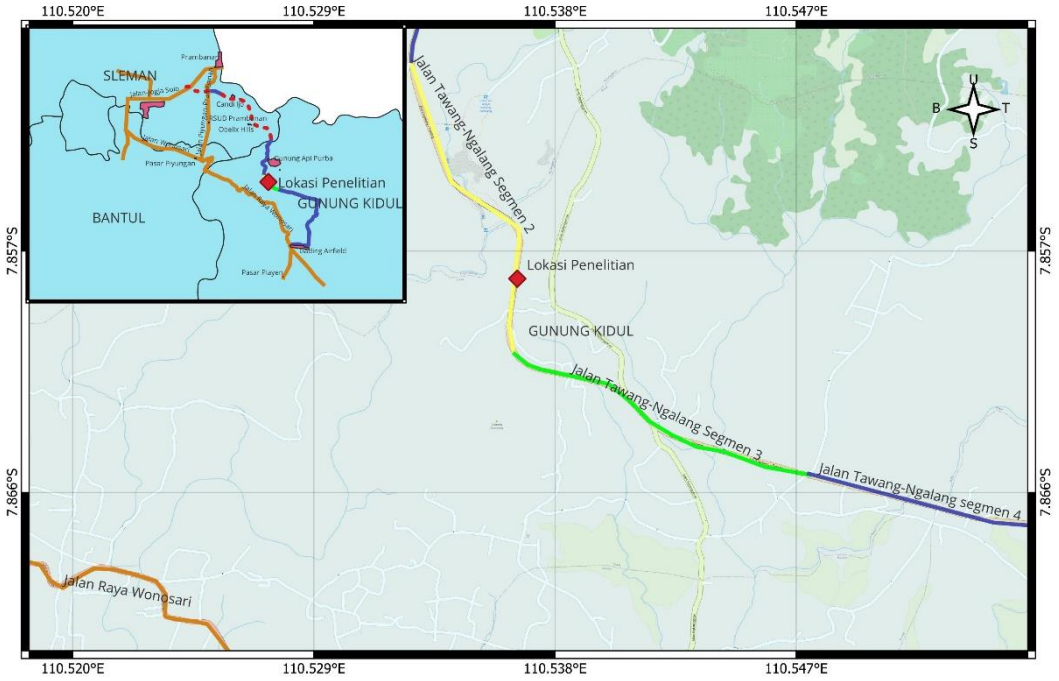
$N_P$ = Σkumulatif $W_{18}$ per tahun, dan

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

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Lokasi Studi Kasus

Lokasi pada penelitian ini adalah ruas Jalan Tawang-Ngalang segmen II sampai dengan segmen III (Sta. 1+950 – Sta. 4+650). Jalan ini merupakan jalan alternatif yang menghubungkan antara kabupaten Gunungkidul dengan Kabupaten Sleman. Gambar 4.1 di bawah ini menunjukkan lokasi studi yakni jalan Tawang-Ngalang yang berada di Kecamatan Gunung Butak, Nglanggeran, Kabupaten Gunungkidul.




**Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian**

Sumber : *Global Mapper* (2024)

## 4.2 Pengumpulan Data

Data sekunder adalah data yang sudah ada yang dapat diperoleh dari instansi pemerintahan, universitas maupun perusahaan. Penelitian ini menggunakan data sekunder seperti data LHR, data CBR, dan data material perkerasan eksisting yang dapat diperoleh dari Dinas PUP ESDM DIY dan BBPJN Jateng-DIY. Selain itu, juga dibutuhkan *study* literatur seperti kajian penelitian terdahulu, peraturan spesifikasi desain, artikel dan buku modul dengan tujuan untuk mendapatkan

teori-teori yang dapat mendukung dalam proses pengolahan data pada penelitian.

## 4.3 Analisis dan Pengolahan Data

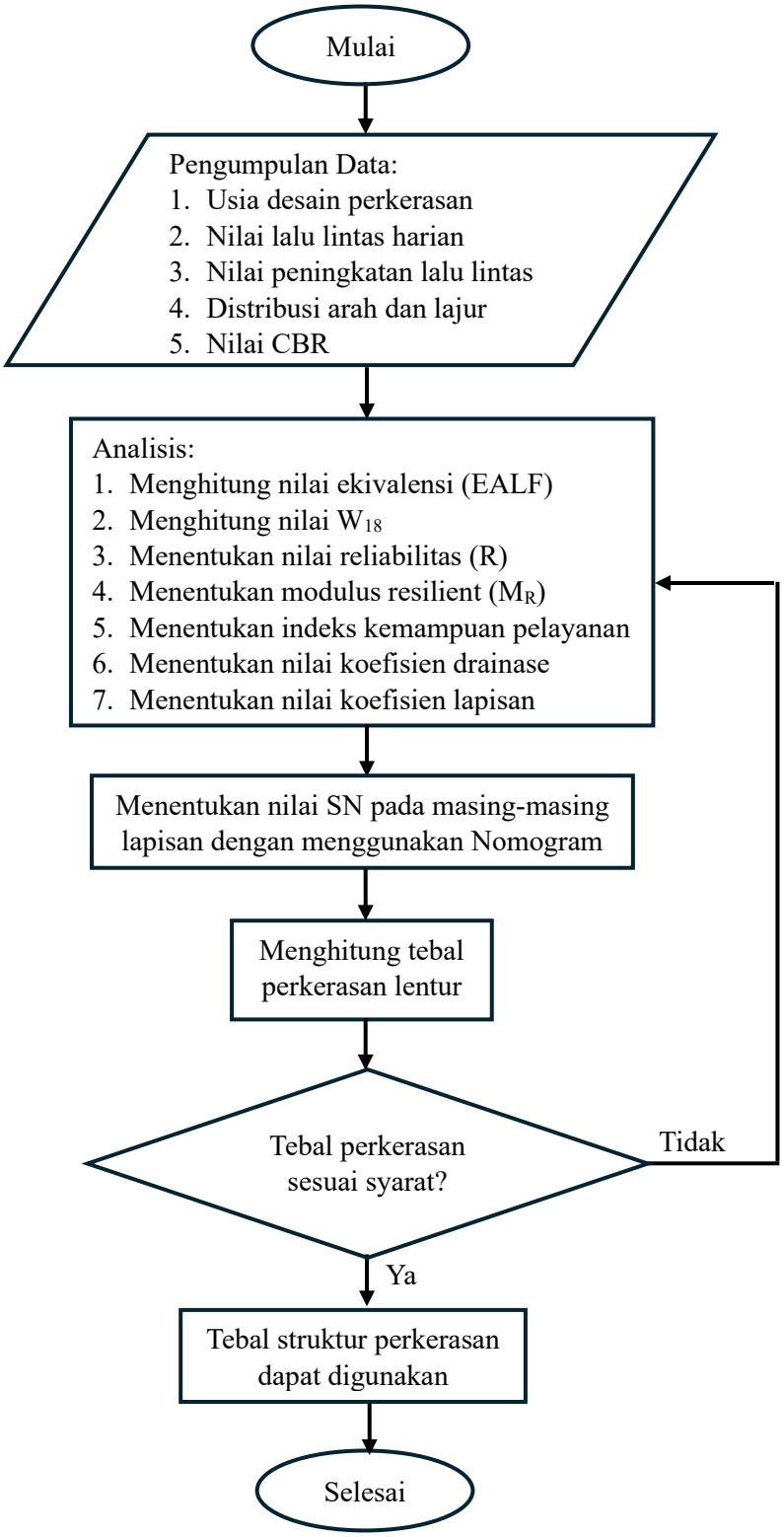
Analisis data dapat dilakukan setelah data pendukung telah diperoleh. Proses oleh data dilakukan dengan bantuan dari *software Microsoft Excel* dan *KENPAVE*. Berikut merupakan analisis proses analisis data yang dilakukan.

### 4.3.1 Analisis Tebal Strukrur Pekerasan Metode AASHTO 1993

Berikut merupakan tahapan desain tebal struktur perkerasan menggunakan metode *AASHTO* 1993.

1. Menetapkan usia desain perkerasan (UR),
2. Menghitung laju peningkatan lalu lintas,
3. Menentukan nilai distribusi arah dan lajur lalu lintas,
4. Menetapkan nilai indeks kemampuan pelayanan,
5. Menghitung nilai ekivalen (EALF),
6. Menghitung nilai $W_{18,}$
7. Menentukan *modulus resilient* ($M_R$),
8. Menentukan nilai reliabilitas (R),
9. Menentukan nilai koefisien drainase,
10. Menentukan nilai koefisien tiap lapisan ($a_1$),
11. Menghitung nilai *structural number* (SN), dan
12. Menentukan ketebalan masing-masing lapis perkerasan.

Gambar 4.2 seperti yang ditunjukkan di bawah ini merupakan bagan alir dari metode *AASHTO* 1993.




**Gambar 4. 2 Bagan Alir Desain Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993**

### 4.3.2 Analisis Menggunakan Program *KENPAVE*

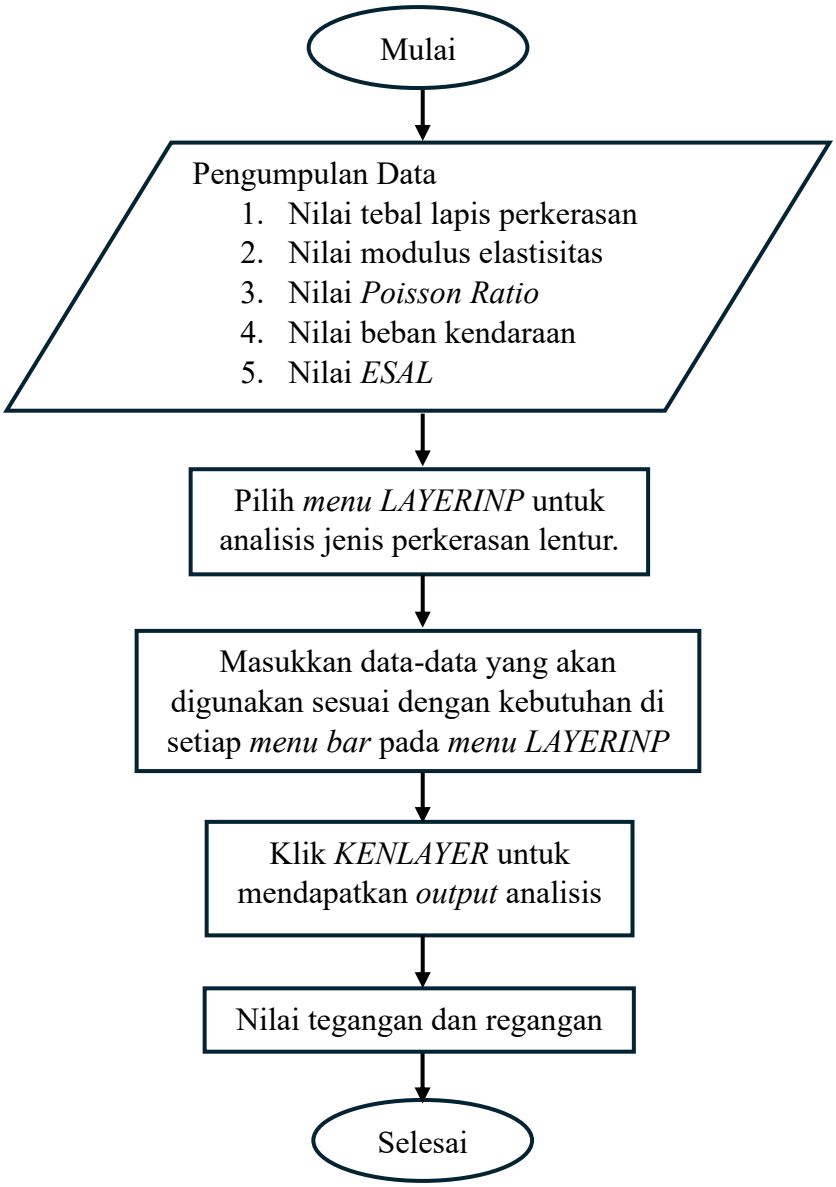
Analisis secara elastik dan viskoelastik dilakukan menggunakan program *KENPAVE* pada perkerasan eksisting yang telah didesain dengan acuan Bina Marga 2017, perkerasan metode *AASHTO* 1993 dan beberapa ketebalan alternatif lainnya. Berikut merupakan tahapan analisis menggunakan program *KENPAVE*.

1. Memilih jenis perkerasan yang akan digunakan. Pilih *LAYERINP* jika jenis perkerasan yang akan dianalisis berupa perkerasan lentur. Sedangkan jika jenis perkerasan yang akan dianalisis adalah perkerasan kaku, maka pilih *SLABSINP* untuk memulai proses pemodelan struktur perkerasan.
2. Melakukan permodelan perkerasan lentur dengan memasukkan data-data pada *menu LAYERINP.*
3. Jika ingin membuat permodelan analisis baru pada perkerasan lentur maka dapat dilakukan dengan klik *menu bar File* dan pilih *new*.
4. Memasukkan data-data umum pada *menu bar General* seperti, judul analisis, jenis material dengan meng-*input* (1) untuk analisis dengan pendekatan elastik atau meng-*input* (3) jika akan dianalisis dengan pendekatan viskoelastik. Selanjutnya menentukan analisis kerusakan yang digunakan, nilai ketepatan data, jumlah lapisan, menentukan jumlah titik koordinat arah z yang akan dianalisis, hubungan antar lapisan dan *unit* yang digunakan.
5. Memasukkan jarak vertikal pada setiap titik koordinat yang dianalisis pada *menu bar Zcoord*.
6. Memasukkan data tebal struktur beserta *Poisson Ratio*nya pada masing-masing lapisan di *menu bar Layer*
7. Memasukkan nilai modulus elastisitas pada masing-masing lapisan dalam *menu bar Moduli.*
8. Memasukkan data beban lalu lintas pada *menu bar Load*. Jika analisis yang digunakan adalah analisis dengan pendekatan elastik, maka proses *input* data dilakukan cukup sampai pada *menu bar Load* saja.
9. Jika digunakan analisis dengan pendekatan viskoelastik, maka dapat memasukkan data-data di *menu bar Viscoelastic*. Data-data tersebut seperti,

data jumlah layer viskoelastik, durasi waktu beserta nilai dari *creep compliances*, nilai beta di setiap layer viskoelastik, dan data suhu.

10. Simpan data-data yang telah dimasukkan di setiap *menu bar* dengan cara klik *save as* dan pilih lokasi penyimpanan data analisis.
11. Menjalankan program *KENLAYER* untuk memperoleh hasil *output* analisis struktur perkerasan. Hasil *output* analisis berupa nilai respon struktural seperti nilai regangan, tegangan dan defleksi.

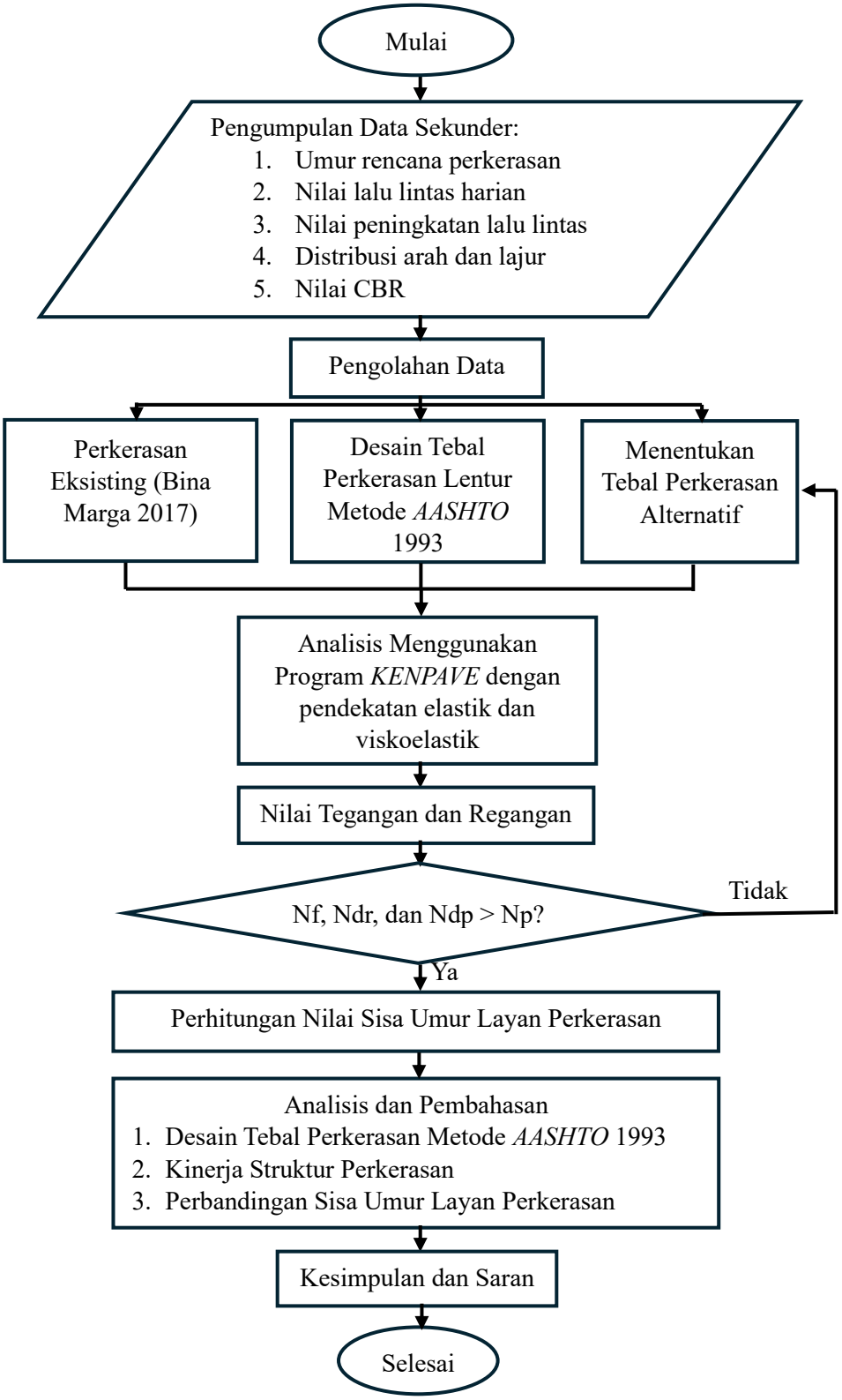
Gambar 4.3 di bawah ini menunjukkan bagan alir dalam analisis kinerja pekerasan dengan aplikasi *KENPAVE*.




**Gambar 4. 3 Bagan Alir Analisis Menggunakan Program *KENPAVE***

## 4.4 Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

Gambar 4.4 di bawah menampilkan diagram alir pada penelitian ini.




**Gambar 4. 4 Bagan Alir Penelitian**

# BAB V
# ANALISIS DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Data Penelitian

Evaluasi kinerja perkerasan lentur pada ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen II dan III menggunakan data-data sekunder yang didapatkan dari instasi yang berwenang yaitu dari Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan juga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng-DIY. Data sekunder tersebut meliputi data seperti berikut.

### 5.1.1 Status Jalan

Berikut merupakan status jalan pada ruas jalan Tawang-Ngalang Segmen II dan Segmen III yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

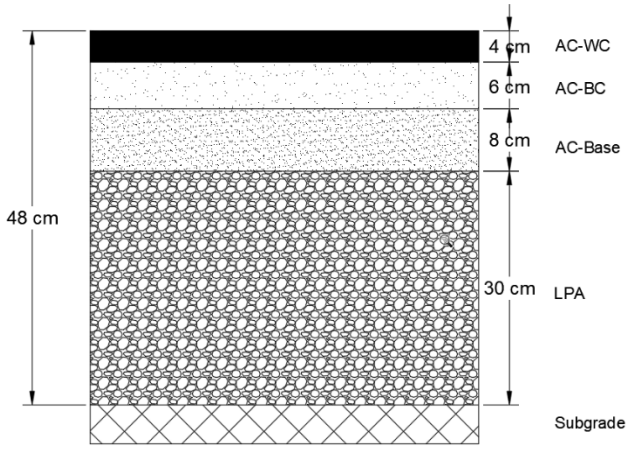
**Tabel 5. 1 Status Jalan**

| No | Data | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | Klasifikasi Jalan | Jalan Kolektor |
| 2 | Umur Rencana | 20 Tahun |
| 3 | Distribusi Arah dan Lajur | 2 lajur 2 arah tidak terbagi |
| 4 | Lebar Lajur | 3,75 m |

Sumber : Dinas PUP ESDM DIY (2017)

### 5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisiting

Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta, ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen II dan Segmen III mulai dibangun pada awal tahun 2023 dan telah diresmikan pada awal tahun 2024. Berikut merupakan gambar tebal perkerasan eksisting yang di desain menggunakan metode Bina Marga 2017 dapat dilihat pada Gambar 5.1 di bawah ini.




**Gambar 5. 1 Struktur Perkerasan Eksisting Jalan Tawang-Ngalang**
Sumber : Dinas PUP ESDM DIY (2017)

### 5.1.3 Data Hujan

Pada proses mendesain tebal perkerasan dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 diperlukan data hujan yang akan digunakan untuk menentukan kualitas drainase. Tabel 5.2 berikut merupakan data hujan yang didapatkan dari instansi terkait.

**Tabel 5. 2 Hari Hujan per Tahun Kawasan Gunungkidul**

| Tahun | Hari Hujan (Hari) |
|---|---|
| 2018 | 99 |
| 2019 | 103 |
| 2020 | 150 |
| 2021 | 163 |
| 2022 | 182 |

Sumber : Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, BPP Nglipar (2023)

### 5.1.4 Data Tanah

Data tanah yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu berupa data CBR Tanah yang bernilai sebesar 7,17%.

### 5.1.5 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas yang digunakan pada penelitian ini adalah data LHR pada ruas Jalan Piyungan – Jalan Batas Kabupaten Gunungkidul. Ruas Jalan Piyungan – Jalan Batas Kabupaten Gunungkidul dipilih karena jalan ini dianggap dapat menggambarkan jumlah lalu lintas yang menuju ke daerah Kabupaten Gunungkidul maupun yang ke arah Kabupaten Sleman. Dengan demikian, nilai LHR dari ruas jalan tersebut dapat mewakili perkiraan nilai LHR yang akan dilewati Jalan Tawang-Ngalang yang nantinya juga akan menghubungkan wilayah Kabupaten Gunungkidul dengan Kabupaten Sleman melalui sisi utara. Berikut Tabel 5.3 yang merupakan data lalu lintas harian (LHR) pada ruas Jalan Piyungan – Jalan Batas Kabupaten Gunungkidul yang diperoleh dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng-DIY.

**Tabel 5. 3 Data LHR Ruas Jalan Piyungan-Bts. Kab.Gunungkidul**

| Jenis Kendaraan | Gol. Kendaraan | LHR 2019 (kend/hari) | LHR 2022 (kend/hari) |
|---|---|---|---|
| Sepeda Motor, Scooter, dan Kend. Roda 3 | 1 | 7684 | 11759 |
| Sedan, Jeep, Station Wagon | 2 | 682 | 3012 |
| Oplet, Pick-up, Combi dan Minibus | 3 | 2089 | 106 |
| Pick-Up- Mikro Truk, dan Mobil Hantaran | 4 | 48 | 879 |
| Bus Kecil | 5a | 165 | 97 |
| Bus Besar | 5b | 58 | 111 |
| Truk 2 Sumbu (4 Roda) | 6a | 27 | 242 |
| Truk 2 Sumbu (6 Roda) | 6b | 378 | 811 |
| Truk 3 Sumbu | 7a | 29 | 102 |
| Truk Gandeng | 7b | 3 | 0 |
| Truk Semi Trailer | 7c | 0 | 0 |
| Kendaraan Tidak Bermotor | 8 | 7 | 42 |
| Σ | | 11170 | 17161 |

Sumber : Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jateng-DIY (2024)

## 5.2 Desain Struktur Perkerasan Menggunakan Metode *AASHTO* 1993

Berikut merupakan analisis perhitungan tebal perkerasan menggunakan metode *AASHTO* 1993.

1. Umur Rencana

Ruas jalan Tawang-Ngalang merupakan jalan yang dibangun dengan menggunakan jenis perkerasan lentur sehingga umur rencana pada ruas jalan ini adalah 20 tahun.

2. Faktor Distribusi Arah Dan Lajur

*AASHTO* 1993 memberikan saran untuk nilai distribusi arah (DD) dengan rentang antara 0,3 – 0,7. Sehingga nilai distribusi arah yang digunakan sebesar 0,5. Sedangkan nilai distribusi lajur (DL) yang digunakan sebesar 100% karena jalan Tawang-Ngalang dibangun dengan 2 lajur dan 2 arah tidak terbagi.

3. Analisis Lalu Lintas

Data LHR yang sudah diketahui seperti pada Tabel 5.3 dapat digunakan untuk memprediksi dan menganalisis jumlah beban lalu lintas yang melintas selama umur rencana jalan dengan cara seperti berikut.

a. Prediksi LHR pada saat jalan mulai beroperasi

Perkiraan jumlah LHR pada saat jalan pertama kali dibuka pada tahun 2024 dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 3.4 dan nilai *i* yang digunakan sebesar 3,5% karena termasuk kedalam jalan kolektor. Nilai *i* tersebut mengacu pada Tabel 3.7. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk memprediksi nilai LHR pada jenis kendaraan truk 2 sumbu 6 roda

$LHR_{2024} = LHR_{2022}\ (1+i)^n$

$= 811\ (1+3{,}5\%)^2$

$= 869$ kend/hari

Berikut merupakan Tabel 5.4 yang menunjukkan nilai LHR pada tahun jalan pertama kali beroperasi yaitu pada tahun 2024.

**Tabel 5. 4 Perkiraan LHR Saat Jalan Mulai Beroperasi**

| Jenis Kendaraan | LHR 2019 (kend/hari) | LHR 2022 (kend/hari) | LHR 2024 (kend/hari) |
|---|---|---|---|
| Sepeda Motor, Scooter, dan Kend. Roda 3 | 7684 | 11759 | 12597 |
| Sedan, Jeep, Station Wagon | 682 | 3012 | 3227 |
| Oplet, Pick-up, Combi dan Minibus | 2089 | 106 | 114 |
| Pick-Up- Mikro Truk, dan Mobil Hantaran | 48 | 879 | 942 |
| Bus Kecil | 165 | 97 | 104 |
| Bus Besar | 58 | 111 | 119 |
| Truk 2 Sumbu (4 Roda) | 27 | 242 | 259 |
| Truk 2 Sumbu (6 Roda) | 378 | 811 | 869 |
| Truk 3 Sumbu | 29 | 102 | 109 |
| Truk Gandeng | 3 | 0 | 0 |
| Truk Semi Trailer | 0 | 0 | 0 |
| Kendaraan Tidak Bermotor | 7 | 42 | 45 |

b. Analisis jumlah beban lalu lintas ($W_{18}$) selama umur rencana

Perhitungan nilai $W_{18}$ selama umur rencana dapat dimulai dengan menghitung nilai faktor ekivalen beban sumbu (*EALF*) pada setiap jenis golongan kendaraan. Nilai *EALF* dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.5 sampai Persamaan 3.8. Berikut contoh perhitungan *EALF* pada kendaraan dengan jenis golongan 2a.

Beban total kendaraan golongan 2 = 2 ton
Konfigurasi sumbu depan = Sumbu Tunggal Roda Tunggal
Konfigurasi sumbu belakang = Sumbu Tunggal Roda Tunggal
Distribusi pembebanan sumbu depan = 50%
Distribusi pembebanan sumbu belakang = 50%

Maka,

$$EALF_{S.depan} = \left[\frac{Beban\ Sumbu\ Tunggal\ Roda\ Tunggal\ (kN)}{53\ kN}\right]^4$$

$$= \left[\frac{2\ ton\ x\ 50\%}{5{,}4045\ ton}\right]^4$$

$$= 0{,}001$$

$$EALF_{S.belakang} = \left[\frac{Beban\ Sumbu\ Tunggal\ Roda\ Tunggal\ (kN)}{53\ kN}\right]^4$$

$$= \left[\frac{2\ ton\ x\ 50\%}{5{,}4045\ ton}\right]^4$$

$$= 0{,}001$$

$$\Sigma EALF = EALF_{S.depan} + EALF_{S.belakang}$$

$$= 0{,}001 + 0{,}001$$

$$= 0{,}002$$

Dalam menghitung nilai *EALF* pada tiap jenis dan golongan kendaraan dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas. Hasil perhitungan untuk setiap jenis kendaraan berdasarkan pembebanan pada masing-masing sumbu dapat dilihat pada Tabel 5.5 di bawah ini.

**Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai Total *EALF***

| Jenis Kendaraan | Golongan | Σ*EALF* |
|---|---|---|
| Sedan, Jeep, Station Wagon (1.1) | 2 | 0,002 |
| Oplet, Pick Up, Combi dan Minibus (1.1) | 3 | 0,022 |
| Pick Up, Mickro Truk Dan Mobil Hantaran (1.1) | 4 | 0,022 |
| Bus Kecil (1.1) | 5a | 0,092 |
| Bus Besar (1.2) | 5b | 0,384 |
| Truk 2 Sumbu 4 Roda (1.1) | 6a | 0,695 |
| Truk 2 Sumbu 6 Roda (1.2) | 6b | 6,420 |
| Truk 3 Sumbu (1.22) | 7a | 5,230 |
| Truk Gandeng | 7b | 10,490 |
| Truk Semi Trailer (1.22.22) | 7c | 10,429 |

Selanjutnya faktor pertumbuhan lalu lintas (R) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3 dengan nilai *i* = 3,5% dan nilai n = 20 tahun. Berikut perhitungan nilai R.

$$R = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$= \frac{(1+3{,}5\%)^{20} - 1}{3{,}5\%}$$

$$= 28{,}28$$

Nilai R yang diperoleh tersebut digunakan untuk menentukan nilai $W_{18}$ dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.2 dengan nilai DD = 0,5 dan DL = 1. Berikut merupakan contoh perhitungan dalam menentukan nilai $W_{18}$.

a. Nilai $W_{18}$ pada kendaraan dengan jenis sedan, jeep, station wagon.

$W_{18\,(2044)} = D_D \times D_L \times EALF \times LHR_{2024} \times 365 \times R$

$W_{18\,(2044)} = 0{,}5 \times 1 \times 0{,}002 \times 3.227 \times 365 \times 28{,}28$

$W_{18\,(2044)} = 39.037{,}407\ ESAL$

b. Nilai $W_{18}$ pada kendaraan dengan jenis bus besar.

$W_{18\,(2044)} = D_D \times D_L \times EALF \times LHR_{2024} \times 365 \times R$

$W_{18\,(2044)} = 0{,}5 \times 1 \times 0{,}384 \times 119 \times 365 \times 28{,}28$

$W_{18\,(2044)} = 235.578{,}021\ ESAL$

c. Nilai $W_{18}$ pada kendaraan dengan jenis truk 3 sumbu.

$W_{18\,(2044)} = D_D \times D_L \times EALF \times LHR_{2024} \times 365 \times R$

$W_{18\,(2044)} = 0{,}5 \times 1 \times 5{,}230 \times 109 \times 365 \times 28{,}28$

$W_{18\,(2044)} = 2.949.332{,}300\ ESAL$

Berikut merupakan hasil perhitungan $W_{18}$ pada tahun 2044 yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 dibawah ini.

**Tabel 5. 6 Perhitungan W18 Pada Tahun 2044**

| Jenis Kendaraan | LHR 2024 | *EALF* | DD | DL | R | $W_{18}$ (ESAL) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sedan, Jeep, Station Wagon (1.1) | 3.227 | 0,002 | 0,5 | 1 | 28,280 | 39.037,407 |
| Oplet, Pick Up, Combi dan Minibus (1.1) | 114 | 0,022 | 0,5 | 1 | 28,280 | 12.884,989 |

**Lanjutan Tabel 5. 6 Perhitungan W18 Pada Tahun 2044**

| Jenis Kendaraan | LHR 2024 | *EALF* | DD | DL | R | $W_{18}$ (ESAL) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pick Up, Mickro Truk Dan Mobil Hantaran (1.1) | 942 | 0,022 | 0,5 | 1 | 28,280 | 106.848,165 |
| Bus Kecil (1.1) | 104 | 0,092 | 0,5 | 1 | 28,280 | 49.108,624 |
| Bus Besar (1.2) | 119 | 0,384 | 0,5 | 1 | 28,280 | 235.578,021 |
| Truk 2 Sumbu 4 Roda (1.1) | 259 | 0,695 | 0,5 | 1 | 28,280 | 930.322,985 |
| Truk 2 Sumbu 6 Roda (1.2) | 869 | 6,420 | 0,5 | 1 | 28,280 | 28.783.801,974 |
| Truk 3 Sumbu (1.22) | 109 | 5,230 | 0,5 | 1 | 28,280 | 2.949.332,300 |
| Truk Gandeng | 0 | 10,490 | 0,5 | 1 | 28,280 | 0,000 |
| Truk Semi Trailer (1.22.22) | 0 | 10,429 | 0,5 | 1 | 28,280 | 0,000 |
| Total $W_{18}$ | | | | | | 33.106.914,4648 |
| $Log_{10}(W_{18})$ | | | | | | 7,519918707 |

Nilai $W_{18}$ disetiap tahun pada umur rencana dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama. Berikut merupakan Tabel 5.7 yang berupa rekapitulasi nilai $W_{18}$ disetiap tahun.

**Tabel 5. 7 Rekapitulasi Nilai W18**

| Tahun | $W_{18}$ | $Log_{10}(W_{18})$ |
|---|---|---|
| 2025 | 1.170.696,144 | 6,068 |
| 2026 | 2.382.366,654 | 6,377 |
| 2027 | 3.636.445,631 | 6,561 |
| 2028 | 4.934.417,373 | 6,693 |
| 2029 | 6.277.818,125 | 6,798 |
| 2030 | 7.668.237,904 | 6,885 |
| 2031 | 9.107.322,375 | 6,959 |
| 2032 | 10.596.774,803 | 7,025 |
| 2033 | 12.138.358,065 | 7,084 |

**Lanjutan Tabel 5. 7 Rekapitulasi Nilai W18**

| Tahun | $W_{18}$ | $Log_{10}(W_{18})$ |
|---|---|---|
| 2034 | 13.733.896,742 | 7,138 |
| 2035 | 15.385.279,272 | 7,187 |
| 2036 | 17.094.460,191 | 7,233 |
| 2037 | 18.863.462,443 | 7,276 |
| 2038 | 20.694.379,772 | 7,316 |
| 2039 | 22.589.379,209 | 7,354 |
| 2040 | 24.550.703,626 | 7,390 |
| 2041 | 26.580.674,397 | 7,425 |
| 2042 | 28.681.694,145 | 7,458 |
| 2043 | 30.856.249,585 | 7,489 |
| 2044 | 33.106.914,465 | 7,520 |

4. Koefisien Drainase

Kofisien drainase (*m*) dapat ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Waktu yang dibutuhkan hingga air terserap = 1 hari (kualitas baik)
b. Jumlah hari hujan rata-rata per tahun (Th) = 140 hari
c. Lama hujan rata-rata per hari (Tj) = 3,5 jam
d. Berdasarkan Tabel 3.11 nilai C = 0,8
e. Nilai faktor air hujan ($W_L$)

Nilai ($W_L$) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$W_L = 1 - C$

$W_L = 1 - 0,8$

$= 0,2$

Setelah nilai $W_L$ diketahui maka selanjutnya yaitu menghitung nilai persentase hari efektif hujan dalam satu tahun yang mampu memengaruhi struktur perkerasan (P) dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$P = \frac{T_J}{24} \; x \; \frac{T_h}{365} \; x \; W_L \; x \; 100$$

$$= \frac{3,5}{24} \; x \; \frac{140}{365} \; x \; 0,2 \; x \; 100$$

$$= 1,12\%$$

Hasil perhitungan diperoleh nilai P sebesar 1,12% dan drainase memiliki kualitas baik, maka nilai koefisien drainase ($m_i$) sebesar 1,2.

5. Indeks Kemampuan Pelayanan

*AASHTO* 1993 memberikan saran nilai kemampuan pelayanan awal ($p_o$) sebesar 4,2 untuk perkerasan lentur (*flexible pavement*). Sedangkan nilai ($p_t$) untuk jalan raya utama *AASHTO* 1993 memberikan saran nilai sebesar 2,5 atau 3. Sehingga nilai po dan pt yang digunakan secara berurutan sebesar 4,2 dan 2,5. Setelah menentukan nilai po dan pt, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai kehilangan kemampuan pelayanan (ΔPSI). Nilai ΔPSI dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$\Delta PSI = p_o - p_t$

$\Delta PSI = 4,2 - 2,5$

$= 1,7$

6. Reliabilitas dan Deviasi Standar Normal ($Z_R$)

Nilai realibilitas (R) berdasarkan klasifikasi fungsi Jalan Tawang-Ngalang segmen II dan segmen III adalah jalan kolektor daerah Urban, maka nilai reliabilitas (R) yang digunakan sebesar 95% dan nilai standar deviasi normal ($Z_R$) yang dipakai sebesar -1,645.

7. Deviasi Standar Keseluruhan ($S_o$)

Nilai deviasi standar keseluruhan ($S_o$) yang disarankan oleh *AASHTO* 1993 untuk perkerasan lentur sebesar 0,45 dan 0,35 untuk perkerasan kaku. Sehingga nilai deviasi standar keseluruhan ($S_o$) yang digunakan sebesar 0,45.

8. Modulus Resilient dan Koefisien Lapisan

Nilai modulus resilient ($M_R$) pada tanah dasar dapat dicari dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$M_R = 1500 \; (CBR)$

$M_R$ = 1500 x 7,17%

$M_R$ = 10755 psi

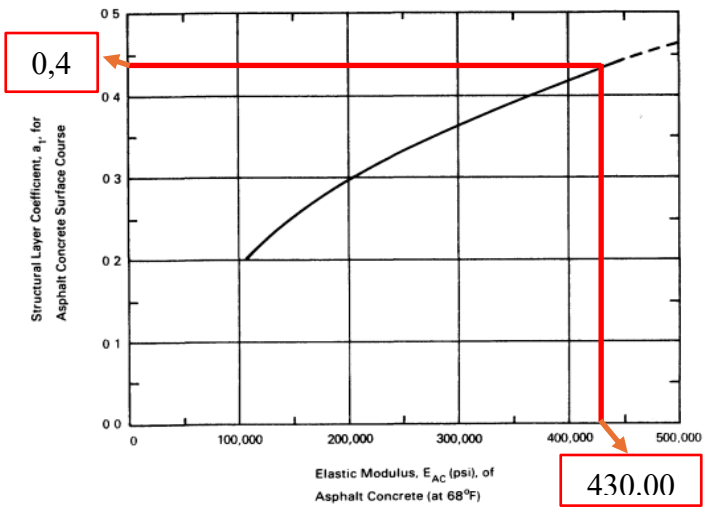
Koefisien lapisan dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel 3.13. Nilai koefisien pada lapisan *surface* ($a_1$) digunakan sebesar 0,44 dengan tipe material campuran aspal panas gradasi rapat. Pada lapisan *base course* digunakan material dengan tipe pondasi dirawat aspal dengan gradasi kasar sehingga nilai koefisien untuk lapisan *base course* ($a_2$) sebesar 0,34. Sedangkan pada lapisan subbase digunakan material dengan tipe batu pecah sehingga nilai koefisien untuk lapisan *subbase* ($a_3$) sebesar 0,14.

Penentuan nilai $M_R$ pada masing-masing lapisan dapat dilakukan setelah koefisien tiap lapisan telah ditentukan. Berikut merupakan penentuan nilai $M_R$ dari masing-masing lapisan perkerasan setelah nilai koefisien tiap lapisan ditentukan.

a. Koefisien lapisan *surface*

Koefisien lapisan $a_1$ = 0,44

Modulus resilient ($E_{AC}$) = 430.000 psi (berdasarkan grafik pada Gambar 5.2)

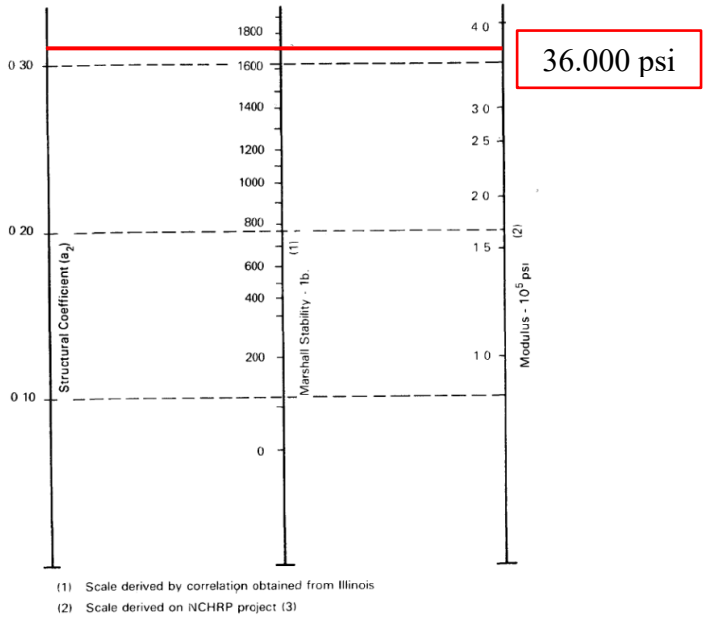



**Gambar 5. 2 Grafik Nilai *Modulus Resilient* ($E_{AC}$) *Surface***

b. Koefisien lapisan *base course*

Koefisien lapisan pada *base course* digunakan sebesar 0,34. *Modulus resilient* ($M_R$) untuk lapisan *base course* dapat ditentukan dengan menggunakan grafik seperti pada Gambar 3.6 karena didalam materialnya terdapat campuran aspal.

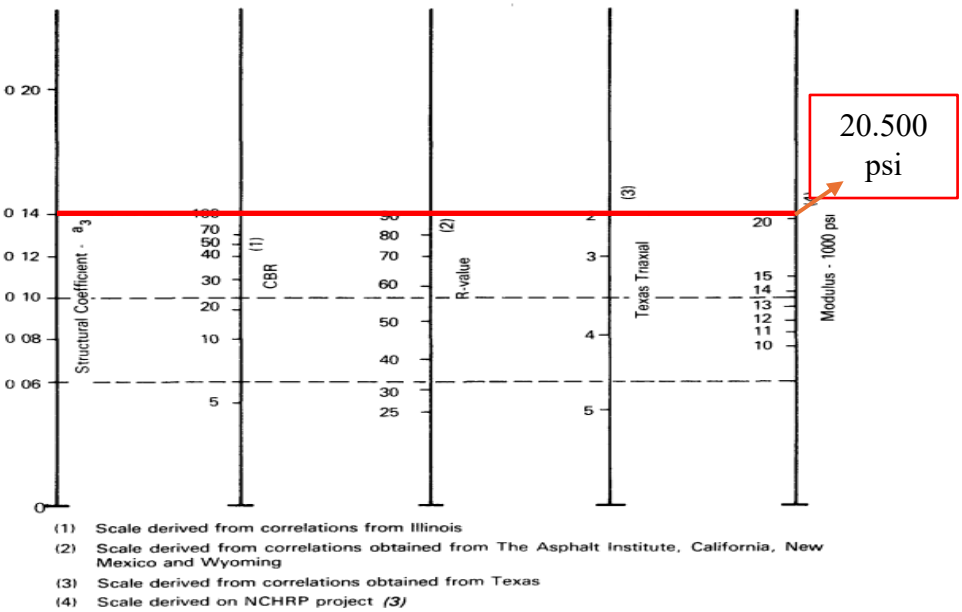
Nilai *modulus resilient* pada lapis *base* diperoleh sebesar 36.000 psi seperti yang terlihat pada Gambar 5.3 dibawah ini.




**Gambar 5. 3 Nilai $M_R$ Lapis *Base* Berdasarkan Grafik**

c. Koefisien lapisan *subbase*

Nilai *modulus resilient* ($M_R$) untuk lapisan *subbase course* dapat ditentukan dengan menggunakan grafik seperti pada Gambar 5.4. Berdasarkan Gambar 5.4 dengan nilai koefisien lapisan $a_3$ sebesar 0,14 maka diperoleh nilai *modulus resilient* sebesar 20.500




**Gambar 5. 4 Grafik Nilai *Modulus Resilient* ($M_R$) *Subbase***

9. Nilai *Structural Number* (SN) dan Ketebalan Tiap Lapisan

Nilai *structural number* (SN) dapat ditentukan dengan menggunakan nomogram seperti pada Gambar 3.7. Berikut merupakan nilai SN yang diperoleh dengan menggunakan nomogram.

a. SN1

Data-data yang diketahui:

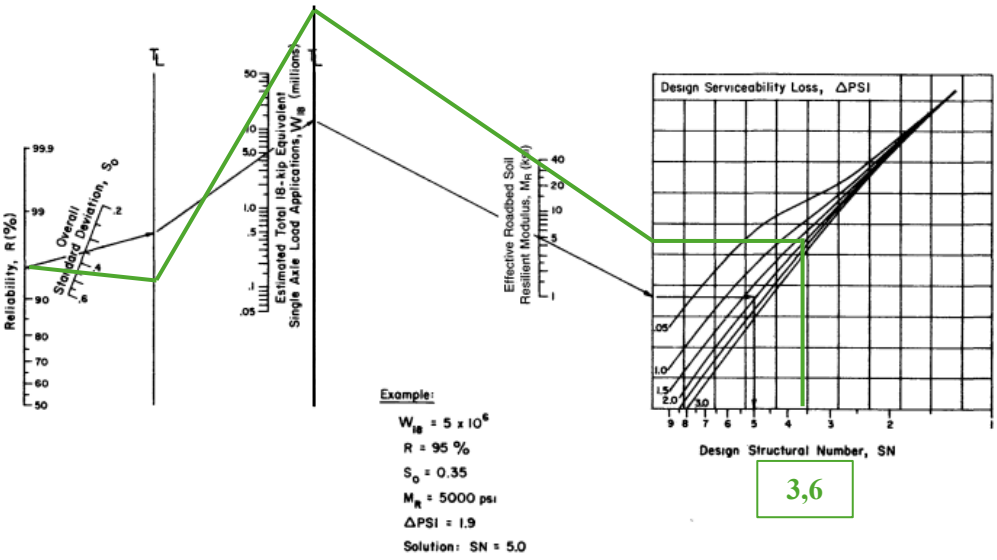
R = 95%

$S_o$ = 0,45

$W_{18}$ = 33.106.914,465

$M_{R\ base}$ = 36.000 psi

$\Delta PSI$ = 1,7




**Gambar 5. 5 Nilai SN1 Berdasarkan *Nomogram***

b. SN2

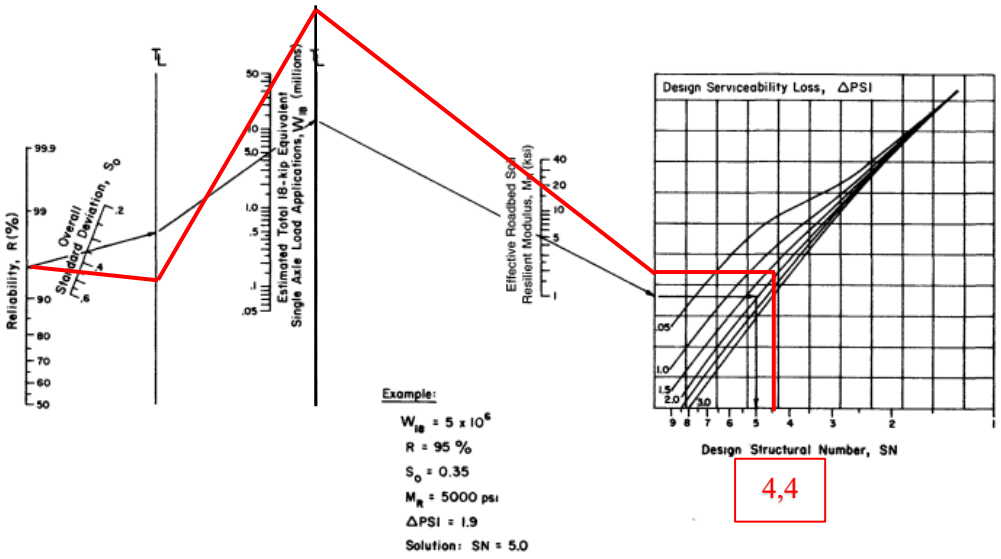
R = 95%

$S_o$ = 0,45

$W_{18}$ = 33.106.914,465

$M_{R\ subbase}$ = 20.500 psi

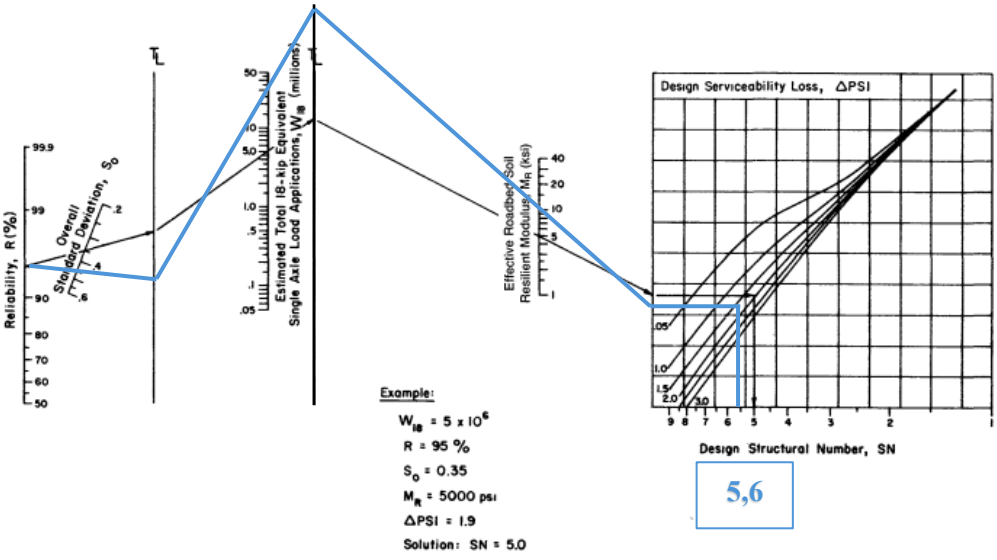
$\Delta PSI$ = 1,7




**Gambar 5. 6 Nilai SN2 Berdasarkan *Nomogram***

c. SN3

| | |
|---|---|
| R | = 95% |
| $S_o$ | = 0,45 |
| $W_{18}$ | = 33.106.914,465 |
| $M_{R\ subgrade}$ | = 10.755 psi |
| $\Delta PSI$ | = 1,7 |




**Gambar 5. 7 Nilai SN3 Berdasarkan *Nomogram***

Berdasarkan penentuan nilai SN yang telah dilakukan menggunakan nomogram, berikut merupakan nilai SN pada setiap lapisan.

SN1 = 3,6

SN2 = 4,4

SN3 = 5,6

Nilai SN yang telah diperoleh pada setiap lapisan dapat digunakan untuk menentukan nilai ketebalan dari masing-masing lapisan perkerasan jalan. Tebal setiap lapis perkerasan jalan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.17 sampai dengan Persamaan 19. Berikut merupakan perhitungan tebal pada tiap lapis perkerasan jalan berdasarkan nilai SN yang telah diperoleh.

a. Lapis Permukaan

$D_1 = \frac{a_1}{SN1}$

$D_1 = \frac{0,44}{3,6}$

$D_1$ = 8,18 Inci

$D_1$ = 20,78 cm ≈ 21 cm

b. Lapis Pondasi Atas

$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2}$

$D_2 = \frac{4,4 - 0,44\ x\ 3,6}{0,34\ x\ 1,2}$

$D_2$ = 1,96 Inci

$D_2$ = 4,98 cm ≈ 5 cm

c. Lapis Pondasi Bawah

$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3}$

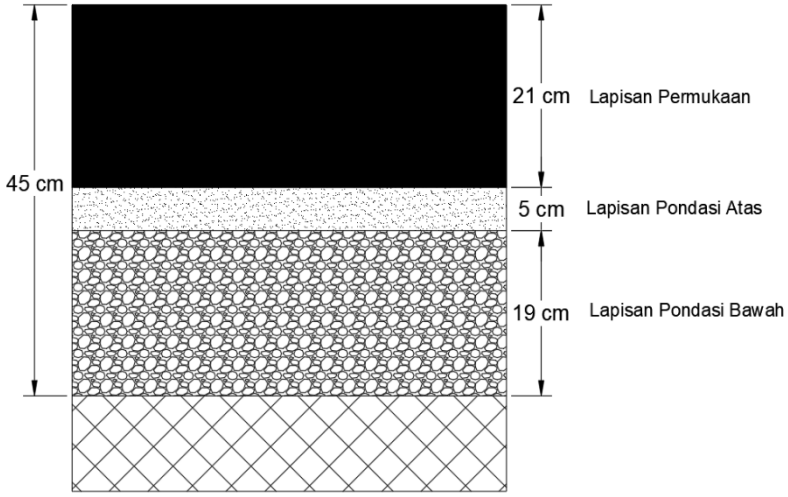
$D_3 = \frac{5,6 - (8,18x0,44 + 1,96x0,34x1,2)}{0,14\ x\ 0,12}$

$D_3$ = 7,14 inci

$D_3$ = 18,14 cm ≈ 19 cm

Berdasarkan hasil perhitungan tebal lapisan perkerasan diatas didapatkan tebal lapis permukaan sebesar 21 cm, lapis pondasi atas sebesar 5 cm serta lapis pondasi bawah sebesar 19 cm. Sehingga tebal perkerasan total yang diperoleh

dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 adalah sebesar 46 cm. Berikut merupakan Gambar 5.8 yang menunjukkan ketebalan lapis perkerasan metode *AASHTO* 1993.




**Gambar 5. 8 Tebal Perkerasan Metode *AASHTO* 1993**

## 5.3 Kinerja Struktur Perkerasan Dengan Program *KENPAVE*

Program *KENPAVE* digunakan dalam mengevaluasi kinerja perkerasan karena program ini dapat membantu untuk memperoleh nilai regangan pada struktur perkerasan jalan akibat pembebanan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik. Nilai regangan tersebut digunakan untuk memberikan informasi mengenai repetisi beban izin pada struktur perkerasan sebelum mengalami kerusakan. Indikator yang diperlukan untuk proses *input data* pada program *KENPAVE* meliputi nilai ketebalan lapisan, *poison's Ratio*, modulus elastisitas, beban yang bekerja, dan suhu.

Perkerasan eksisting dan perkerasan hasil desain menggunakan metode *AASHTO* 1993 akan dianalisis dengan menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui nilai respon struktur perkerasannya. Jika kedua struktur perkerasan tersebut tidak mampu menahan repetisi beban lalu lintas dan mengalami kegagalan atau kerusakan sebelum mencapai umur pelayanannya maka dibuat struktur perkerasan alternatif. Perkerasan alternatif merupakan tebal struktur perkerasan yang dibuat dengan metode *trial and error* yang bertujuan untuk mendapatkan ketebalan struktur perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur

rencana tanpa mengalami kerusakan. Berikut merupakan nilai ketebalan dari masing-masing perkerasan yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini.

**Tabel 5. 8 Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan**

| Lapisan | | Tebal (cm) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Eksisting | *AASHTO* 1993 | Alternatif |
| Surface | | 10 | 21 | 32 |
| Base | AC-Base | 8 | - | 12 |
| | ATB | - | 5 | - |
| Subbase | | 30 | 19 | 20 |

Selanjutnya data *input* untuk nilai modulus elastisitas dan *Poisson's Ratio* pada setiap lapisan perkerasan dapat mengacu seperti pada Tabel 3.18. Berikut merupakan nilai modulus elastisitas dan *Poisson's Ratio* yang digunakan pada analisis menggunakan program *KENPAVE* yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 dibawah ini.

**Tabel 5. 9 Nilai Modulus Elastistas dan *Poisson's Ratio***

| Indikator | Lapisan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Surface* | *Base* | | *Subbase* | *Sugrade* |
| | | AC-Base | ATB | | |
| Modulus Elastistas (MPa) | 1200 | 1600 | 1500 | 315 | 150 |
| *Poisson's Ratio* | 0,4 | 0,4 | 0,38 | 0,35 | 0,45 |

Data pembebanan yang digunakan pada evaluasi perkerasan dengan menggunakan program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.10 dibawah yang mengacu pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.9 untuk letak titik koordinat pembebanannya.

**Tabel 5. 10 Data Input Pembebanan**

| Istilah | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| Load | 1 | Menggunakan beban sumbu standar sebesar 8,16 ton |
| CR | 11 | Nilai lebar ban |

**Lanjutan Tabel 5. 10 Data Input Pembebanan**

| | | |
|---|---|---|
| CP | 550 | Nilai tekanan ban |
| YW | 33 | Nilai jarak antar ban arah Y |
| XW | 0 | Nilai jarak antar ban arah X |
| NPT | 3 | Koordinat yang diamati |

*Creep Compliance* merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis dengan pendekatan viskoelastik. Nilai *creep compliance* menunjukkan sifat dari material viskoelastik pada lapisan yang berpengikat aspal. Pengukuran *creep compliances* dapat dihitung dengan menggunakan 11 periode yang berbeda yakni 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 detik. Lapisan yang berpengikat aspal pada penelitian ini yaitu pada lapisan permukaan dan lapisan *base* baik yang menggunakan *AC-Base* maupun yang menggunakan *ATB*. Nilai *creep compliance* yang digunakan dalam analisis pada *KENPAVE* mengacu pada Tabel 3.17.

Data yang diperlukan untuk analisis baik secara elastik maupun viskoelastik pada tiap *menu bar* di *LAYERINP* jika sudah terisi semuanya, maka simpan data tersebut. Selanjutnya, kembali ke jendela awal program *KENPAVE* dan pilih *KENLAYER* untuk memproses data yang akan menghasilkan nilai regangan dan tegangan dari perkerasan yang dianalisis. Berikut merupakan *output* dari *KENLAYER* pada masing-masing struktur perkerasan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik.

### 5.3.1 Analisis Perkerasan Eksisting

Hasil analisis dari *KENLAYER* diperoleh nilai regangan dan tegangan dari struktur perkerasan yang ditinjau. Berikut merupakan Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 yang menunjukkan nilai regangan pada struktur perkerasan eksisting dengan pendekatan elastik dan viskoelastik yang dapat dilihat dibawah ini.

**Tabel 5. 11 Nilai Regangan Perkerasan Eksisting Secara Elastik**

| Pengulangan Beban | *Horizontal Strain* Pada Kedalaman 9,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 9,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 48,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,00006022 | 0,0002078 | 0,0002163 |
| 2 | 0,00005088 | 0,0001048 | 0,0002352 |
| 3 | 0,00004083 | 0,00002609 | 0,0002385 |
| *MAX* | 0,00006022 | 0,0002078 | 0,0002385 |

**Tabel 5. 12 Nilai Regangan Perkerasan Eksisting Secara Viskoelastik**

| Pengulangan Beban | Horizontal Strain Pada Kedalaman 9,9997 cm | Vertical Strain Pada Kedalaman 9,9997 cm | Vertical Strain Pada Kedalaman 48,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,0001202 | 0,0003192 | 0,0002313 |
| 2 | 0,0001047 | 0,0001651 | 0,0002521 |
| 3 | 0,00008796 | 0,00005051 | 0,0002557 |
| *MAX* | 0,0001202 | 0,0003192 | 0,0002557 |

Penentuan nilai repetisi beban yang diizinkan sebelum perkerasan mengalami kerusakan dapat dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai regangan horizontal dan vertikal yang dihasilkan dari program *KENPAVE* seperti pada Tabel 5.11 dan 5.12 diatas. Nilai regangan tersebut dapat digunakan untuk analisis kerusakan dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 3.26 hingga Persamaan 3.28.

Berikut merupakan perhitungan nilai repetisi beban izin pada pendekatan elastik.

a. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking*

$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796\ (0{,}00006022)^{-3.291}|1200000|^{-0{,}854}$

$= 39.642.904{,}98$ *ESAL*

b. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *rutting*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0002078)^{-4{,}47}$

$= 41.786.265{,}02$ *ESAL*

c. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0002385)^{-4{,}47}$

$= 22.548.474{,}17$ *ESAL*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai repetisi beban izin pada struktur perkerasan eksisting secara elastik dapat dilihat pada Tabel 5.13 dibawah ini.

**Tabel 5. 13 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Eksisting Secara Elastik**

| Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban (*ESAL*) | | Analisis Beban Lalu lintas |
|---|---|---|---|
| 33.106.914,465*ESAL* | *Fatigue* | 39.642.904,98 | Nf > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Rutting* | 41.786.265,02 | Ndr > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Deformation* | 22.548.474,17 | Ndp < Np (TDK OK) |

Perhitungan untuk menganalisis repetisi beban izin pada struktur perkerasan eksisting dengan pendekatan viskoelastik dapat dilakukan dengan menyesuaikan nilai regangan yang diperoleh. Berikut merupakan perhitungannya.

a. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking*

$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796\ (0{,}0001202)^{-3.291}|1200000|^{-0{,}854}$

$= 4.076.868{,}28$ *ESAL*

b. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *rutting*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0003192)^{-4{,}47}$

$= 6.115.657{,}08$ *ESAL*

c. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0002557)^{-4{,}47}$

= 16.509.053,77 *ESAL*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai repetisi beban izin pada struktur perkerasan eksisting secara viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 5.14 dibawah ini.

**Tabel 5. 14 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Eksisting Secara Viskoelastik**

| Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban (*ESAL*) | | Analisis Beban Lalu lintas |
|---|---|---|---|
| 33.106.914,465*ESAL* | *Fatigue* | 4.076.868,28 | Nf < Np (TDK OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Rutting* | 6.115.657,08 | Ndr < Np (TDK OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Deformation* | 16.509.053,77 | Ndp < Np (TDK OK) |

### 5.3.2 Analisis Perkerasan Metode *AASTHO* 1993

Hasil analisis dari *KENLAYER* diperoleh nilai regangan dan tegangan dari struktur perkerasan yang ditinjau. Berikut merupakan Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 yang menunjukkan nilai regangan pada struktur perkerasan metode *AASHTO* 1993 dengan pendekatan elastik dan viskoelastik yang dapat dilihat dibawah ini.

**Tabel 5. 15 Nilai Regangan Perkerasan *AASHTO* 1993 Secara Elastik**

| Pengulangan Beban | *Horizontal Strain* Pada Kedalaman 20,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 20,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 45,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,00008141 | 0,0001389 | 0,0002117 |
| 2 | 0,00008417 | 0,0001219 | 0,0002289 |
| 3 | 0,00008357 | 0,0001106 | 0,0002316 |
| *MAX* | 0,00008417 | 0,0001389 | 0,0002316 |

**Tabel 5. 16 Nilai Regangan Perkerasan *AASHTO* 1993 Secara Viskoelastik**

| Pengulangan Beban | *Horizontal Strain* Pada Kedalaman 20,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 20,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 45,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,0001104 | 0,0001891 | 0,0002322 |

**Lanjutan Tabel 5. 16 Nilai Regangan Perkerasan *AASHTO* 1993 Secara Viskoelastik**

| Pengulangan Beban | Horizontal Strain Pada Kedalaman 20,9997 cm | Vertical Strain Pada Kedalaman 20,9997 cm | Vertical Strain Pada Kedalaman 45,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 2 | 0,0001135 | 0,0001628 | 0,0002517 |
| 3 | 0,0001124 | 0,000146 | 0,0002548 |
| *MAX* | 0,0001135 | 0,0001891 | 0,0002548 |

Penentuan nilai repetisi beban yang diizinkan sebelum perkerasan mengalami kerusakan dapat dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai regangan horizontal dan vertikal yang dihasilkan dari program *KENPAVE* seperti pada Tabel 5.15 dan 5.16 diatas. Nilai regangan tersebut dapat digunakan untuk analisis kerusakan dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 3.26 hingga Persamaan 3.28.

Berikut merupakan perhitungan nilai repetisi beban izin pada pendekatan elastik.

a. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking*

$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796\ (0{,}00008417)^{-3.921}|1200000|^{-0{,}854}$

$= 13.170.416{,}82$ *ESAL*

b. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *rutting*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0001389)^{-4{,}47}$

$= 253.661.582{,}31$ *ESAL*

c. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0002316)^{-4{,}47}$

$= 25.715.687{,}55$ *ESAL*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai repetisi beban izin pada struktur perkerasan *AASHTO* 1993 secara elastik dapat dilihat pada Tabel 5.17 dibawah ini.

**Tabel 5. 17 Nilai Repetisi Beban Perkerasan AASHTO 1933 Secara Elastik**

| Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban (*ESAL*) | | Analisis Beban Lalu lintas |
|---|---|---|---|
| 33.106.914,465*ESAL* | *Fatigue* | 13.170.416,82 | Nf < Np (TDK OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Rutting* | 253.661.582,3 | Ndr > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Deformation* | 25.715.687,55 | Ndp < Np (TDK OK) |

Perhitungan untuk menganalisis repetisi beban izin pada struktur perkerasan *AASHTO* 1993 dengan pendekatan viskoelastik dapat dilakukan dengan menyesuaikan nilai regangan yang diperoleh. Berikut merupakan perhitungannya.

a. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking*

$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796\ (0{,}0001135)^{-3.291}|1200000|^{-0{,}854}$

$= 4.923.805{,}66\ ESAL$

b. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *rutting*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0001891)^{-4{,}47}$

$= 63.735.981{,}30\ ESAL$

c. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0002548)^{-4{,}47}$

$= 16.771.728{,}82\ ESAL$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai repetisi beban izin pada struktur perkerasan *AASHTO* 1993 secara viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 5.18 dibawah ini.

**Tabel 5. 18 Nilai Repetisi Beban Perkerasan *AASHTO* 1993 Viskoelastik**

| Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban (*ESAL*) | | Analisis Beban Lalu lintas |
|---|---|---|---|
| 33.106.914,465*ESAL* | *Fatigue* | 4.923.805,661 | Nf < Np (TDK OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Rutting* | 63.735.981,30 | Ndr > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Deformation* | 16.771.728,82 | Ndp < Np (TDK OK) |

### 5.3.3 Analisis Perkerasan Alternatif

Hasil analisis dari *KENLAYER* diperoleh nilai regangan dan tegangan dari struktur perkerasan yang ditinjau. Berikut merupakan Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 yang menunjukkan nilai regangan pada struktur perkerasan alternatif dengan pendekatan elastik dan viskoelastik yang dapat dilihat dibawah ini.

**Tabel 5. 19 Nilai Regangan Perkerasan Alternatif Secara Elastik**

| Pengulangan Beban | *Horizontal Strain* Pada Kedalaman 31,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 31,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 64,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,00003562 | 0,00006937 | 0,0001115 |
| 2 | 0,00003777 | 0,00006959 | 0,0001191 |
| 3 | 0,00003801 | 0,0000681 | 0,0001204 |
| *MAX* | 0,00003801 | 0,00006959 | 0,0001204 |

**Tabel 5. 20 Nilai Regangan Perkerasan Alternatif Secara Viskoelastik**

| Pengulangan Beban | *Horizontal Strain* Pada Kedalaman 31,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 31,9997 cm | *Vertical Strain* Pada Kedalaman 64,0003 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,00005689 | 0,000102 | 0,0001283 |
| 2 | 0,00006059 | 0,0001032 | 0,0001375 |
| 3 | 0,00006103 | 0,0001013 | 0,0001392 |
| *MAX* | 0,00006103 | 0,0001032 | 0,0001392 |

Penentuan nilai repetisi beban yang diizinkan sebelum perkerasan mengalami kerusakan dapat dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai regangan horizontal dan vertikal yang dihasilkan dari program *KENPAVE* seperti pada Tabel 5.19 dan

5.20 diatas. Nilai regangan tersebut dapat digunakan untuk analisis kerusakan dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 3.26 hingga Persamaan 3.28.

Berikut merupakan perhitungan nilai repetisi beban izin pada pendekatan elastik.

a. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking*

$N_f$ $= 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796\ (0{,}00003801)^{-3.921}|1200000|^{-0{,}854}$

$= 180.238.844{,}61$ *ESAL*

b. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *rutting*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}00006959)^{-4{,}47}$

$= 5.598.226.482{,}95$ *ESAL*

c. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0001204)^{-4{,}47}$

$= 481.025.244{,}96$ *ESAL*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai repetisi beban izin pada struktur perkerasan alternatif secara elastik dapat dilihat pada Tabel 5.21 dibawah ini.

**Tabel 5. 21 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Alternatif Secara Elastik**

| Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban (*ESAL*) | | Analisis Beban Lalu lintas |
|---|---|---|---|
| 33.106.914,465*ESAL* | *Fatigue* | 180.238.844,61 | Nf > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Rutting* | 5.598.226.482,25 | Ndr > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Deformation* | 481.025.244,96 | Ndp > Np (OK) |

Perhitungan untuk menganalisis repetisi beban izin pada struktur perkerasan alternatif dengan pendekatan viskoelastik dapat dilakukan dengan menyesuaikan nilai regangan yang diperoleh. Berikut merupakan perhitungannya.

a. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking*

$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3.291}|E|^{-0{,}854}$

$= 0{,}0796\ (0{,}00006103)^{-3.921}|1200000|^{-0{,}854}$

$= 37.937.530{,}11 ESAL$

b. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *rutting*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0001032)^{-4{,}47}$

$= 959.154.672{,}09\ ESAL$

c. Nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *permanent deformation*

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

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(\varepsilon_c)^{-f_5}$

$= 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0001392)^{-4{,}47}$

$= 251.223.229{,}99\ ESAL$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai repetisi beban izin pada struktur perkerasan alternatif secara viskoelastik dapat dilihat pada Tabel 5.22 dibawah ini.

**Tabel 5. 22 Nilai Repetisi Beban Perkerasan Alternatif Secara Viskoelastik**

| Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban (*ESAL*) | | Analisis Beban Lalu lintas |
|---|---|---|---|
| 33.106.914,465*ESAL* | *Fatigue* | 37.937.530,11 | Nf > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Rutting* | 959.154.672,09 | Ndr > Np (OK) |
| 33.106.914,465*ESAL* | *Deformation* | 251.223.229,99 | Ndp > Np (OK) |

Berikut merupakan hasil rekapitulasi nilai regangan yang dihasilkan dengan menggunakan program *KENPAVE* dan nilai repetisi beban izin pada masing-masing struktur perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 dibawah ini.

**Tabel 5. 23 Rekapitulasi Nilai Regangan**

| Struktur Perkerasan | Pendekatan | Regangan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Titik Tinjauan | Horizontal Strain (*Fatigue Crack*) | Vertical Strain (*Rutting*) | Titik Tinjauan | Vertical Strain (*Permanent D.*) |
| Eksisting | Elastik | 9,9997 cm | 0,00006022 | 0,0002078 | 48,0003 cm | 0,0002163 |
| | | | 0,00005088 | 0,0001048 | | 0,0002352 |
| | | | 0,00004083 | 0,00002609 | | 0,0002385 |
| | | *MAX* | 0,00006022 | 0,0002078 | *MAX* | 0,0002385 |
| | Viskoelastik | 9,9997 cm | 0,0001202 | 0,0003192 | 48,0003 cm | 0,0002313 |
| | | | 0,0001047 | 0,0001651 | | 0,0002521 |
| | | | 0,00008796 | 0,00005051 | | 0,0002557 |
| | | *MAX* | 0,0001202 | 0,0003192 | MAX | 0,0002557 |
| *AASHTO* 1993 | Elastik | 20,9997 cm | 0,00008141 | 0,0001389 | 45,0003 cm | 0,0002117 |
| | | | 0,00008417 | 0,0001219 | | 0,0002289 |
| | | | 0,00008357 | 0,0001106 | | 0,0002316 |
| | | *MAX* | 0,00008417 | 0,0001389 | *MAX* | 0,0002316 |
| | Viskoelastik | 20,9997 cm | 0,0001104 | 0,0001891 | 45,0003 cm | 0,0002322 |
| | | | 0,0001135 | 0,0001628 | | 0,0002517 |
| | | | 0,0001124 | 0,000146 | | 0,0002548 |
| | | *MAX* | 0,0001135 | 0,0001891 | *MAX* | 0,0002548 |

**Lanjutan Tabel 5. 23 Rekapitulasi Nilai Regangan**

| Struktur Perkerasan | Pendekatan | Regangan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Titik Tinjauan | Horizontal Strain (*Fatigue Crack*) | Vertical Strain (*Rutting*) | Titik Tinjauan | Vertical Strain (*Permanent D.)* |
| Alternatif | Elastik | 31,9997 cm | 0,00003562 | 0,00006937 | 64,0003 cm | 0,0001115 |
| | | | 0,00003777 | 0,00006959 | | 0,0001191 |
| | | | 0,00003801 | 0,0000681 | | 0,0001204 |
| | | *MAX* | 0,00003801 | 0,00006959 | *MAX* | 0,0001204 |
| | Viskoelastik | 31,9997 cm | 0,00005689 | 0,000102 | 64,0003 cm | 0,0001283 |
| | | | 0,00006059 | 0,0001032 | | 0,0001375 |
| | | | 0,00006103 | 0,0001013 | | 0,0001392 |
| | | *MAX* | 0,00006103 | 0,0001032 | *MAX* | 0,0001392 |

**Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai Repetisi Beban Izin**

| Struktur Perkerasan | Lalu Lintas Rencana (Np) | Repetisi Beban Izin (ESAL) | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|
| Eksisting | 33.106.914,465 | Nf | Elastik | 39.642.904,98 | Nf > Np (OK) |
| | | | Viskoelastik | 4.076.868,28 | Nf < Np (TDK OK) |
| | | Ndr | Elastik | 41.786.265,02 | Ndr > Np (OK) |
| | | | Viskoelastik | 6.115.657,08 | Ndr < Np (TDK OK) |
| | | Ndp | Elastik | 22.548.474,17 | Ndp < Np (TDK OK) |
| | | | Viskoelastik | 16.509.053,77 | Ndp < Np (TDK OK) |
| *AASHTO* 1993 | 33.106.914,465 | Nf | Elastik | 13.170.416,82 | Nf < Np (TDK OK) |
| | | | Viskoelastik | 4.923.805,661 | Nf < Np (TDK OK) |
| | | Ndr | Elastik | 253.661.582,3 | Ndr > Np (OK) |
| | | | Viskoelastik | 63.735.981,30 | Ndr > Np (OK) |
| | | Ndp | Elastik | 25.715.687,55 | Ndp < Np (TDK OK) |
| | | | Viskoelastik | 16.771.728,82 | Ndp < Np (TDK OK) |
| Alternatif | 33.106.914,465 | Nf | Elastik | 180.238.844,61 | Nf > Np (OK) |
| | | | Viskoelastik | 37.937.530,11 | Nf > Np (OK) |
| | | Ndr | Elastik | 5.598.226.482,25 | Ndr > Np (OK) |
| | | | Viskoelastik | 959.154.672,09 | Ndr > Np (OK) |
| | | Ndp | Elastik | 481.025.244,96 | Ndp > Np (OK) |
| | | | Viskoelastik | 251.223.229,99 | Ndp > Np (OK) |

## 5.4 Perbandingan Sisa Umur Pelayanan Jalan

Nilai sisa umur pelayanan perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 3.29 dan berikut merupakan contoh perhitungan nilai sisa umur layan pada perkerasan eksisting dengan pendekatan elastik.

a. Umur sisa untuk kerusakan *fatigue cracking*

$$\text{RL} = 100\ x\left(1 - \frac{N_P}{N_{1,5}}\right)$$

$$= 100\ x\left(1 - \frac{33.106.914,465}{39.642.904,98}\right)$$

$$= 16,49\%$$

b. Umur sisa untuk kerusakan *rutting*

$$\text{RL} = 100\ x\left(1 - \frac{N_P}{N_{1,5}}\right)$$

$$= 100\ x\left(1 - \frac{33.106.914,465}{41.786.265,02}\right)$$

$$= 20,77\%$$

c. Umur sisa untuk kerusakan *permanent deformation*

$$\text{RL} = 100\ x\left(1 - \frac{N_P}{N_{1,5}}\right)$$

$$= 100\ x\left(1 - \frac{33.106.914,465}{22.548.474,17}\right)$$

$$= -46,83\%$$

Perhitungan umur sisa seperti di atas dapat diterapkan pada pendekatan viskoelastik dengan cara yang sama, termasuk untuk jenis perkerasan lainnya. Berikut merupakan tabel nilai umur sisa pelayanan pada tiap struktur perkerasan yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 hingga Tabel 5.27 di bawah ini.

**Tabel 5. 25 Umur Sisa Layan Perkerasan Eksisting**

| Tahun | Np (*ESAL*) | Sisa Pelayanan Perkerasan (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Fatigue Cracking* | | *Rutting* | | *Permanent Deformation* | |
| | | E | V | E | V | E | V |
| 2024 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2025 | 1.170.696,144 | 97,05 | 71,28 | 97,20 | 80,86 | 94,81 | 92,91 |
| 2026 | 2.382.366,654 | 93,99 | 41,56 | 94,30 | 61,04 | 89,43 | 85,57 |
| 2027 | 3.636.445,631 | 90,83 | 10,80 | 91,30 | 40,54 | 83,87 | 77,97 |
| 2028 | 4.934.417,373 | 87,55 | **Gagal** | 88,19 | 19,32 | 78,12 | 70,11 |
| 2029 | 6.277.818,125 | 84,16 | | 84,98 | **Gagal** | 72,16 | 61,97 |
| 2030 | 7.668.237,904 | 80,66 | | 81,65 | | 65,99 | 53,55 |
| 2031 | 9.107.322,375 | 77,03 | | 78,20 | | 59,61 | 44,83 |
| 2032 | 10.596.774,803 | 73,27 | | 74,64 | | 53,00 | 35,81 |
| 2033 | 12.138.358,065 | 69,38 | | 70,95 | | 46,17 | 26,47 |
| 2034 | 13.733.896,742 | 65,36 | | 67,13 | | 39,09 | 16,81 |
| 2035 | 15.385.279,272 | 61,19 | | 63,18 | | 31,77 | 6,81 |
| 2036 | 17.094.460,191 | 56,88 | | 59,09 | | 24,19 | **Gagal** |
| 2037 | 18.863.462,443 | 52,42 | | 54,86 | | 16,34 | |
| 2038 | 20.694.379,772 | 47,80 | | 50,48 | | 8,22 | |
| 2039 | 22.589.379,209 | 43,02 | | 45,94 | | **Gagal** | |
| 2040 | 24.550.703,626 | 38,07 | | 41,25 | | | |
| 2041 | 26.580.674,397 | 32,95 | | 36,39 | | | |
| 2042 | 28.681.694,145 | 27,65 | | 31,36 | | | |
| 2043 | 30.856.249,585 | 22,16 | | 26,16 | | | |
| 2044 | 33.106.914,465 | 16,49 | | 20,77 | | | |

E = Pendekatan Elastik
V = Pendekatan Viskoelastik

**Tabel 5. 26 Umur Sisa Layan Perkerasan *AASHTO* 1993**

| Tahun | Np (*ESAL*) | Sisa Pelayanan Perkerasan (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Fatigue Cracking* | | *Rutting* | | *Permanent Deformation* | |
| | | E | V | E | V | E | V |
| 2024 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2025 | 1.170.696,144 | 91,97 | 91,29 | 99,45 | 99,36 | 94,96 | 94,66 |
| 2026 | 2.382.366,654 | 83,67 | 82,28 | 98,89 | 98,69 | 89,75 | 89,13 |
| 2027 | 3.636.445,631 | 75,07 | 72,95 | 98,30 | 98,00 | 84,35 | 83,41 |
| 2028 | 4.934.417,373 | 66,17 | 63,29 | 97,70 | 97,29 | 78,77 | 77,49 |
| 2029 | 6.277.818,125 | 56,96 | 53,30 | 97,07 | 96,55 | 72,99 | 71,37 |
| 2030 | 7.668.237,904 | 47,43 | 42,95 | 96,43 | 95,79 | 67,00 | 65,02 |
| 2031 | 9.107.322,375 | 37,57 | 32,25 | 95,75 | 94,99 | 60,81 | 58,46 |
| 2032 | 10.596.774,803 | 27,36 | 21,17 | 95,06 | 94,18 | 54,40 | 51,67 |
| 2033 | 12.138.358,065 | 16,79 | 9,70 | 94,34 | 93,33 | 47,77 | 44,64 |
| 2034 | 13.733.896,742 | 5,85 | **Gagal** | 93,60 | 92,45 | 40,90 | 37,36 |
| 2035 | 15.385.279,272 | **Gagal** | | 92,83 | 91,54 | 33,79 | 29,83 |
| 2036 | 17.094.460,191 | | | 92,03 | 90,61 | 26,44 | 22,03 |
| 2037 | 18.863.462,443 | | | 91,21 | 89,63 | 18,83 | 13,96 |
| 2038 | 20.694.379,772 | | | 90,35 | 88,63 | 10,95 | 5,61 |
| 2039 | 22.589.379,209 | | | 89,47 | 87,59 | 2,79 | **Gagal** |
| 2040 | 24.550.703,626 | | | 88,55 | 86,51 | **Gagal** | |
| 2041 | 26.580.674,397 | | | 87,61 | 85,39 | | |
| 2042 | 28.681.694,145 | | | 86,63 | 84,24 | | |
| 2043 | 30.856.249,585 | | | 85,62 | 83,04 | | |
| 2044 | 33.106.914,465 | | | 84,57 | 81,80 | | |

E = Pendekatan Elastik
V = Pendekatan Viskoelastik

**Tabel 5. 27 Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif**

| Tahun | Np (*ESAL*) | Sisa Pelayanan Perkerasan (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Fatigue Cracking* | | *Rutting* | | *Permanent Deformation* | |
| | | E | V | E | V | E | V |
| 2024 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2025 | 1.170.696,144 | 99,35 | 96,90 | 99,98 | 99,88 | 99,76 | 99,53 |
| 2026 | 2.382.366,654 | 98,67 | 93,68 | 99,96 | 99,75 | 99,50 | 99,05 |
| 2027 | 3.636.445,631 | 97,97 | 90,36 | 99,93 | 99,62 | 99,24 | 98,54 |
| 2028 | 4.934.417,373 | 97,25 | 86,92 | 99,91 | 99,48 | 98,97 | 98,02 |
| 2029 | 6.277.818,125 | 96,50 | 83,36 | 99,89 | 99,34 | 98,69 | 97,49 |
| 2030 | 7.668.237,904 | 95,72 | 79,67 | 99,86 | 99,20 | 98,40 | 96,93 |
| 2031 | 9.107.322,375 | 94,92 | 75,85 | 99,84 | 99,04 | 98,10 | 96,35 |
| 2032 | 10.596.774,803 | 94,09 | 71,91 | 99,81 | 98,89 | 97,78 | 95,76 |
| 2033 | 12.138.358,065 | 93,23 | 67,82 | 99,78 | 98,73 | 97,46 | 95,14 |
| 2034 | 13.733.896,742 | 92,34 | 63,59 | 99,75 | 98,56 | 97,13 | 94,50 |
| 2035 | 15.385.279,272 | 91,41 | 59,21 | 99,72 | 98,39 | 96,78 | 93,84 |
| 2036 | 17.094.460,191 | 90,46 | 54,68 | 99,69 | 98,21 | 96,43 | 93,16 |
| 2037 | 18.863.462,443 | 89,47 | 49,99 | 99,66 | 98,02 | 96,06 | 92,45 |
| 2038 | 20.694.379,772 | 88,45 | 45,13 | 99,63 | 97,83 | 95,67 | 91,71 |
| 2039 | 22.589.379,209 | 87,39 | 40,11 | 99,59 | 97,63 | 95,28 | 90,96 |
| 2040 | 24.550.703,626 | 86,30 | 34,91 | 99,56 | 97,43 | 94,87 | 90,17 |
| 2041 | 26.580.674,397 | 85,17 | 29,53 | 99,52 | 97,21 | 94,44 | 89,36 |
| 2042 | 28.681.694,145 | 83,99 | 23,96 | 99,48 | 96,99 | 94,00 | 88,52 |
| 2043 | 30.856.249,585 | 82,78 | 18,19 | 99,45 | 96,76 | 93,55 | 87,65 |
| 2044 | 33.106.914,465 | 81,52 | 12,22 | 99,41 | 96,53 | 93,08 | 86,74 |

E = Pendekatan Elastik
V = Pendekatan Viskoelastik

## 5.5 Pembahasan

Analisis dan perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 dan bantuan program *KENPAVE* didapatkan hasil sebagai berikut.

### 5.5.1 Desain Struktur Perkerasan Metode AASHTO 1993

Jalan Tawang-Ngalang merupakan jalan kolektor yang menghubungkan Kabupaten Sleman dengan Kabupaten Gunungkidul. Jalan ini diresmikan pada tanggal 18 Januari 2024. Data tebal perkerasan jalan Tawang-Ngalang yang didesain menggunakan metode Bina Marga 2017 diperoleh dari Dinas PUP ESDM DIY adalah sebagai berikut.

AC-WC = 4 cm
AC-BC = 6 cm
AC-Base = 8 cm
LPA = 30 cm

Dari data tebal perkerasan yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan pendesainan struktur perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 untuk mengetahui perbedaan tebal perkerasan yang dihasilkan antara metode *AASHTO* 1993 dengan tebal perkerasan eksisting. Proses pendesainan dilakukan dengan menggunakan data-data yang telah didapatkan seperti data LHR, CBR, dan data hujan. Analisis lalu lintas pada metode *AASHTO* 1993 menghasilkan nilai lalu lintas rencana selama 20 tahun setelah jalan dibuka ($W_{18}$) sebesar 33.106.914,465 *ESAL*. Dengan demikian, seperti perhitungan yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, metode *AASHTO* 1993 menghasilkan tebal total struktur perkerasan sebesar 45 cm dengan rincian 21 cm untuk lapisan permukaan, 5 cm untuk lapisan pondasi atas dengan material ATB, dan 19 cm untuk lapisan pondasi bawah dengan material batu pecah. Tebal total struktur perkerasan metode *AASHTO* 1993 diketahui lebih kecil daripada tebal perkerasan eksisting, namun pada metode *AASHTO* 1993 menghasilkan tebal lapis permukaan yang lebih besar daripada perkerasan eksisting. Hal yang serupa juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto (2023) dimana pada metode *AASHTO* 1993 menghasilkan ketebalan struktur perkerasan yang lebih kecil dibandingkan metode Bina Marga 2017 tetapi memiliki lapisan permukaan yang lebih tebal.

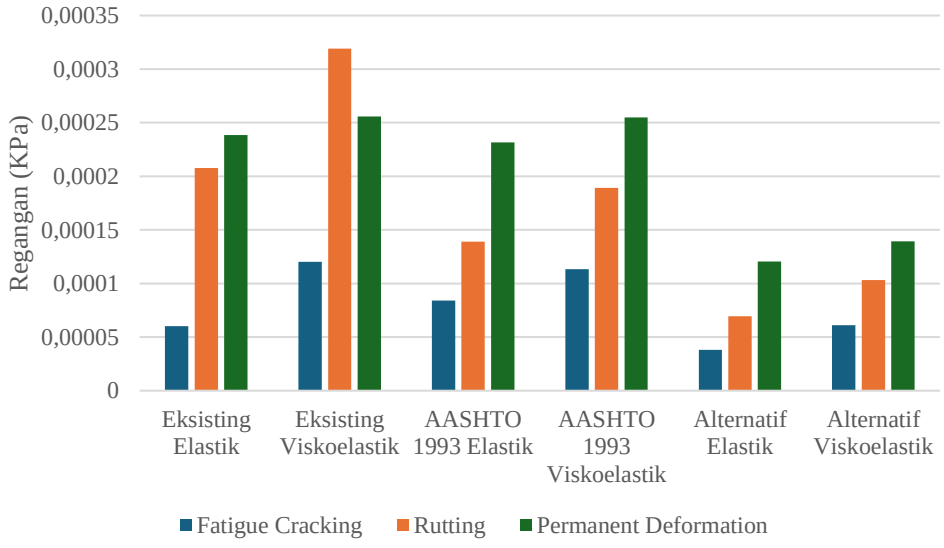
### 5.5.2 Kinerja Struktur Perkerasan Eksisting dan Alternatif

Berikut merupakan perbandingan ketebalan struktur perkerasan yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 dibawah ini.

**Tabel 5. 28 Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan**

| Lapisan | | Tebal (cm) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Eksisting | *AASHTO* 1993 | Alternatif |
| Surface | | 10 | 21 | 32 |
| Base | AC-Base | 8 | - | 12 |
| | ATB | - | 5 | - |
| Subbase | | 30 | 19 | 20 |

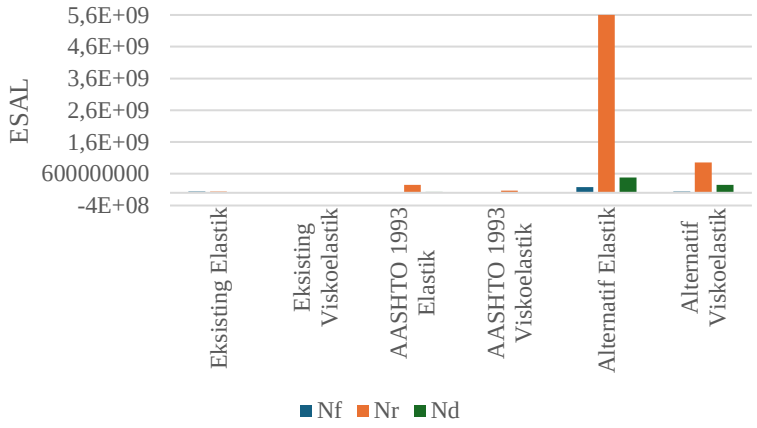
Penggunaan program *KENPAVE* akan menghasilkan *output* berupa nilai respon regangan pada struktur perkerasan akibat pembebanan. Nilai regangan yang dihasilkan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.23. Mengacu pada Tabel 5.23 maka didapatkan nilai kontrol regangan yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis jenis kerusakan seperti retak lelah (*fatigue cracking*), retak alur (*rutting*), dan deformasi permanen (*permanent deformation*). Berikut merupakan nilai regangan maksimum yang digunakan sebagai kontrol untuk menganalisis kerusakan pada struktur perkerasan yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 dibawah ini.




**Gambar 5. 9 Perbandingan Nilai Regangan Maksimum Struktur Perkerasan**

Berdasarkan Gambar 5.9 diatas dapat diketahui bahwa perkerasan eksisting baik secara elastik maupun viskoelastik memiliki nilai respon regangan untuk kerusakan *rutting* lebih besar daripada struktur perkerasan yang lain. Hal tersebut dapat diakibatkan karena tebal lapis permukaan pada perkerasan eksisting lebih kecil daripada perkerasan metode *AASHTO* 1993 dan perkerasan alternatif. Sedangkan respon regangan untuk kerusakan *fatigue cracking* pada struktur perkerasan *AASHTO* 1993 menjadi lebih besar meskipun nilai tebal lapis permukaannya lebih tebal daripada perkerasan eksisting. Hal ini dikarenakan perbedaan material pada lapisan *base* dimana pada lapis permukaan perkerasan eksisting menggunakan lapis *AC-Base* yang memiliki nilai modulus elastistas yang lebih tinggi daripada lapis *ATB* yang digunakan sebagai lapis *base* pada perkerasan metode *AASHTO* 1993. Selanjutnya respon regangan untuk kerusakan *permanent deformation* dipengaruhi oleh nilai ketebalan total dari struktur perkerasan. Nilai regangan tersebut akan menjadi lebih kecil apabila total tebal struktur perkerasan lebih besar. Hal tersebut dapat dilihat antara perkerasan eksisting yang memiliki tebal total sebesar 48 cm dengan perkerasan alternatif yang memiliki tebal total sebesar 64 cm. Perkerasan altenatif menghasilkan nilai regangan yang lebih kecil daripada perkerasan eksisting untuk kerusakan *permanent deformation*.

Nilai respon regangan yang dihasilkan pada setiap perkerasan akan berpengaruh terhadap nilai repetisi beban lalu lintas dalam analisis kerusakan jalan. Berikut merupakan Gambar 5.10 yang menunjukkan nilai repetisi beban izin pada setiap perkerasan.




**Gambar 5. 10 Perbandingan Nilai Repetisi Beban**

Berdasarkan Gambar 5.10 diatas dapat diketahui bahwa nilai respon regangan pada struktur perkerasan berpengaruh terhadap nilai repetisi beban untuk setiap jenis kerusakan. Pada perkerasan eksisting secara elastik menghasilkan nilai regangan horizontal pada lapis permukaan sebesar 0,00006022. Sedangkan regangan vertikal pada lapis permukaan diperoleh sebesar 0,0002078 dan 0,0002385 pada lapis *subgrade*. Dari perhitungan diketahui bahwa perkerasan eksisting secara elastik menghasilkan nilai repetisi beban untuk kerusakan *fatigue cracking* (Nf), *rutting* (Nr) dan kerusakan *permanent deformation* (Nd) secara berurutan adalah 39.642.904,98 *ESAL*, 41.786.265,02 *ESAL*, dan 22.548.474,17 *ESAL*. Sedangkan perkerasan *AASHTO* 1993 dengan pendekatan elastik didapatkan nilai regangan horizontal pada lapis permukaan sebesar 0,00008417. Sedangkan nilai regangan vertikal pada lapis permukaan sebesar 0,0001389 dan 0,0002316 pada lapis *subgrade*. *AASHTO* 1993 secara elastik memiliki nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking* (Nf) sebesar 13.170.416,82 *ESAL*, kerusakan *rutting* (Nr) sebesar 253.661.582,31 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* (Nd) sebesar 25.715.687,55 *ESAL*.

Selanjutnya secara viskoelastik perkerasan eksisting didapatkan nilai regangan horizontal pada lapis permukaan sebesar 0,0001202. Sedangkan nilai regangan vertikal pada lapis permukaan sebesar 0,0003192 dan 0,0002557 pada lapis *subgrade*. Analisis repetisi beban izin pada setiap jenis kerusakan diperoleh nilai untuk kerusakan *fatigue cracking* (Nf), *rutting* (Nr) dan *permanent deformation* (Nd) secara berurutan adalah sebesar 4.076.868,28 *ESAL*, 6.115.657,08 *ESAL* dan 16.509.053,77 *ESAL*. Sedangkan perkerasan *AASHTO* 1993 dengan pendekatan viskoelastik didapatkan nilai regangan horizontal pada lapis permukaan sebesar 0,0001135. Sedangkan nilai regangan vertikal pada lapis permukaan sebesar 0,0001891 dan 0,0002548 pada lapis *subgrade*. *AASHTO* 1993 secara viskoelastik memiliki nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking* (Nf) sebesar 4.923.805,66 *ESAL*, kerusakan *rutting* (Nr) sebesar 63.735.981,30 *ESAL* dan kerusakan *permanent deformation* (Nd) sebesar 16.771.728,82 *ESAL*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai regangan yang dihasilkan suatu struktur perkerasan akibat suatu pembebanan dapat memengaruhi

besarnya nilai repetisi beban izin untuk kerusakan, dimana semakin kecil nilai respon regangan maka semakin besar nilai repetisi beban izin yang diperoleh. Selain itu, berdasarkan Gambar 5.10 perkerasan yang dianalisis menggunakan pendekatan viskoelastik cenderung memiliki nilai repetisi beban izin yang lebih kecil daripada perkerasan yang dianalisis secara elastik. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh suhu dan lamanya waktu pembebanan selama proses analisis. Suhu berperan penting karena dapat mempengaruhi sifat viskoelastik dari suatu material dimana semakin tinggi suhu maka material akan menjadi sangat viskos. Oleh karena itu, material yang viskos akan menghasilkan nilai regangan yang tinggi dan nilai repetisi beban izin yang lebih rendah. Nilai repetisi beban yang lebih kecil pada pendekatan viskoelastik juga terjadi di penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2022) pada studi komparasi campuran *superpave* dan *AC-WC* dengan permodelan viskoelastik dan elastik.

### 5.5.3 Perbandingan Sisa Umur Layan Perkerasan

Berdasarkan perhitungan nilai lalu lintas rencana diperoleh nilai sebesar 33.106.914,465 *ESAL*. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai umur sisa perkerasan. Dari analisis repetisi beban izin sebelum perkerasan mengalami kerusakan, pada perkerasan eksisting dengan pendekatan elastik diketahui bahwa nilai repetisi beban izin untuk kerusakan *fatigue cracking* (Nf), *rutting* (Nr) dan *permanent deformation* (Nd) secara berurutan adalah 39.642.904,98 *ESAL*, 41.786.265,02 *ESAL*, dan 22.548.474,17 *ESAL*. Sehingga dapat diartikan bahwa perkerasan eksisting secara elastik terhindar dari kerusakan jenis *fatigue cracking* dan *rutting* selama umur layannya karena nilai Nf > Np dan Nr > Np. Namun, perkerasan eksisting secara elastik akan mengalami kerusakan *permanent deformation* karena nilai repetisi beban izin untuk kerusakan deformasi permanen memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai lalu lintas rencana. Dengan demikian perkerasan eksisting tidak mampu mengakomodasi beban lalu lintas selama umur rencana jalan.

Analisis repetisi beban izin pada perkerasan eksisting dengan pendekatan viskoelastik diperoleh nilai untuk kerusakan *fatigue cracking* (Nf), *rutting* (Nr) dan *permanent deformation* (Nd) secara berurutan adalah sebesar 4.076.868,28 *ESAL*,

6.115.657,08 *ESAL* dan 16.509.053,77 *ESAL*. Sedangkan nilai lalu lintas rencana (Np) selama umur pelayanan jalan sebesar 33.106.914,465 *ESAL*. Sehingga dapat diartikan bahwa perkerasan eksisting secara viskoelastik tidak mampu menahan repetisi beban selama umur pelayanan jalan yaitu selama 20 tahun. Perkerasan eksisting secara viskoelastik hanya akan mampu menahan kerusakan retak lelah selama 3 tahun, retak alur selama 4 tahun dan deformasi permanen selama 11 tahun setelah jalan beroperasi Berikut merupakan rekapitulasi sisa umur pelayanan perkerasan yang ditunjukkan pada Tabel 5.29 di bawah ini.

**Tabel 5. 29 Perbandingan Nilai Sisa Umur Pelayanan Perkerasan**

| Perkerasan | Sisa Umur (tahun) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Fatigue Cracking* | | *Rutting* | | *Permanent Deformation* | |
| | E | V | E | V | E | V |
| Eksisting | 22 | 3 | 23 | 4 | 14 | 11 |
| *AASHTO* 1993 | 9 | 3 | 62 | 31 | 16 | 11 |
| Alternatif | 53 | 22 | >100 | 98 | 79 | 62 |

Data dari Tabel 5.32 diatas memberikan informasi bahwa pada perkerasan eksisting dengan pendekatan elastik kerusakan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke-23, *rutting* tahun ke-24 dan *permanent deformation* tahun ke-15. Sedangkan dengan pendekatan viskoelastik perkerasan eksisting mengalami kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke-4, *rutting* tahun ke-5 dan *permanent deformation* tahun ke-12 setelah jalan beroperasi. Data tersebut menjelaskan bahwa struktur perkerasan eksisting secara viskoelastik tidak mampu menahan beban repetisi lalu lintas selama umur pelayanan jalan. Namun, secara elastik perkerasan eksisting hanya tidak mampu untuk menahan kerusakan *permanent deformation*. Selanjutnya pada perkerasan metode *AASHTO* 1993 diketahui bahwa baik secara elastik maupun viskoelastik perkerasan ini hanya mampu menahan kerusakan *rutting* selama masa layannya. Kerusakan *fatigue cracking* terjadi pada tahun ke-10 jika ditinjau secara elastik dan pada tahun ke-4 jika tinjaun secara viskoelastik. Begitu pula pada kerusakan *permanent deformation* dimana secara elastik terjadi kerusakan pada tahun ke-17 dan pada tahun ke-12 jika ditinjau secara viskoelastik. Kemudian pada

perkerasan alternatif terlihat bahwa dengan menambahkan ketebalan pada lapisan permukaan, perkerasan alternatif ini memiliki nilai umur sisa yang lebih tinggi daripada perkerasan metode *AASHTO* 1993 dan perkerasan eksisting. Sehingga dapat dikatakan bahwa perkerasan alternatif merupakan perkerasan yang optimal dalam menahan beban lalu lintas selama umur rencana pada struktur perkerasan.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis kinerja yang telah dilakukan pada perkerasan jalan Tawang-Ngalang segmen II dan III dan desain struktur perkerasan menggunakan metode *AASHTO* 1993 serta perkerasan alternatif dapat ditarik kesimpulan seperti dibawah ini.

1. Analisis perhitungan untuk desain perkerasan menggunakan metode *AASHTO* 1993 menghasilkan tebal perkerasan dengan tebal lapis permukaan sebesar 21 cm, tebal lapis *base* dengan material ATB sebesar 5 cm, dan tebal lapis *subbase* dengan material batu pecah sebesar 19 cm. Sehingga total tebal perkerasan yang didapatkan dengan metode *AASHTO* 1993 adalah sebesar 45 cm.
2. Kinerja pada struktur perkerasan eksisting secara elastik tidak mampu mengakomodasi beban lalu lintas selama umur rencana jalan karena akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-15. Sedangkan perkerasan eksisting secara viskoelastik tidak mampu menahan repetisi beban selama umur rencana. Selanjutnya untuk perkerasan metode *AASHTO* 1993 baik secara elastik dan viskoelastik tidak mampu untuk menahan repetisi beban untuk kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation*. Namun perkerasan metode *AASHTO* 1993 mampu untuk tidak mengalami kerusakan *rutting* selama umur rencananya. Struktur perkerasan yang selama umur rencananya tidak mengalami kerusakan adalah struktur perkerasan alternatif.
3. Analisis sisa umur layan pada perkerasan menunjukkan bahwa umur layan pada pendekatan elastik relatif memiliki nilai umur yang lebih panjang daripada perkerasan yang dianalisis dengan pendekatan viskoelastik. Berdasarkan hasil perbandingkan umur sisa layan yang diperoleh, stuktur perkerasan alternatif merupakan struktur perkerasan yang memiliki nilai umur sisa pelayanan yang lebih panjang daripada perkerasan eksisting dan *AASHTO* 1993.

## 6.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini.

1. Disarankan untuk menghitung kembali kinerja pada jalan Tawang-Ngalang dengan menggunakan data LHR di ruas jalan tersebut jika sudah ada data LHRnya.
2. Disarankan untuk menganalisis nilai *creep compliance* secara manual.
3. Disarankan untuk memperhitungkan perbandingan jumlah biaya berdasarkan hasil desain perkerasan yang dibuat.

# DAFTAR PUSTAKA


American Association of State Highway Transportation Officials, 1993. *Guide for Design Pavement Structures.* Washington D.C.: s.n.

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017.* Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI - 2.3.26.1987, UDC: 625.73 (02).* Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.

Departemen Pekerjaan Umum, 1990. *Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan, No.008/T/BNKT/1990.* s.l.:Binkot, Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002. *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur, Pedoman Konstruksi Bangunan, Pt T-01-2002-B.* s.l.:Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Dinas Pariwisata Kabupaten Gunungkidul, 2024. *Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul.* [Online] Available at: https://gunungkidulkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTI0IzI=/jumlah-wisawatan.html [Accessed 20 Maret 2024].

Hadi, M. A. dan Fauziah, M., 2022. Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan Antara Campuran Superpave Dan AC-WC Menggunakan Permodelan Viskoelastik Dan Elastik. *Teknisia,* Volume 27, No. 2, pp. 71-82.

Hardiyatmo, H. C., 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan Dan Penyelidikan Tanah.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Harsvardan, V. R. dan Tajudin, A. N., 2021. Desain Ulang Dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil,* Volume 4, No. 1, pp. 109 - 118.

Huang, Y. H., 2004. *Pavement Analysis and Design.* s.l.:Pearson Education, 2nd Edition.

Isnaini, A. Y., Suparma, L. B. dan Utomo, S. H. T., 2019. Perancangan Perkerasan Jalan Lingkar Kota Kabupaten Wonogiri. *Jurnal HPJI,* Volume 5, No. 2, pp. 119 - 128.

Khamid, A., Feriska, Y., Taufiq, M., Darwoto., dan Wahidin., 2023. Pengaruh Volume Kendaraan Terhadap Tingkat Kerusakan Jalan Pada Perkerasan Rigid Di Jatibarang - Brebes. *Jurnal Penelitian Sains, Ketekniksipilan dan Informatika,* Volume 1, No. 3, pp. 91 - 107.

Kholiq, A., 2014. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Antara Bina Marga Dan AASHTO'93 (Studi Kasus : Jalan Lingkar Utara Panyingkiran - Baribis Majalengka). *Jurnal J-ENSITEC,* Volume 1, pp. 43 - 51.

Krisdiyanto, A., Dewi, K. dan Wijayanto, M. A., 2022. Analisa Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993 Dan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017. *Jurnal Teknik Sipil,* Volume 15, No. 1, pp. 22-33.

Lia, N. dan Mahardi, P., 2022. EVALUASI KINERJA STRUKTUR PERKERASAN JALAN LENTUR MENGGUNAKAN APLIKASI KENPAVE. *Rekayasa Teknik Sipil,* Volume 4, No. 2, pp. 1-10.

Marlina, E., Frans, J. H. dan Nasjono, J. K., 2023. Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program KENPAVE. *Jurnal Teknik Sipil,* Volume 12, No. 2, pp. 173-184.

Maryam dan Putra, K. H., 2020. Analsis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus : Jalan Luar Lingkar Timur Surabaya). *Jurnal Teknologi dan Manajemen,* Volume 1, No. 2, pp. 125 - 134.

Ottu, M. A., I. dan Anggorowati, V. D. A., 2023. Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 Pada Jalan Denggung-Wonorejo,Sleman. *Jurnal Sains dan Terapan,* Volume 2, No. 2, pp. 86-93.

Pavement Interactive, Online. *Flexible Pavement Mechanistic Models.* [Online] Available at: https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/structural-design/flexible-pavement-mechanistic-models/

Republik Indonesia, 2004. *Undang-undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004 Tentang Jalan.* Jakarta: Pemerintah Indonesia.

Rinepta, A. G., 2024. *Detik jogja.* [Online] Available at: https://www.detik.com/jogja/bisnis/d-7156772/baru-diresmikan-4-hari-jalan-tawang-ngalang-sudah-retak-ini-kata-dinas-pu

Setiawan M, D., Rahmawati, A. dan Setiawan, I. B., 2018. Perbandingan Tebal dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE dan Metode Asphalt Institute. *SEMESTA TEKNIKA,* Volume 21, No. 2, pp. 106-113.

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

Sukirman, S., 2010. *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur.* Bandung: Nova.

Wesli, Akbar, S. J. dan Irwana, 2023. Studi Komparasi Metode American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1993

dan Metode Bina Marga 2017 Pada Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan. *Teras Jurnal,* Volume 13, No. 1, pp. 253-262.

Yoder, E. J. & Witczak, M. W., 1975. *Principles of Pavement Design, 2-Edition.* New York: John Willey & Son, Inc.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Data Volume LHR

### Tabel Volume LHR

| Linkid | LINK-NAMA RUAS | TAHUN SMD | Sum of Veh1 | Sum of Veh2 | Sum of Veh3 | Sum of Veh4 | Sum of Veh5a | Sum of Veh5b | Sum of Veh6a | Sum of Veh6b | Sum of Veh7a | Sum of Veh7b | Sum of Veh7c | Sum of Veh8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26009 | PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL | 2019 | 7684 | 682 | 2089 | 48 | 165 | 58 | 27 | 378 | 29 | 3 | 0 | 7 |
| | | 2022 | 11759 | 3012 | 106 | 879 | 97 | 111 | 242 | 811 | 102 | 0 | 0 | 42 |

**Lampiran 2 Data Jumlah Hari Hujan**

**Tabel Jumlah Hari Hujan**

| Bulan | Tahun | | | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| Januari | 22 | 21 | 23 | 22 | 23 | Hari |
| Februari | 12 | 19 | 22 | 22 | 19 | Hari |
| Maret | 16 | 19 | 19 | 15 | 26 | Hari |
| April | 13 | 11 | 12 | 15 | 13 | Hari |
| Mei | 8 | 2 | 12 | 6 | 16 | Hari |
| Juni | 1 | 0 | 6 | 17 | 12 | Hari |
| Juli | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | Hari |
| Agustus | 0 | 0 | 3 | 4 | 5 | Hari |
| September | 3 | 0 | 3 | 7 | 6 | Hari |
| Oktober | 0 | 0 | 14 | 5 | 19 | Hari |
| November | 9 | 9 | 16 | 26 | 23 | Hari |
| Desember | 15 | 22 | 19 | 22 | 18 | Hari |
| Jumlah Hari Hujan | 99 | 103 | 150 | 163 | 182 | Hari |

**Lampiran 3 Data Tanah (CBR)**

**Tabel Data CBR**

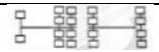
| CBR DESIGN DCP | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NO. | RUAS JALAN | PANJANG (M) | JUMLAH DATA | NILAI CBR RATA-RATA TERKOREKSI (%) | STANDART DEVIASI | CBR DESIGN (%) |
| 1 | TAWANG-NGALANG | 9.489 | 10 | 7,46 | 0,22 | 7,17 |

**Lampiran 4 Perhitungan EALF**

**Tabel Hasil Perhitungan *EALF***

| Jenis Kendaraan | Konfigurasi | Beban (ton) | Distribusi Pembebanan | | | | *EALF* | | | | Σ*EALF* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | STRT | STRG | SGRG | STrRG | STRT | STRG | SGRG | STrRG | |
| Sedan, Jeep, Station Wagon (1.1) |  | 2 | 50% | | | | 0,002 | | | | 0,002 |
| Oplet, Pick Up, Combi dan Minibus (1.1) |  | 3,5 | 50% | | | | 0,022 | | | | 0,022 |
| Pick Up, Mickro Truk Dan Mobil Hantaran (1.1) |  | 3,5 | 50% | | | | 0,022 | | | | 0,022 |
| Bus Kecil (1.1) |  | 5 | 50% | | | | 0,092 | | | | 0,092 |
| Bus Besar (1.2) |  | 9 | 34% | 66% | | | 0,103 | 0,281 | | | 0,384 |
| Truk 2 Sumbu 4 Roda (1.1) |  | 8,3 | 50% | | | | 0,695 | | | | 0,695 |
| Truk 2 Sumbu 6 Roda (1.2) |  | 18,2 | 34% | 66% | | | 1,719 | 4,701 | | | 6,420 |
| Truk 3 Sumbu (1.22) |  | 25 | 25% | | 75% | | 1,789 | | 3,442 | | 5,230 |

**Lanjutan Tabel Hasil Perhitungan EALF**

| Jenis Kendaraan | Konfigurasi | Beban (ton) | Distribusi Pembebanan | | | | *EALF* | | | | Σ*EALF* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | STRT | STRG | SGRG | STrRG | STRT | STRG | SGRG | STrRG | |
| Truk Gandeng |  | 46 | 13% | 22% | 43% | | 1,519 | 4,516 | 4,455 | | 10,490 |
| Truk Semi Trailer (1.22.22) |  | 46 | 13% | | 43% | | 1,519 | | 8,910 | | 10,429 |

# Lampiran 5 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Eksisting Elastik

```
INPUT FILE NAME  -D:\KENPAVE\COBA Skripsi\BM EKSISTING ELASTIS.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -BM Eksisting Elastis

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 10  8  30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,4  0,4  0,35  0,45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  9,9997  10  48  48,0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1,200E+06   2  1,600E+06
   3  3,150E+05   4  1,500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0,000   0,000  2   0,000  10,000
  3   0,000  16,500

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1

 POINT    VERTICAL   VERTICAL   VERTICAL     MAJOR       MINOR  INTERMEDIATE
                                           PRINCIPAL    PRINCIAL  P. STRESS
  NO.    COORDINATE    DISP.     STRESS      STRESS      STRESS  (HORIZONTAL
                                (STRAIN)    (STRAIN)    (STRAIN)  P. STRAIN)
  1       0,00000    0,02895     550,000     678,620     548,494     631,483
          (STRAIN)              2,038E-05   1,722E-04   2,038E-05   1,172E-04
  1       9,99970    0,02712     346,419     348,991     116,653     123,288
          (STRAIN)              2,078E-04   2,108E-04  -6,022E-05  -6,022E-05
  1      10,00000    0,02712     346,408     348,980     116,646     123,283
          (STRAIN)              2,078E-04   2,108E-04  -6,022E-05  -6,022E-05
  1      48,00000    0,01843      35,471      36,073     -29,989     -23,598
          (STRAIN)              1,715E-04   1,741E-04  -1,091E-04  -1,091E-04
  1      48,00030    0,01843      35,470      36,594       1,813       3,790
          (STRAIN)              2,163E-04   2,272E-04  -1,091E-04  -1,091E-04
  2       0,00000    0,02832     550,000     713,063     556,297     656,805
          (STRAIN)              6,959E-06   1,899E-04   6,958E-06   1,242E-04
  2       9,99970    0,02737     206,095     264,411      69,787      72,622
          (STRAIN)              1,048E-04   1,729E-04  -5,419E-05  -5,088E-05
  2      10,00000    0,02737     206,090     264,404      69,781      72,616
          (STRAIN)              1,048E-04   1,729E-04  -5,419E-05  -5,088E-05
  2      48,00000    0,01907      38,136      38,227     -32,232     -26,376
          (STRAIN)              1,861E-04   1,865E-04  -1,155E-04  -1,155E-04
  2      48,00030    0,01907      38,135      38,309       1,861       4,325
          (STRAIN)              2,352E-04   2,368E-04  -1,155E-04  -1,155E-04
  3       0,00000    0,02620       0,000     253,897      -2,029     124,885
          (STRAIN)             -1,280E-04   1,706E-04  -1,280E-04   2,011E-05
  3       9,99970    0,02704     101,938     131,992      44,573     101,938
          (STRAIN)              2,609E-05   6,116E-05  -4,083E-05  -4,083E-05
  3      10,00000    0,02704     101,940     131,981      44,567     101,940
          (STRAIN)              2,610E-05   6,115E-05  -4,083E-05  -4,083E-05
  3      48,00000    0,01919      38,611      38,611     -32,637     -26,840
          (STRAIN)              1,887E-04   1,887E-04  -1,167E-04  -1,167E-04
  3      48,00030    0,01919      38,611      38,611       1,869       4,440
          (STRAIN)              2,385E-04   2,385E-04  -1,167E-04  -1,167E-04
```

# Lampiran 6 Hasil KENPAVE Perkerasan Eksisting Viskoelastik

```
INPUT FILE NAME  -D:\KENPAVE\COBA Skripsi\BM EKSISTING VISKOELASTIS.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -BM Eksisting Viscoelastis

MATL = 3 FOR VISCOELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 10  8  30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,4  0,4  0,35  0,45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  9,9997  10  48  48,0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1,200E+06   2  1,600E+06
   3  3,150E+05   4  1,500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0,000   0,000  2   0,000  10,000
  3   0,000  16,500

DURATION OF MOVING LOAD (DUR) =  0,1
NUMBER OF VISCOELASTIC LAYER (NVL)         =  2
LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) =  1  2
CREEP TIMES (TYME) ARE: 0,001  0,003  0,01  0,03  0,1  0,3  1  3  10  30  100

FOR LAYER 1  TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) =  0,113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) =  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25  ARE:
  9,162E-07  9,303E-07  9,778E-07  1,098E-06  1,393E-06  1,746E-06  2,152E-06
  2,599E-06  3,276E-06  5,095E-06  1,146E-05

FOR LAYER 2  TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) =  0,113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) =  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25  ARE:
  9,162E-07  9,303E-07  9,778E-07  1,098E-06  1,393E-06  1,746E-06  2,152E-06
  2,599E-06  3,276E-06  5,095E-06  1,146E-05

LAYER NO. 1  DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25  ARE:
  4,399E-07 -1,133E-06  6,852E-07 -2,827E-06  9,932E-06 -1,801E-05  1,186E-05

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05

LAYER NO. 2  DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25  ARE:
  4,399E-07 -1,133E-06  6,852E-07 -2,827E-06  9,932E-06 -1,801E-05  1,186E-05

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05

FOR PERIOD NO. 1  LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1  25  2  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1  AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05
```

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:
9,334E-07 9,233E-07 9,445E-07 1,135E-06 1,392E-06 1,603E-06 2,383E-06
2,777E-06 2,606E-06 5,728E-06 1,122E-05

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

| POINT NO. | VERTICAL COORDINATE | VERTICAL DISP. | VERTICAL STRESS (STRAIN) | MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN) | MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN) | INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,00000 | 0,03196 | 550,000 | 663,559 | 548,437 | 621,859 |
| | (STRAIN) | | 4,066E-05 | 2,113E-04 | 3,802E-05 | 1,465E-04 |
| 1 | 9,99970 | 0,02932 | 345,254 | 346,629 | 56,500 | 71,270 |
| | (STRAIN) | | 3,192E-04 | 3,212E-04 | -1,202E-04 | -1,202E-04 |
| 1 | 10,00000 | 0,02932 | 345,244 | 346,619 | 56,491 | 71,261 |
| | (STRAIN) | | 3,192E-04 | 3,212E-04 | -1,202E-04 | -1,202E-04 |
| 1 | 48,00000 | 0,01899 | 37,796 | 38,467 | -32,460 | -25,170 |
| | (STRAIN) | | 1,833E-04 | 1,862E-04 | -1,178E-04 | -1,178E-04 |
| 1 | 48,00030 | 0,01899 | 37,796 | 39,045 | 1,679 | 3,959 |
| | (STRAIN) | | 2,313E-04 | 2,434E-04 | -1,178E-04 | -1,178E-04 |
| 2 | 0,00000 | 0,03073 | 550,000 | 682,326 | 556,275 | 620,924 |
| | (STRAIN) | | 4,133E-05 | 2,281E-04 | 3,903E-05 | 1,342E-04 |
| 2 | 9,99970 | 0,02922 | 211,863 | 258,676 | 34,459 | 68,507 |
| | (STRAIN) | | 1,651E-04 | 2,359E-04 | -1,047E-04 | -1,047E-04 |
| 2 | 10,00000 | 0,02922 | 211,859 | 258,669 | 34,452 | 68,504 |
| | (STRAIN) | | 1,651E-04 | 2,359E-04 | -1,047E-04 | -1,047E-04 |
| 2 | 48,00000 | 0,01968 | 40,732 | 40,831 | -34,984 | -28,169 |
| | (STRAIN) | | 1,994E-04 | 1,998E-04 | -1,251E-04 | -1,251E-04 |
| 2 | 48,00030 | 0,01968 | 40,731 | 40,922 | 1,708 | 4,583 |
| | (STRAIN) | | 2,521E-04 | 2,539E-04 | -1,251E-04 | -1,251E-04 |
| 3 | 0,00000 | 0,02783 | 0,000 | 216,105 | -2,090 | 76,581 |
| | (STRAIN) | | -1,258E-04 | 1,993E-04 | -1,277E-04 | -1,131E-05 |
| 3 | 9,99970 | 0,02863 | 114,485 | 146,637 | 23,417 | 114,485 |
| | (STRAIN) | | 5,051E-05 | 9,939E-05 | -8,796E-05 | -8,796E-05 |
| 3 | 10,00000 | 0,02863 | 114,487 | 146,629 | 23,411 | 114,487 |
| | (STRAIN) | | 5,052E-05 | 9,939E-05 | -8,796E-05 | -8,796E-05 |
| 3 | 48,00000 | 0,01981 | 41,249 | 41,249 | -35,435 | -28,654 |
| | (STRAIN) | | 2,022E-04 | 2,022E-04 | -1,265E-04 | -1,265E-04 |
| 3 | 48,00030 | 0,01981 | 41,249 | 41,249 | 1,713 | 4,719 |
| | (STRAIN) | | 2,557E-04 | 2,557E-04 | -1,265E-04 | -1,265E-04 |

# Lampiran 7 Hasil KENPAVE Metode AASHTO 1993 Elastik

```
INPUT FILE NAME  -D:\KENPAVE\COBA Skripsi\AASHTO 93 ELASTIS.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -AASHTO 93 ELASTIS

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 21  5  19
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,4  0,38  0,35  0,45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  20,9997  21  45  45,0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1,200E+06   2  1,500E+06
   3  3,150E+05   4  1,500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0,000   0,000  2   0,000  10,000
  3   0,000  16,500

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1

 POINT    VERTICAL   VERTICAL   VERTICAL     MAJOR       MINOR  INTERMEDIATE
                                           PRINCIPAL    PRINCIAL  P. STRESS
  NO.    COORDINATE    DISP.     STRESS      STRESS      STRESS  (HORIZONTAL
                                (STRAIN)    (STRAIN)    (STRAIN)  P. STRAIN)
  1       0,00000    0,02673     550,000     635,431     548,499     604,004
          (STRAIN)              4,393E-05   1,454E-04   4,394E-05   1,087E-04
  1      20,99970    0,02270     127,264     131,556     -61,532     -41,165
          (STRAIN)              1,389E-04   1,439E-04  -8,141E-05  -8,141E-05
  1      21,00000    0,02270     127,260     131,552     -61,536     -41,168
          (STRAIN)              1,389E-04   1,439E-04  -8,141E-05  -8,141E-05
  1      45,00000    0,01829      34,837      35,407     -29,361     -22,845
          (STRAIN)              1,680E-04   1,704E-04  -1,072E-04  -1,072E-04
  1      45,00030    0,01829      34,836      35,900       1,846       3,924
          (STRAIN)              2,117E-04   2,220E-04  -1,072E-04  -1,072E-04
  2       0,00000    0,02576     550,000     659,157     556,302     618,810
          (STRAIN)              3,759E-05   1,576E-04   3,760E-05   1,105E-04
  2      20,99970    0,02343     106,971     107,772     -69,660     -29,424
          (STRAIN)              1,219E-04   1,228E-04  -8,417E-05  -8,417E-05
  2      21,00000    0,02343     106,968     107,769     -69,664     -29,429
          (STRAIN)              1,219E-04   1,228E-04  -8,417E-05  -8,417E-05
  2      45,00000    0,01889      37,255      37,337     -31,538     -25,209
          (STRAIN)              1,812E-04   1,816E-04  -1,136E-04  -1,136E-04
  2      45,00030    0,01889      37,255      37,411       1,826       4,512
          (STRAIN)              2,289E-04   2,304E-04  -1,136E-04  -1,136E-04
  3       0,00000    0,02355       0,000     195,832      -2,029      81,473
          (STRAIN)             -9,413E-05   1,367E-04  -9,413E-05   3,293E-06
  3      20,99970    0,02349      94,646      94,646     -71,777     -23,373
          (STRAIN)              1,106E-04   1,106E-04  -8,357E-05  -8,357E-05
  3      21,00000    0,02349      94,645      94,645     -71,781     -23,378
          (STRAIN)              1,106E-04   1,106E-04  -8,357E-05  -8,357E-05
  3      45,00000    0,01901      37,657      37,657     -31,911     -25,538
          (STRAIN)              1,834E-04   1,834E-04  -1,148E-04  -1,148E-04
  3      45,00030    0,01901      37,657      37,657       1,821       4,646
          (STRAIN)              2,316E-04   2,316E-04  -1,148E-04  -1,148E-04
```

# Lampiran 8 Hasil KENPAVE Metode AASHTO 1993 Viskoelastik

```
INPUT FILE NAME  -D:\KENPAVE\COBA Skripsi\AASHTO 93 VISKOELASTIS.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -AASHTO 93 VISKOELASTIS

MATL = 3 FOR VISCOELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 21  5  19
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,4  0,38  0,35  0,45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  20,9997  21  45  45,0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1,200E+06   2  1,500E+06
   3  3,150E+05   4  1,500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0,000   0,000  2   0,000  10,000
  3   0,000  16,500

DURATION OF MOVING LOAD (DUR) =  0,1
NUMBER OF VISCOELASTIC LAYER (NVL)         =  2
LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) =  1  2
CREEP TIMES (TYME) ARE: 0,001  0,003  0,01  0,03  0,1  0,3  1  3  10  30  100

FOR LAYER 1  TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) =  0,113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) =  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25  ARE:
  9,162E-07  9,303E-07  9,778E-07  1,098E-06  1,393E-06  1,746E-06  2,152E-06
  2,599E-06  3,276E-06  5,095E-06  1,146E-05

FOR LAYER 2  TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) =  0,113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) =  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25  ARE:
  9,162E-07  9,303E-07  9,778E-07  1,098E-06  1,393E-06  1,746E-06  2,152E-06
  2,599E-06  3,276E-06  5,095E-06  1,146E-05

LAYER NO. 1  DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25  ARE:
  4,399E-07 -1,133E-06  6,852E-07 -2,827E-06  9,932E-06 -1,801E-05  1,186E-05

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05

LAYER NO. 2  DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25  ARE:
  4,399E-07 -1,133E-06  6,852E-07 -2,827E-06  9,932E-06 -1,801E-05  1,186E-05

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05

FOR PERIOD NO. 1  LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1  25  2  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1  AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
```

2,777E-06 2,606E-06 5,728E-06 1,122E-05

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:
9,334E-07 9,233E-07 9,445E-07 1,135E-06 1,392E-06 1,603E-06 2,383E-06
2,777E-06 2,606E-06 5,728E-06 1,122E-05

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

| POINT NO. | VERTICAL COORDINATE | VERTICAL DISP. | VERTICAL STRESS (STRAIN) | MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN) | MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN) | INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,00000 | 0,02959 | 550,000 | 614,019 | 548,480 | 584,738 |
| | (STRAIN) | | 7,705E-05 | 1,741E-04 | 7,520E-05 | 1,285E-04 |
| 1 | 20,99970 | 0,02414 | 134,512 | 137,920 | -63,634 | -40,469 |
| | (STRAIN) | | 1,891E-04 | 1,943E-04 | -1,104E-04 | -1,104E-04 |
| 1 | 21,00000 | 0,02414 | 134,508 | 137,916 | -63,638 | -40,473 |
| | (STRAIN) | | 1,891E-04 | 1,943E-04 | -1,104E-04 | -1,104E-04 |
| 1 | 45,00000 | 0,01906 | 37,880 | 38,535 | -32,765 | -25,212 |
| | (STRAIN) | | 1,839E-04 | 1,868E-04 | -1,188E-04 | -1,188E-04 |
| 1 | 45,00030 | 0,01906 | 37,879 | 39,099 | 1,564 | 3,984 |
| | (STRAIN) | | 2,322E-04 | 2,440E-04 | -1,188E-04 | -1,188E-04 |
| 2 | 0,00000 | 0,02818 | 550,000 | 635,741 | 556,287 | 596,395 |
| | (STRAIN) | | 7,124E-05 | 1,891E-04 | 6,922E-05 | 1,282E-04 |
| 2 | 20,99970 | 0,02492 | 115,372 | 115,999 | -67,740 | -21,305 |
| | (STRAIN) | | 1,628E-04 | 1,638E-04 | -1,135E-04 | -1,135E-04 |
| 2 | 21,00000 | 0,02492 | 115,370 | 115,996 | -67,744 | -21,309 |
| | (STRAIN) | | 1,628E-04 | 1,638E-04 | -1,135E-04 | -1,135E-04 |
| 2 | 45,00000 | 0,01973 | 40,630 | 40,723 | -35,274 | -27,871 |
| | (STRAIN) | | 1,990E-04 | 1,994E-04 | -1,263E-04 | -1,263E-04 |
| 2 | 45,00030 | 0,01973 | 40,629 | 40,807 | 1,527 | 4,673 |
| | (STRAIN) | | 2,517E-04 | 2,535E-04 | -1,263E-04 | -1,263E-04 |
| 3 | 0,00000 | 0,02528 | 0,000 | 171,885 | -2,077 | 58,339 |
| | (STRAIN) | | -9,952E-05 | 1,597E-04 | -1,013E-04 | -1,199E-05 |
| 3 | 20,99970 | 0,02497 | 103,396 | 103,396 | -67,942 | -11,839 |
| | (STRAIN) | | 1,460E-04 | 1,460E-04 | -1,124E-04 | -1,124E-04 |
| 3 | 21,00000 | 0,02497 | 103,395 | 103,395 | -67,946 | -11,844 |
| | (STRAIN) | | 1,460E-04 | 1,460E-04 | -1,124E-04 | -1,124E-04 |
| 3 | 45,00000 | 0,01986 | 41,085 | 41,085 | -35,701 | -28,233 |
| | (STRAIN) | | 2,015E-04 | 2,015E-04 | -1,276E-04 | -1,276E-04 |
| 3 | 45,00030 | 0,01986 | 41,084 | 41,084 | 1,519 | 4,830 |
| | (STRAIN) | | 2,548E-04 | 2,548E-04 | -1,276E-04 | -1,276E-04 |

# Lampiran 9 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Alternatif Elastik

```
INPUT FILE NAME  -D:\KENPAVE\COBA Skripsi\COBA ALTERNATIF 2 ELASTIS.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -COBA ALTERNATIF 2 ELASTIS

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 32  12  20
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,4  0,4  0,35  0,45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  31,9997  32  64  64,0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1,200E+06   2  1,600E+06
   3  3,150E+05   4  1,500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0,000   0,000  2   0,000  10,000
  3   0,000  16,500

PERIOD NO.  1   LOAD GROUP NO.  1

 POINT    VERTICAL   VERTICAL   VERTICAL     MAJOR       MINOR  INTERMEDIATE
                                           PRINCIPAL    PRINCIAL  P. STRESS
  NO.    COORDINATE    DISP.     STRESS      STRESS      STRESS  (HORIZONTAL
                                (STRAIN)    (STRAIN)    (STRAIN)  P. STRAIN)
  1       0,00000    0,02099     550,000     559,303     543,058     548,702
          (STRAIN)              8,955E-05   1,022E-04   8,321E-05   8,337E-05
  1      31,99970    0,01567      77,632      84,563     -12,361      -8,596
          (STRAIN)              6,937E-05   7,745E-05  -3,562E-05  -3,562E-05
  1      32,00000    0,01567      77,630      84,562     -12,361      -8,596
          (STRAIN)              6,937E-05   7,745E-05  -3,562E-05  -3,562E-05
  1      64,00000    0,01294      17,960      18,184     -15,242     -13,000
          (STRAIN)              8,815E-05   8,911E-05  -5,415E-05  -5,415E-05
  1      64,00030    0,01294      17,960      18,381       0,822       1,494
          (STRAIN)              1,115E-04   1,156E-04  -5,415E-05  -5,415E-05
  2       0,00000    0,01961     550,000     574,834     548,779     556,151
          (STRAIN)              8,909E-05   1,107E-04   8,032E-05   8,020E-05
  2      31,99970    0,01612      77,695      78,211     -14,325      -0,716
          (STRAIN)              6,959E-05   7,019E-05  -3,777E-05  -3,777E-05
  2      32,00000    0,01612      77,693      78,209     -14,326      -0,717
          (STRAIN)              6,959E-05   7,019E-05  -3,777E-05  -3,777E-05
  2      64,00000    0,01320      18,938      18,973     -16,141     -14,301
          (STRAIN)              9,391E-05   9,406E-05  -5,643E-05  -5,643E-05
  2      64,00030    0,01320      18,938      19,005       0,784       1,548
          (STRAIN)              1,191E-04   1,197E-04  -5,643E-05  -5,643E-05
  3       0,00000    0,01733       0,000     109,990      -2,029       9,792
          (STRAIN)             -4,162E-05   8,907E-05  -4,162E-05  -2,783E-05
  3      31,99970    0,01620      75,948      75,948     -15,007       0,566
          (STRAIN)              6,810E-05   6,810E-05  -3,801E-05  -3,801E-05
  3      32,00000    0,01620      75,946      75,946     -15,008       0,564
          (STRAIN)              6,810E-05   6,810E-05  -3,801E-05  -3,801E-05
  3      64,00000    0,01325      19,115      19,115     -16,309     -14,542
          (STRAIN)              9,496E-05   9,496E-05  -5,686E-05  -5,686E-05
  3      64,00030    0,01325      19,115      19,115       0,775       1,558
          (STRAIN)              1,204E-04   1,204E-04  -5,685E-05  -5,685E-05
```

# Lampiran 10 Hasil *KENPAVE* Perkerasan Alternatif Viskoelastik

```
INPUT FILE NAME  -D:\KENPAVE\COBA Skripsi\COBA ALTERNATIF 2 VISKOELASTIS.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -COBA ALTERNATIF 2 VISKOELASTIS

MATL = 3 FOR VISCOELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 32  12  20
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,4  0,4  0,35  0,45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  31,9997  32  64  64,0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1,200E+06   2  1,600E+06
   3  3,150E+05   4  1,500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0,000   0,000  2   0,000  10,000
  3   0,000  16,500

DURATION OF MOVING LOAD (DUR) =  0,1
NUMBER OF VISCOELASTIC LAYER (NVL)         =  2
LAYER NUMBERS WHICH ARE VISCOELASTIC (LNV) =  1  2
CREEP TIMES (TYME) ARE: 0,001  0,003  0,01  0,03  0,1  0,3  1  3  10  30  100

FOR LAYER 1  TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) =  0,113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) =  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25  ARE:
  9,162E-07  9,303E-07  9,778E-07  1,098E-06  1,393E-06  1,746E-06  2,152E-06
  2,599E-06  3,276E-06  5,095E-06  1,146E-05

FOR LAYER 2  TIME TEMPERATURE SHIFT FACTOR (BETA) =  0,113
REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) =  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP. (TEMREF) OF 25  ARE:
  9,162E-07  9,303E-07  9,778E-07  1,098E-06  1,393E-06  1,746E-06  2,152E-06
  2,599E-06  3,276E-06  5,095E-06  1,146E-05

LAYER NO. 1  DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25  ARE:
  4,399E-07 -1,133E-06  6,852E-07 -2,827E-06  9,932E-06 -1,801E-05  1,186E-05

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05

LAYER NO. 2  DIRICHLET SERIES AT REFERENCE TEMPERATURE (TEMREF) OF 25  ARE:
  4,399E-07 -1,133E-06  6,852E-07 -2,827E-06  9,932E-06 -1,801E-05  1,186E-05

COMPUTED COMPLIANCES (CREEP) AT REFERENCE TEMP.(TEMREF) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05

FOR PERIOD NO. 1  LAYER NO. AND TEMPERATURE ARE: 1  25  2  25

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 1  AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25  ARE:
  9,334E-07  9,233E-07  9,445E-07  1,135E-06  1,392E-06  1,603E-06  2,383E-06
  2,777E-06  2,606E-06  5,728E-06  1,122E-05
```

CREEP COMPLIANCES (CREEP) OF LAYER 2 AT TEMPERATURE (TEMP) OF 25 ARE:
9,334E-07 9,233E-07 9,445E-07 1,135E-06 1,392E-06 1,603E-06 2,383E-06
2,777E-06 2,606E-06 5,728E-06 1,122E-05

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

| POINT NO. | VERTICAL COORDINATE | VERTICAL DISP. | VERTICAL STRESS (STRAIN) | MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN) | MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN) | INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,00000 | 0,02426 | 550,000 | 553,743 | 537,000 | 548,362 |
| | (STRAIN) | | 1,228E-04 | 1,300E-04 | 1,035E-04 | 1,035E-04 |
| 1 | 31,99970 | 0,01717 | 79,025 | 83,867 | -25,783 | -16,693 |
| | (STRAIN) | | 1,020E-04 | 1,093E-04 | -5,689E-05 | -5,689E-05 |
| 1 | 32,00000 | 0,01717 | 79,023 | 83,866 | -25,784 | -16,694 |
| | (STRAIN) | | 1,020E-04 | 1,093E-04 | -5,689E-05 | -5,689E-05 |
| 1 | 64,00000 | 0,01375 | 20,278 | 20,554 | -18,036 | -15,300 |
| | (STRAIN) | | 1,011E-04 | 1,023E-04 | -6,310E-05 | -6,310E-05 |
| 1 | 64,00030 | 0,01375 | 20,277 | 20,796 | 0,476 | 1,293 |
| | (STRAIN) | | 1,283E-04 | 1,333E-04 | -6,310E-05 | -6,310E-05 |
| 2 | 0,00000 | 0,02246 | 550,000 | 570,130 | 543,673 | 554,163 |
| | (STRAIN) | | 1,222E-04 | 1,426E-04 | 1,016E-04 | 9,919E-05 |
| 2 | 31,99970 | 0,01772 | 80,068 | 80,410 | -27,967 | -10,159 |
| | (STRAIN) | | 1,032E-04 | 1,038E-04 | -6,059E-05 | -6,059E-05 |
| 2 | 32,00000 | 0,01772 | 80,066 | 80,409 | -27,968 | -10,160 |
| | (STRAIN) | | 1,032E-04 | 1,038E-04 | -6,059E-05 | -6,059E-05 |
| 2 | 64,00000 | 0,01406 | 21,458 | 21,502 | -19,139 | -16,880 |
| | (STRAIN) | | 1,081E-04 | 1,083E-04 | -6,589E-05 | -6,589E-05 |
| 2 | 64,00030 | 0,01406 | 21,458 | 21,541 | 0,421 | 1,358 |
| | (STRAIN) | | 1,375E-04 | 1,383E-04 | -6,589E-05 | -6,589E-05 |
| 3 | 0,00000 | 0,01948 | 0,000 | 104,451 | -2,299 | 3,819 |
| | (STRAIN) | | -4,786E-05 | 1,116E-04 | -4,949E-05 | -4,139E-05 |
| 3 | 31,99970 | 0,01780 | 78,681 | 78,681 | -28,383 | -8,453 |
| | (STRAIN) | | 1,013E-04 | 1,013E-04 | -6,103E-05 | -6,103E-05 |
| 3 | 32,00000 | 0,01780 | 78,680 | 78,680 | -28,384 | -8,454 |
| | (STRAIN) | | 1,013E-04 | 1,013E-04 | -6,103E-05 | -6,103E-05 |
| 3 | 64,00000 | 0,01412 | 21,675 | 21,675 | -19,346 | -17,175 |
| | (STRAIN) | | 1,094E-04 | 1,094E-04 | -6,642E-05 | -6,642E-05 |
| 3 | 64,00030 | 0,01412 | 21,675 | 21,675 | 0,408 | 1,371 |
| | (STRAIN) | | 1,392E-04 | 1,392E-04 | -6,642E-05 | -6,642E-05 |

## Lampiran 11 Keterangan Plagiasi

Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia
Gedung Moh. Hatta
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.2301
F. (0274) 898444 psw.2091
E. perpustakaan@uii.ac.id
W. library.uii.ac.id

**SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI**
Nomor: 2555733712/Perpus./10/Dir.Perpus/XI/2024

*Bismillaahirrahmaanirrahiim*

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

| | |
|---|---|
| Nama | : Taufik Nur Arkan |
| Nomor Mahasiswa | : 20511169 |
| Pembimbing | : Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. |
| Fakultas / Prodi | : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Teknik Sipil |
| Judul Karya Ilmiah | : EVALUASI KINERJA PERKERASAN JALAN BARU DENGAN PENDEKATAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK PADA JALAN TAWANG-NGALANG |

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **9 (Sembilan) %.**

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 12/19/2024
Direktur

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
DIREKTORAT PERPUSTAKAAN
YOGYAKARTA

Muhammad Jamil, SIP.

**Lampiran 12 Foto Kerusakan Jalan**




segmen 2


segmen 3


Segmen 3