

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA PERKERASAN LENTUR DAN
NILAI SISA BERDASARKAN METODE BINA
MARGA 2017 MENGGUNAKAN PROGRAM
KENPAVE PADA RUAS JALAN TAWANG –
NGALANG SEGMENT I STA 0+000 – STA 1+950
(*PERFORMANCE EVALUATION OF FLEXIBLE
PAVEMENT BASED ON BINA MARGA 2017 METOD
BY USING KENPAVE SOFTWARE ON TAWANG -
NGALANG ROADS SEGMENT I STA 0+000 – STA
1+950*)**

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



**MUHAMMAD FARHAN ARRAHMAN
18511230**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA PERKERASAN LENTUR DAN NILAI SISA BERDASARKAN METODE BINA MARGA 2017 MENGGUNAKAN PROGRAM KENPAVE PADA RUAS JALAN TAWANG - NGALANG SEGMENT I STA 0+000 - STA 1+950 (PERFORMANCE EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT BASED ON BINA MARGA 2017 METHOD BY USING KENPAVE SOFTWARE ON TAWANG - NGALANG ROADS SEGMENT I STA 0+000 - STA 1+950)

Disusun Oleh :

MUHAMMAD FARHAN ARRAHMAN
18511230

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

Diuji pada tanggal : 29 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji :

Pembimbing

Miftahul F., S.T., M.T., Ph.D.

NIK : 955110103

Penguji I

Prayogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.

NIK : 205111303

Penguji II

Muh. Abdul Hadi, S.T., M.T.

NIK : 215111307

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)

NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 1 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Farhan Arrahman

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhannahu Wata'ala, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Kinerja Perkerasan Lentur dan Nilai Sisa Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program *KENPAVE* pada Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I Sta 0 + 000 – Sta 1 + 950. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam dalamnya kepada :

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia memberikan bimbingan dan masukan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen Penguji I.
3. Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku dosen Penguji II.
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
5. Orang tua beserta keluarga yang telah memberikan dukungan terbesar, serta do'a sehingga dapat terselesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman teman Teknik Sipil Angkatan 2018 khususnya DPA 8.
7. Semua pihak yang membantu dan memberi semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 1 Agustus 2023



Muhammad Farhan Arrahman

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017	6
2.2 Kinerja Perkerasan Lentur dengan Program <i>KENPAVE</i>	7
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	13
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017	14

3.1.1 Umur Rencana	14
3.1.2. Pemilihan Struktur Perkerasan	15
3.1.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas	16
3.1.4. Faktor Distribusi Lajur	17
3.1.5. Data Lalu Lintas	18
3.1.6 Beban Lalu Lintas	18
3.1.7. Faktor Ekuivalen Beban	18
3.2 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017	21
3.3 Program <i>KENPAVE</i>	22
3.3.1 <i>Data Path</i>	23
3.3.2 <i>File Name</i>	23
3.3.3 <i>Help</i>	24
3.3.4 <i>Editor</i>	24
3.3.5 <i>LAYERNIP</i> atau <i>SLABSNIP</i>	24
3.3.6 <i>KENLAYER</i> atau <i>KENSLABS</i>	24
3.3.7 <i>LGRAPH</i> atau <i>SGRAPH</i>	24
3.3.8 <i>Contour</i>	24
3.4 Program <i>KENLAYER</i>	25
3.4.1 <i>File</i>	25
3.4.2 <i>General</i>	25
3.4.3 <i>Zcoord</i>	26
3.4.4 <i>Layer</i>	27
3.4.5 <i>Interface</i>	27
3.4.6 <i>Modul</i>	28
3.4.7 <i>Load</i>	29

3.5 Analisis Kerusakan Terhadap Perkerasan	29
3.5.1 <i>Rutting</i>	30
3.5.2 <i>Fatigue Cracking</i>	30
3.5.3 <i>Permanent Deformation</i>	31
3.6 Nilai Sisa Umur Layanan	31
3.7 Karakteristik Material <i>Elastic Layer</i>	32
3.8 Prosedur Menggunakan Program <i>KENPAVE</i>	32
BAB IV METODE PENELITIAN	34
4.1 Metode Penelitian	34
4.2 Pengumpulan data	34
4.3 Lokasi Studi Kasus	35
4.4 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir (<i>Flow Chart</i>)	35
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	37
5.1 Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017	37
5.1.1 Data Penelitian	37
5.1.2 Data Tebal Eksisting Perkerasan	37
5.1.3 Kondisi Pada Ruas Tawang – Ngalang Segmen I	38
5.1.4. Data Lalu Lintas	38
5.1.5. Pertumbuhan Lalu Lintas Menggunakan Metode Regresi Linier	40
5.1.6. Perhitungan Beban Lalu Lintas	41
5.1.7 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2017	45
5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Menggunakan <i>KENPAVE</i>	49
5.2.1 Evaluasi tebal perkerasan menggunakan <i>KENPAVE</i>	50
5.2.2 Hasil Analisis <i>KENLAYER</i>	53
5.3 Alternatif Tebal Perkerasan	58

5.4 Umur Sisa Pelayanan Jalan	61
5.5 Pembahasan	65
5.5.1 Tebal Perkerasan Menggunakan Metode Bina Marga 2017	66
5.5.2 Regangan yang Dihasilkan Program <i>KENPAVE</i>	67
5.5.3. Perbandingan Umur Sisa Layanan	69
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	71
6.1 Kesimpulan	71
6.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Lainnya Tentang Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program <i>KENPAVE</i>	10
Tabel 3. 1 Umur Rencana Perkerasan Baru (UR)	15
Tabel 3. 2 Pemilihan Jenis Perkerasan	15
Tabel 3. 3 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)	16
Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL)	17
Tabel 3. 5 Nilai <i>VDF</i> masing-masing Kendaraan Niaga	19
Tabel 3. 6 Nilai <i>VDF</i> pada Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga	20
Tabel 5. 1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting	37
Tabel 5. 2 Kondisi Ruas Tawang - Ngalang Segmen I	38
Tabel 5. 3 Data LHR Ruas Jalan Piyungan - Batas Kabupaten Gunungkidul	38
Tabel 5. 4 LHR Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten Gunungkidul Berdasarkan Jenis Kendaraan	40
Tabel 5. 5 Angka Pertumbuhan Lalu lintas Metode Regresi Linier	40
Tabel 5. 6 Nilai <i>VDF</i> Masing-masing Jenis Kendaraan	42
Tabel 5. 7 Perhitungan Nilai <i>CESA 4</i>	35
Tabel 5. 8 Perhitungan Nilai <i>CESA 5</i>	35
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Rencana Jumlah Kendaraan Setiap Tahun	45
Tabel 5. 10 Pemelihan Jenis Perkerasan Berdasarkan Nilai Pembebanan	46
Tabel 5. 11 Desain Perkerasan Lentur Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	47
Tabel 5. 12 Desain Perkerasan Lentur dengan <i>CTB</i>	48
Tabel 5. 13 Nilai pada <i>Menu General</i>	50
Tabel 5. 14 Data yang Diisi Pada <i>Menu Layer</i>	51
Tabel 5. 15 Nilai Modulus Elastisitas	52
Tabel 5. 16 Angka yang Dimasukkan Kedalam <i>Menu Load</i>	53
Tabel 5. 17 Hasil Analisis Eksisting	53
Tabel 5. 18 Hasil Analisis Skenario 1 A	54
Tabel 5. 19 Hasil Analisis Skenario 2 A	54

Tabel 5. 20 Analisa Beban Lalu Lintas Eksisting	56
Tabel 5. 21 Analisa Beban Lalu Lintas Skenario 1 A	56
Tabel 5. 22 Analisa Beban Lalu Lintas Skenario 2 A	57
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Tebal Perkerasan	58
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i>	58
Tabel 5. 25 Nilai Regangan dan Tegangan Maksimum pada Tiap Kondisi	59
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban	60
Tabel 5. 27 Tebal pada Setiap Lapis Perkerasan	66
Tabel 5. 28 Nilai Sisa Selama Masa Layanan 20 Tahun	69
Tabel 5. 29 Hasil Nilai Sisa Umur Berdasarkan Kerusakan	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tampak Atas Ruas Tawang-Ngalang Segmen I	3
Gambar 1. 2 Letak Ruas Tawang - Ngalang Segmen I	3
Gambar 3. 1 Bagan Alir dengan Metode Bina Marga 2017	22
Gambar 3. 2 Tampilan Awal Pada Program <i>KENPAVE</i>	23
Gambar 3. 3 Tampilan dari <i>Menu General</i>	25
Gambar 3. 4 Tampilan pada <i>Menu Zcoord</i>	26
Gambar 3. 5 Tampilan pada <i>Menu Layer</i>	27
Gambar 3. 6 Tampilan pada <i>Menu Interface</i>	28
Gambar 3. 7 Tampilan pada <i>Menu Modul</i>	28
Gambar 3. 8 Tampilan pada <i>Menu Load</i>	29
Gambar 3. 9 Prosedur Desain dengan Program <i>KENPAVE</i>	33
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Objek Penelitian	35
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian	36
Gambar 5.1 Tebal Perkerasan Hasil Perhitungan Skenario 1 A	49
Gambar 5. 2 Tebal Perkerasan Hasil Perhitungan Skenario 2 A	49
Gambar 5. 3 Letak Titik Kerusakan yang Ditinjau pada Skenario 1 A	51
Gambar 5. 4 Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia	52
Gambar 5. 5 Umur Sisa Perkerasan Model Eksisting	62
Gambar 5. 6 Umur Sisa Perkerasan Skenario 1 A	63
Gambar 5. 7 Umur Rencana Perkerasan Skenario 2 A	63
Gambar 5. 8 Umur Sisa Perkerasan Alternatif Skenario 1 B	64
Gambar 5. 9 Umur Sisa Perkerasan Alternatif Skenario 2 B	65
Gambar 5. 10 Gambar Perbandingan Tebal Perkerasan	66
Gambar 5. 11 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis	68
Gambar 5. 12 Nilai Repetisi Beban Pada Tiap Lapis Perkerasan	69

DAFTAR NOTASI

STA	= Stasiun
LFA	= Lapis Fondasi Agregat
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AC – WC	= <i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i> (Lapis permukaan)
AC – BC	= <i>Asphalt Concrete – Binder Course</i> (Lapis pondasi)
cm	= Sentimeter
m	= Meter
kg	= Kilogram
CTB	= <i>Cement Treated Base</i>
ESAL	= <i>Equivalent Standar Axle Load</i> (Ekuivalen Sumbu Tunggal Standar)
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
R	= Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
i	= Tingkat pertumbuhan tahunan (%)
UR	= Umur Rencana (tahun)
CESAL	= <i>Cumulative Equivalent Single Axle Load</i>
LHRT	= Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan
ESA	= <i>Equivalent Standard Axle</i>
VDF	= <i>Vehicle Damage Factor</i>
E	= Modulus Elastisitas (kPa)
μ	= Angka <i>Poisson's Ratio</i>
τ	= Tegangan geser
σ	= Tegangan normal
P	= Beban terpusat roda
kPa	= <i>Pound Per Square Inch</i>
Inch	= Inchi
Lbs	= <i>Pound (Pon)</i>
q	= Tekanan beban (kPa/Psi)
d	= Jarak antar roda ganda

- ϵ_t = Regangan tarik horizontal
- ϵ_c = Regangan tekan vertikal
- Nf = Jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*
- Nd = Jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting* dan *permanent deformation*

ABSTRAK

Pertumbuhan lalu lintas di Kabupaten Gunungkidul setiap tahunnya terus meningkat karena Kabupaten Gunungkidul merupakan salah satu destinasi favorit bagi wisatawan, oleh sebab itu dibangun ruas jalan baru yang menjadi jalan alternatif selain melewati ruas jalan utama untuk menuju Kabupaten Gunungkidul. Pembangunan Ruas Tawang – Ngalang segmen I dibangun pada tahun 2021 yang terdiri dari lima segmen. Berdasarkan hal tersebut, peneliti bertujuan mengevaluasi perkerasan eksisting dan mengusulkan beberapa alternatif perkerasan dengan menggunakan Lapis Fondasi Agregat (LFA) kelas A dan perpaduan LFA kelas A dengan *Cement Treated Base (CTB)* pada bagian *base course* dan *sub base course* dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 yang dikontrol dengan program *KENPAVE* pendekatan elastik untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi serta memperkirakan umur perkerasan dan nilai sisa.

Penelitian ini menggunakan data tebal perkerasan eksisting dengan mendesain ulang kembali menggunakan metode Bina Marga 2017 yang dikontrol oleh program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan. Hasil dari nilai regangan digunakan untuk memprediksi umur perkerasan jalan dan nilai sisa. Pemodelan Bina Marga 2017 ini menggunakan 2 macam skenario material dan ketebalan yang berbeda. Skenario 1 A dan skenario alternatif 1 B menggunakan material *Ac-Base* pada *surface course* dan LFA pada *base course* sedangkan pada skenario 2 A dan skenario 2 B tanpa menggunakan material *Ac-Base* tetapi terdapat lapis *CTB* sebagai *base course* dan LFA kelas A sebagai *Sub base*.

Hasil lapis perkerasan yang diperoleh dari metode Bina Marga 2017 dengan kontrol *KENPAVE* memiliki 4 lapis perkerasan dengan ketebalan yang berbeda tiap skenario. Tebal lapis perkerasan yang paling besar terdapat pada skenario 1 A dan yang paling kecil terdapat pada alternatif skenario 1 B dan alternatif skenario 2 B. Respon regangan yang terjadi pada tebal eksisting memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan 4 macam alternatif tebal lainnya. Masa layan dari tebal perkerasan eksisting memiliki umur sepanjang 9 tahun yang disebabkan adanya kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke 10, sedangkan pada 4 macam tebal alternatif lainnya mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana 20 tahun.

Kata kunci : Bina Marga 2017, *KENPAVE*, perkerasan lentur, regangan, umur sisa.

ABSTRACT

The growth of traffic in Gunungkidul Regency continues to increase every year because Gunungkidul Regency is one of the favorite destinations for tourists, therefore a new road was built which is an alternative road besides passing through the main road to get to Gunungkidul Regency. The construction of the Tawang – Ngalang Section I will be built in 2021 and consists of five segments. Based on this, the researcher aims to evaluate the existing pavement and propose several pavement alternatives using Class A Aggregate Foundation Layer (LFA) and a combination of Class A LFA with Cement Treated Base (CTB) on the base course and sub base course using the Bina Marga 2017 method which is controlled by the KENPAVE program with an elastic approach to determine the stress and strain values that occur and estimate the age of pavements and remaining life.

This research uses existing pavement thickness data by redesigning it using the Bina Marga 2017 method which is controlled by the KENPAVE program to obtain stress and strain values. The results of the strain values are used to estimate the age of pavements and remaining life of the road under review. The Bina Marga 2017 modeling uses 2 different material scenarios and different thicknesses. Scenario 1 A and alternative scenario 1 B use Ac-Base material on the surface course and LFA on the base course, while scenario 2 A and scenario 2 B do not use Ac-Base material but there is a CTB layer as the base course and LFA class A as the Sub base .

The pavement layer results obtained from the Bina Marga 2017 method with KENPAVE control have 4 layers of pavement with different thicknesses for each scenario. The highest pavement layer thickness is in scenario 1 A and the smallest is in alternative scenario 1 B and alternative scenario 2 B. The strain response that occurs in the existing thickness has a greater value compared to the other 4 types of thickness alternatives. The remaining life of the existing pavement thickness has a life of 9 years due to permanent deformation damage in the 10th year, whereas the other 4 alternative thicknesses are able to withstand traffic loads during the design life of 20 years.

Keywords: *Bina Marga 2017, KENPAVE, flexible pavement, stress, remaining life.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dikenal dengan kota pelajar karena banyak universitas terbaik yang berada di provinsi ini. Selain dikenal dengan kota pelajar, Provinsi DIY merupakan salah satu tempat pilihan para wisatawan yang ingin menghabiskan waktunya untuk berlibur. Pilihan tempat wisata terbilang cukup banyak baik wisata kuliner, wisata alam dan masih banyak lagi wisata yang tersebar di berbagai penjuru DIY yang terdiri dari Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, Kabupaten Kulon Progo, dan Kabupaten Gunungkidul.

Kabupaten Gunungkidul menjadi tempat favorit yang banyak dipilih oleh wisatawan. Kabupaten ini memiliki berbagai macam pantai yang menarik dan indah untuk dikunjungi. Daya tarik tersebut yang menjadikan banyak wisatawan yang berdatangan dari berbagai macam daerah menuju Kabupaten Gunungkidul. Perjalanan menuju tempat wisata di Gunungkidul hanya dapat menggunakan perjalanan darat dengan kendaraan pribadi maupun kendaraan angkutan umum. Berkembangnya kepopuleran destinasi wisata di Kabupaten Gunungkidul menjadikan volume lalu lintas semakin bertambah, maka perlu adanya pemeliharaan dan peningkatan untuk mengakomodir lalu lintas yang bertambah tinggi pada tiap tahunnya. Oleh sebab itu jalan raya merupakan akses yang perlu diperhatikan agar kenyamanan dan keamanan dalam berkendara para wisatawan maupun warga sekitar yang menuju Kabupaten Gunungkidul tetap nyaman dan menimbulkan rasa aman.

Salah satu destinasi wisata yang terdapat di Kabupaten Gunungkidul adalah Gunung Api Purba Nglanggeran yang terletak di Desa Nglanggeran, Kecamatan Patuk. Untuk mempermudah akses menuju tempat wisata pada daerah tersebut maka salah satu faktor yang menjadikan dibangun sebuah jalan ini agar yang mempermudah akses menuju tempat wisata serta menuju Kota Wonosari selain

melewati jalan nasional yang hanya bisa diakses oleh kendaraan berat dengan melewati Ruas Jalan Yogyakarta – Piyungan – Patuk – Gading – Wonosari .

Ruas Tawang - Ngalang merupakan jalan yang menghubungkan antara jembatan lembah abang (Gayamharjo) dengan daerah Gading Kabupaten Gunungkidul. Ruas Tawang – Ngalang diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai jalan alternatif di sisi utara Ruas Jalan Yogyakarta – Piyungan – Patuk – Gading – Wonosari melihat pada kondisi eksisting saat ini serta dengan kondisi lalu lintas 1 jalur 2 lajur dan keterbatasan lahan yang cukup lebar untuk menyiap menyebabkan jalan tersebut seringkali terjadi kemacetan. Ruas jalan ini terdiri lima segmen. Segmen I dan segmen V sudah rampung dikerjakan pada tahun 2021 dan sudah dapat dilalui kendaraan kemudian pada tahun 2022 sudah selesai dikerjakan untuk segmen IV dan saat ini sedang dikerjakan pada segmen II dan III. Pada penelitian ini difokuskan pada segmen I yang dimulai dari stasiun (STA) 0 + 000 sampai STA 1 + 950 yang berada berada di Desa Ngoro-oro, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul. Ruas Jalan Tawang - Ngalang ini pertama kali dibangun pada bulan Maret tahun 2021. Proyek pembangunan ruas ini dikerjakan oleh PT. Aneka Reka Buana dengan waktu pengerjaan 225 Hari. Lebar jalan pada ruas ini yaitu 7,5 m yang terdiri dari 1 jalur dan 2 lajur, masing-masing lajur memiliki lebar 3,75 m. Ruas Tawang-Ngalang menurut status jalan termasuk kedalam Jalan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, sedangkan fungsi jalan ruas ini termasuk kedalam kelas jalan kolektor.

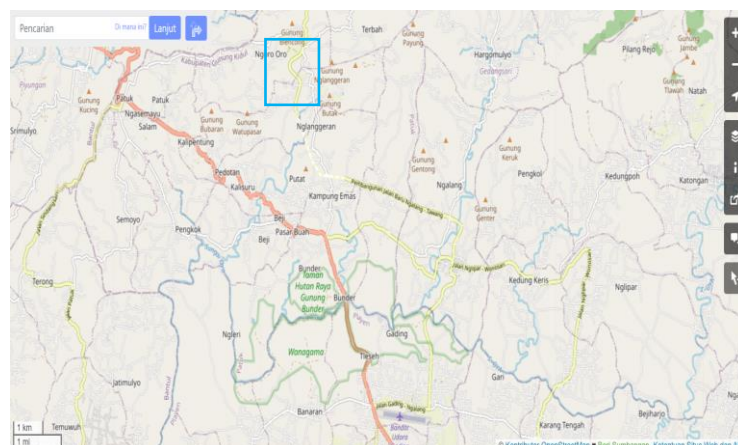
Struktur perkerasan jalan tiap tahun akan bertahap mengalami penurunan kualitas pelayanan seiring bertambahnya volume lalu lintas yang semakin padat berdasarkan jumlah kumulatif lintasan kendaraan. Struktur perkerasan merupakan struktur yang terdiri dari satu atau beberapa lapis perkerasan yang memiliki fungsi untuk menerima beban dari kendaraan yang diharapkan tidak terjadi sebuah kerusakan sesuai dengan apa yang sudah didesain dalam jangka umur rencana. Program *KENPAVE* merupakan sebuah program yang dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang P.E *Profesor Emeritus* dari *Civil Engineering University of Kuntucky*. Program *KENPAVE* dapat menganalisis sebuah perkerasan berdasarkan metode mekanistik.

Sebelumnya, pada penelitian yang hampir serupa dengan kasus ini pernah dilakukan juga di lain tempat dengan yaitu seperti yang dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021) serta Ramadhani dan Fauziah (2018).

Berdasarkan salah satu uraian masalah tersebut, peneliti akan meneliti kinerja lapis perkerasan lentur yang sesuai dengan pedoman Bina Marga 2017 serta hasil dari perhitungan tersebut dapat menggunakan program *KENPAVE* permodelan elastik yang nantinya juga mendapat hasil nilai sisa dan kerusakan yang terjadi lebih dahulu dalam waktu masa layan pada ruas tersebut. Adapun lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1 Berikut.



Gambar 1. 1 Tampak Atas Ruas Tawang-Ngalang Segmen I
Sumber : Google Earth (Diakses pada 1 Maret 2023).



Gambar 1. 2 Letak Ruas Tawang - Ngalang Segmen I
Sumber : OpenStreetMap, (Diakses 18 Desember 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Berapa tebal lapis perkerasan pada Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I serta alternatif desain tebal perkerasan yang dapat dipilih menggunakan metode Bina Marga 2017 dengan kontrol program *KENPAVE*?
2. Berapa nilai regangan yang terjadi akibat terdapatnya beban lalu lintas pada eksisting Ruas Tawang – Ngalang Segmen I sesuai umur rencana 20 tahun dengan program *KENPAVE*?
3. Berapa nilai sisa dan umur suatu perkerasan pada Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen I ditinjau dari jumlah akumulasi beban yang terjadi dengan masa layan 20 tahun?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Memperkirakan hasil tebal lapis perkerasan Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen I dengan menggunakan Metode Bina Marga 2017 dengan kontrol *KENPAVE* serta dapat menentukan alternatif tebal perkerasan yang paling optimal dan dapat diterapkan.
2. Mengetahui nilai regangan yang timbul pada Ruas Eksisting Jalan Tawang-Ngalang Segmen I.
3. Memprediksi nilai sisa dan umur sebuah perkerasan dari Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen I dengan masa layanan 20 tahun.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan terkait desain tebal lapis perkerasan menggunakan panduan Manual Bina Marga 2017.
2. Menjadi bahan pertimbangan terkait hasil pekerjaan pada segmen I pekerjaan Ruas Jalan Tawang-Ngalang.

3. Menggunakan simulasi program *KENPAVE* dapat melengkapi hasil dari perhitungan Manual Bina Marga 2017.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan penelitian yang dibahas berdasarkan lingkup masalah yang peneliti amati.

1. Objek penelitian yang dilakukan pada Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen I dimulai dari Sta 0+000 – 1+950.
2. Analisa tebal perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 04/SE/Db/2017.
3. Data tanah diperoleh dari PT. Aneka Dharma Persada selaku pihak laboratorium yang bertanggung jawab pada pelaksana proyek Jalan Tawang - Ngalang Segmen I.
4. Data lalu lintas harian menggunakan data survey langsung di lapangan atau dengan data yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Provinsi DIY dan Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional.
5. Perhitungan untuk respon tegangan dan regangan menggunakan program yang berasal dari program *KENPAVE*.
6. Data LHR menggunakan Ruas Jalan Piyungan - Batas Kabupaten Gunungkidul yang merupakan Jalan Nasional.
7. Tidak memperhitungkan faktor drainase dalam perencanaan tebal perkerasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

Desain dari perkerasan lentur merupakan sebuah metode untuk menentukan ketebalan yang direncanakan serta hasil dari perhitungan tersebut diharapkan mempunyai kekuatan yang cukup dalam menerima volume beban yang dihasilkan dari volume rata-rata harian agar nantinya dapat menjadi bahan evaluasi kedepannya saat perencanaan tebal lapis perkerasan dapat menjadi alternatif untuk mengikuti Bina Marga tahun 2017.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021) melakukan perhitungan evaluasi perancangan struktur perkerasan dengan Bina Marga 2017 dan program *KENPAVE* menggunakan pendekatan *elastic* dan *viskoelastic* pada Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba. Hasil perhitungan menggunakan panduan Bina Marga 2017 dengan tebal total tebal perkerasan tersebut sebesar 47,5 cm. Tebal perkerasan terbagi menjadi lapis permukaan yaitu *AC-WC* sebesar 4 cm kemudian lapis *AC-BC* mendapatkan 6 cm. Sedangkan pada tebal lapis pondasi atas digunakan bahan lapis *CTB* ketebalan 15 cm, sedangkan material yang digunakan pada lapis bawah dengan tebal 15 cm menggunakan LFA kelas A.

Kasus yang memiliki masalah serupa dengan mengevaluasi tebal perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017 oleh Halim (2018) diketahui bahwa pada hasil setelah dilakukan analisis perhitungan didapatkan tebal total lapis perkerasan yaitu sebesar 61 cm. Total tersebut diuraikan menjadi 4 cm lapis *AC-WC* kemudian lapis *AC-BC* dengan tebal 6 cm dan *AC-Base* dengan tebal sebesar 21 cm. Sedangkan untuk lapis pondasi atas menggunakan bahan LFA kelas A yang memiliki ketebalan 30 cm.

Hasil penelitian lain yang dilakukan oleh Vera dkk (2020) dengan judul tinjauan perbandingan tebal perkerasan jalan lentur dengan metode Bina Marga 1987 dengan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 di jalan lintas Labuan Bajo - Lembor didapatkan ketebalan seluruh lapisan jika dibandingkan akan mendapatkan tebal yang berbeda. Ketebalan yang paling besar didapatkan menggunakan perhitungan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dilihat dari masing masing umur rencana dari 5 tahun, 10 tahun dan 20 tahun dibandingkan oleh perhitungan Bina Marga 1987.

Kemudian Purwadi dkk (2022) dalam jurnal yang berjudul evaluasi tebal perkerasan jalan provinsi berdasarkan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 menyimpulkan bahwa terdapat faktor kerusakan jalan yang diakibatkan dari tebal lapis perkerasan yang dalam perhitungannya tidak sesuai dengan perhitungan menggunakan metode MDP 2017, akan tetapi ada faktor lain yang mempengaruhi seperti curah hujan, cuaca, dan pengawasan pekerjaan yang tidak sesuai spesifikasi teknik yang sudah ditentukan.

2.2 Kinerja Perkerasan Lentur dengan Program *KENPAVE*

Desain perkerasan lentur dengan menggunakan program *KENPAVE* pada penelitian sudah relatif banyak digunakan. Program *KENPAVE* ini sangat membantu agar dalam mendesain perkerasan menjadi lebih optimal. Berikut merupakan beberapa penelitian yang menggunakan bantuan program *KENPAVE* dalam mendesain suatu perkerasan jalan. Fauziah dan Ramadhani (2018) penelitian dengan judul evaluasi desain struktur perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE* pada ruas Jalan Jogja-Solo. Hasil dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa perbedaan antara bina marga 2013 dengan program *KENPAVE* yaitu *KENPAVE* menggunakan nilai karakteristik *ESA* dan karakteristik material, sedangkan Bina Marga 2013 menggunakan nilai *vehicle damage factor (VDF)*, *cumulative equivalent single axle load (CESA)* dan *traffic multiplier (TM)*.

Dinata dkk (2017) melakukan penelitian tentang evaluasi tebal perkerasan lentur dengan metode analisa komponen dari bina marga 1987 dan metode *AASHTO* 1993 menggunakan program *KENPAVE*. Penggunaan program *KENPAVE* ini dapat mengetahui nilai tegangan dan regangan yang timbul pada jalan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang dilewati jalan tersebut. Hasil dari penelitian tersebut menggunakan metode *AASHTO* 1993 mendapatkan hasil lapis permukaan 15 cm, lapis pondasi atas 10 cm, dan lapis pondasi bawah 20 cm. Sedangkan pada metode analisa komponen dari bina marga 1987 didapatkan hasil lapis permukaan 10 cm, lapis pondasi atas 20 cm, dan lapis pondasi bawah 20 cm. Kesimpulan dari hasil tersebut didapatkan bahwa hasil tebal perkerasan menggunakan program *KENPAVE* dapat lebih optimal dibandingkan menggunakan Bina Marga dan *AASHTO* 1993.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Lainnya Tentang Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program *KENPAVE*

Peneliti	Lia dan Mahardi (2022)	Shodiq (2021)	Pambudi dan Fauziah (2021)	Karnurin (2020)	Mahmuddin dan Fauziah (2019)	Suneth dan Kushari (2018)	Rahardian (2018)	Arrahman (2023)
Judul Penelitian	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi <i>KENPAVE</i>	Evaluasi Kondisi Perkerasan dengan Metode <i>Pavement Condition Index (PCI)</i> dan Nilai Sisa dengan Metode Mekanistik – Empirik Pada Ruas Jalan Gito – Gati	Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program <i>KENPAVE</i> Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik dan Metode Mekanistik- Empirik Menggunakan Program <i>KENPAVE</i> Pada Ruas Jalan Milir - Sentolo	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik- Empirik dengan Program <i>KENPAVE</i> Pada Ruas Jalan Imogiri Timur	Studi Pengaruh Tebal Lapis dan Modulus Elastisitas Terhadap Respon Struktur Perkerasan Lentur dan Kapasitas Beban Repetisi	Evaluasi Kondisi Perkerasan Lentur dan Prediksi Umur Layanan Ruas Jalan Wonosari – Mulo Km 4 - 5	Evaluasi Kinerja Perkerasan Lentur dan Nilai Sisa Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program <i>KENPAVE</i> Pada Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I

Sumber : Lia dan Mahardi (2022), Shodiq (2021), Pambudi dan Fauziah (2021), Karnurin (2020), Mahmuddin dan Fauziah (2019), Suneth dan Kushari (2018), Rahardian (2018)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Lainnya Tentang Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program *KENPAVE*

Peneliti	Lia dan Mahardi (2022)	Shodiq (2021)	Pambudi dan Fauziah (2021)	Karnurin (2020)	Mahmuddin dan Fauziah (2019)	Suneth dan Kushari (2018)	Rahardian (2018)	Arrahman (2023)
Tujuan Penelitian	Mengevaluasi kinerja struktur perkerasan jalan untuk memastikan struktur perkerasan mampu menerima beban lalu lintas selama umur rencana	Mengetahui nilai sisa umur rencana pada ruas Jalan Gito – Gati dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan Program <i>KENPAVE</i>	Mengetahui tegangan dan regangan pada eksisting dan struktur perkerasan alternatif menggunakan program <i>KENPAVE</i> menggunakan pemodelan Elastik dan Viskoelastik	Mengetahui tebal lapis perkerasan Jalan Milir-Sentolo menggunakan Metode Bina Marga 2017	Membandingkan tebal perkerasan menggunakan metode Bina Marga 1987, Bina Marga 2013, Bina Marga 2017, dan AASHTO 1993	Mengevaluasi dan menganalisis perkerasan berdasarkan tebal lapis dan modulus elastisitas yang dimodelkan dalam karakteristik material linear elastis	Mendapatkan hasil sisa umur perkerasan jalan	Memperkirakan hasil tebal lapis perkerasan Jalan Tawang-Ngalang Segmen I dengan menggunakan Metode Bina Marga 2017 serta dapat menentukan alternatif tebal perkerasan yang paling optimal dan dapat diterapkan

Sumber : Lia dan Mahardi (2022), Shodiq (2021), Pambudi dan Fauziah (2021), Karnurin (2020), Mahmuddin dan Fauziah (2019), Suneth dan Kushari (2018), Rahardian (2018)

**Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Lainnya Tentang Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017
Menggunakan Program *KENPAVE***

Peneliti	Lia dan Mahardi (2022)	Shodiq (2021)	Pambudi dan Fauziah (2021)	Karnurin (2020)	Mahmuddin dan Fauziah (2019)	Suneth dan Kushari (2018)	Rahardian (2018)	Arrahman (2023)
Lokasi Penelitian	Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung	Ruas Jalan Gito – Gati	Jalan Simpang Pundu – Tumbang Samba	Ruas Jalan Milir - Sentolo	Ruas Jalan Imogiri Timur	Ruas Jalan Gading - Gledag	Ruas Jalan Wonosari – Mulo Km 4 - 5	Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I
Metode Desain	Menggunakan metode metode <i>AASHTO 1993</i> , metode analisa komponen dan metode Bina Marga 2017	Metode Mekanistik – Empirik (Metode Bina Marga 2017 dan program <i>KENPAVE</i>)	Metode Bina Marga 2017 dan program <i>KENPAVE</i> dengan pendekatan elastic dan viskoelastik	Metode Empirik dan Metode mekanistik- empirik menggunakan program <i>KENPAVE</i>	Metode empiric dan metode mekanistik- empiris dengan program <i>KENPAVE</i>	Metode empiric menggunakan Bina Marga 2017 dan metode mekanistik – empiric menggunakan program <i>KENPAVE</i>	Untuk Evaluasi Perkerasan Jalan dengan Metode <i>Pavement Condition Index</i>	Bina Marga 2017 Menggunakan program <i>KENPAVE</i> pendekatan elastik

Sumber : Lia dan Mahardi (2022), Shodiq (2021), Pambudi dan Fauziah (2021), Karnurin (2020), Mahmuddin dan Fauziah (2019), Suneth dan Kushari (2018). Rahardian (2018)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Lainnya Tentang Kinerja Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 Menggunakan Program *KENPAVE*

Peneliti	Lia dan Mahardi (2022)	Shodiq (2021)	Pambudi dan Fauziah (2021)	Karnurin (2020)	Mahmuddin dan Fauziah (2019)	Suneth dan Kushari (2018)	Rahardian (2018)	Arrahman (2023)
Hasil Penelitian	Berdasarkan tiga metode tersebut didapatkan bahwa tebal lapis perkerasan lentur yang paling tipis menggunakan metode <i>AASHTO 1993</i> kemudian metode analisa komponen dan terakhir metode Bina Marga 2017	Hasil analisis <i>KENPAVE</i> lapis eksisting dapat bertahan hingga tahun ke enam dan awal terjadi kerusakan <i>fatigue cracking</i> sedangkan pada perkerasan <i>overlay</i> bertahan hingga tahun ke dua puluh.	Pada zat viskoelastik mempunyai komponen kental dan elastic dapat menghasilkan laju regangan yang bergantung pada waktu	Perbandingan antara kedua metode ini terletak pada nilai N_f dan nilai $N_d > N_r$ yang menghasilkan prediksi kerusakan jalan akan terjadi saat melebihi umur yang direncanakan	Perhitungan dengan metode mekanistik-empiris yang menggunakan program <i>KENPAVE</i> didapatkan hasil ketebalan yang ekstrim lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode Bina Marga 2013 dan 2017	Tegangan vertical akan terjadi penurunan bila lapis perkerasan semakin tebal. Semakin tebal lapis perkerasan maka tegangan <i>horizontal</i> akan semakin kecil	Metode Bina Marga 2013 menggunakan nilai <i>CESA</i> yang digunakan untuk beban lalu lintas desain dengan pertimbangan nilai <i>VDF</i> dan <i>Traffic Multiplier</i> . Pada program <i>KENPAVE</i> metode mekanistik – empiris menggunakan data mekanika bahan	

Sumber : Lia dan Mahardi (2022), Shodiq (2021), Pambudi dan Fauziah (2021), Karnurin (2020), Mahmuddin dan Fauziah (2019), Suneth dan Kushari (2018), Rahardian (2018)

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Pada tabel penelitian di atas dapat dilihat beberapa penelitian yang mempunyai kesamaan dalam acuan penggunaan metode Bina Marga 2017 serta dikontrol dengan program *KENPAVE*. Penelitian yang dilakukan oleh Lia dan Mahardi (2022) menggunakan metode *AASHTO 1993*, Analisa Komponen dan Metode Bina Marga 2017. Perbedaan pada penelitian ini terdapat pada lokasi penelitian dan metode yang digunakan. Peneliti menggunakan Metode Bina Marga 2017 dengan memberikan beberapa opsi tebal perkerasan, Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Lia dan Mahardi hanya tersedia satu opsi tebal perkerasan.

Kajian lainnya oleh Pambudi dan Fauziah (2021) dengan evaluasi perancangan struktur perkerasan metode Bina Marga 2017 dan program *KENPAVE* menggunakan pendekatan *elastic* dan *viskoelastik*. Perbedaan pada peneliti yang akan dikaji yaitu terdapat pada tempat atau lokasi pengambilan data untuk dianalisis dan pada penggunaan program *KENPAVE* dalam karakteristik material yang digunakan. Karakteristik material yang akan diteliti pada penelitian ini menggunakan pendekatan berupa *elastic layer* dengan material *CTB* dan LFA kelas A, Sedangkan pada penelitian Pambudi dan Fauziah menggunakan 2 macam jenis pendekatan yaitu *elastic* dan *viskoelastik* dengan material *CTB*.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017

Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 berisi tentang ketentuan teknis dalam pelaksanaan desain perkerasan jalan. Manual ini ditetapkan oleh Dirjen Bina Marga tanggal 22 Juni Tahun 2017 melalui Surat Edaran (SE) No, 04/SE/Db/2017. Setelah ditetapkan berlakunya SE ini maka SE No.08/SE/Db/2013 resmi tidak digunakan. Metode Bina Marga 2017 ini merupakan pelengkap dari pedoman desain perkerasan 2002 dan 2003 yang menekankan pada aturan umur rencana, penggunaan tepat guna pemilihan material, temperatur, analisis beban sumbu dan terakhir koreksi faktor iklim. Selain itu Bina Marga 2017 merupakan hasil dari revisi Bina Marga tahun 2013.

Dalam penentuan sebuah perencanaan tebal perkerasan jalan, dibutuhkan data serta tahapan untuk mendapatkan hasil yang direncanakan. berikut tahapan yang perlu dilakukan.

3.1.1 Umur Rencana

Pada saat perencanaan sebuah tebal lapis perkerasan perlu memperhitungkan umur rencana jalan yang akan di desain. Umur rencana merupakan rentang waktu pelayanan yang terhitung semenjak jalan tersebut dibuka hingga terdapat perbaikan dengan skala berat atau adanya pemberian lapis permukaan yang baru. Umur rencana pada MDPJ 2017 digunakan sebagai opsi menentukan penggunaan jenis perkerasan serta dengan pertimbangan jenis elemen perkerasan yang nantinya akan digunakan di lapangan. Penetapan terkait umur rencana berdasarkan jumlah dari *Cumulative Equivalent Standard Axle (CESA)*. Untuk kategori umur rencana perkerasan baru dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Umur Rencana Perkerasan Baru (UR)

Jalan Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾ .	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

3.1.2 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan mempunyai berbagai pilihan variasi yang disesuaikan dengan umur rencana dan kondisi pondasi dari sebuah jalan. Berikut merupakan tabel pemilihan jenis perkerasan pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	> 4-10	>10-30	>30-200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR >/ 2,5 %)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2

Lanjutan Tabel 3.2 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	> 4-10	>10-30	>30-200
AC tebal \geq 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat,jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

3.1.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas ini didapatkan berdasarkan dari data pertumbuhan series atau dengan formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan yang berlaku. Data yang dimaksud tersebut jika tidak tersedia bisa menggunakan Tabel 3.3 Berikut.

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

	Jawa	Sumatra	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dapat dihitung menggunakan sebuah persamaan 3.1 berikut.

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

dengan :

- R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,
 i = tingkat pertumbuhan tahunan (%) dan
 UR = umur rencana (tahun).

3.1.4 Faktor Distribusi Lajur

Lajur rencana merupakan bagian dari salah satu lajur lalu lintas di suatu ruas jalan yang dapat menampung lalu lintas dari kendaraan niaga. Faktor yang memperhitungkan faktor distribusi (DD) dan faktor distribusi laju kendaraan niaga (DL) merupakan kumulatif beban gandar standar (ESA).

Faktor distribusi lajur diterapkan untuk memadukan beban kumulatif (ESA) pada jalan yang memiliki dua lajur atau lebih dalam satu arah. Pada jalan yang terdiri dari dua arah pada umumnya diambil nilai 0,50 untuk faktor distribusi arah (DD). Faktor distribusi dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

3.1.5 Data Lalu Lintas

Volume lalu lintas didapatkan dari data lalu lintas yang melintasi sebuah ruas jalan. Oleh sebab itu ketelitian sebuah data yang didapatkan dari data lalu lintas merupakan data yang memiliki hasil desain yang sesuai dengan apa yang direncanakan. Data ini harus memuat semua hasil dari survey kendaraan yang melewati ruas tersebut. Panduan dalam menentukan jenis kendaraan pada saat mendata kendaraan terdapat pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19 – 2004 – B).

3.1.6 Beban Lalu Lintas

Pada sebuah ruas jalan terdapat volume lalu lintas memiliki beban yang disalurkan kepada lapis permukaan pada jalan dan terjadi secara berkali-kali terjadi selama umur rencana. Beban yang dibutuhkan untuk desain perkerasan jalan dijadikan sebagai nilai kumulatif berdasarkan nilai faktor ekivalen beban. Rumus yang digunakan tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.2 berikut.

$$ESA = (\Sigma LHR \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.2)$$

3.1.7 Faktor Ekivalen Beban

Dalam mendesain sebuah perkerasan maka beban lalu lintas akan diubah menjadi beban standar (ESA) menggunakan Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor* atau *VDF*). Perhitungan ESA yang akurat merupakan hasil survei yang yang dirancang serta diterapkan dengan baik. Pada saat survei untuk beban gandar tidak bisa dilakukan langsung di lapangan oleh seorang perencana dan tidak tersedia data beban gandar pada pengumpulan data pada tahun-tahun sebelumnya maka untuk menentukan nilai *VDF* dapat menggunakan acuan pada **Tabel 3.5** dan **Tabel 3.6** untuk menghitung nilai ESA

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

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5	<i>VDF</i> 4	<i>VDF</i> 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,50	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,20	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Tabel 3. 6 Nilai VDF pada Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan ² yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan ² yang diangkut	2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu – cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		5	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

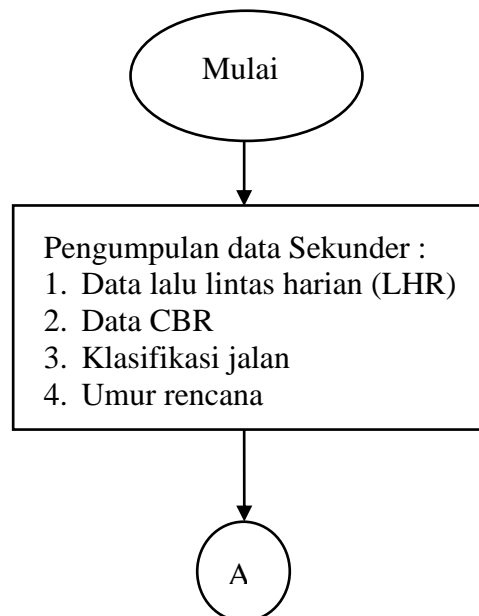
Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

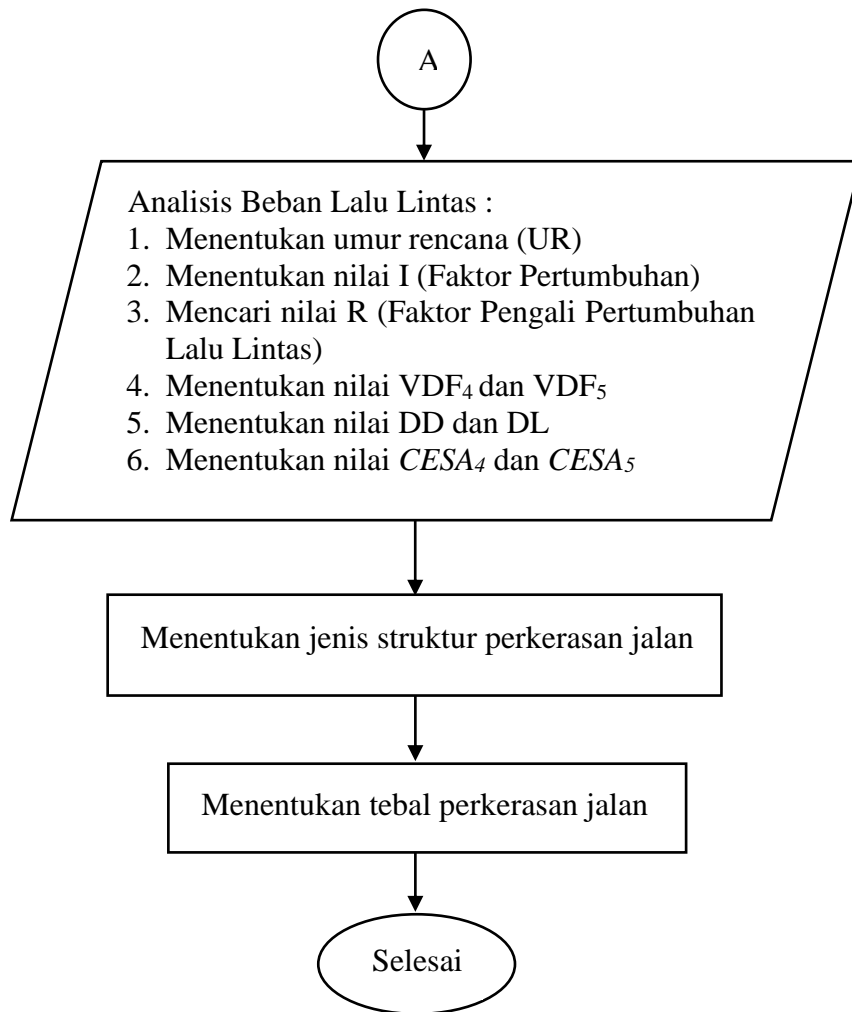
3.2 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

Prosedur dalam desain tebal perkerasan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan No. 04/SE/Db/2017 sebagai berikut.

1. Menentukan umur rencana berdasarkan elemen dan jenis perkerasan ,
2. Menentukan nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R),
3. Menentukan nilai faktor distribusi lajur (DL) dan faktor distribusi arah (DD),
4. Menentukan nilai *VDF*,
5. Menghitung nilai *CESA* berdasarkan data LHR yang diperoleh,
6. Menentukan tipe perkerasan, dan
7. Menentukan tebal perkerasan.

Adapun dalam penelitian ini dapat dijelaskan secara singkat pada bagan alir Bina Marga 2017 seperti **Gambar 3.1** Berikut.





Gambar 3. 1 Bagan Alir dengan Metode Bina Marga 2017

3.3 Program *KENPAVE*

Program *KENPAVE* merupakan aplikasi yang diciptakan sebagai desain dalam perencanaan perkerasan hasil dari pengembangan oleh Yang H. Huang, P.E. Program *KENPAVE* hanya dijalankan pada versi dengan Windows 95 atau menggunakan versi Windows di atasnya. Penggunaan selain versi windows 95 dan versi windows vista dapat berjalan, akan tetapi pada saat aplikasi beroperasi nantinya kurang maksimal saat digunakan. Masalah tersebut terjadi karena aplikasi *kenpave* dibuat untuk operasi sistem versi lama. Berikut **Gambar 3.2** merupakan tampilan utama ketika membuka program *KENPAVE*.



Gambar 3. 2 Tampilan Awal Pada Program *KENPAVE*

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

Pada tampilan awal program *KENPAVE* terbagi menjadi 2 bagian menu utama yang berfungsi menganalisis perkerasan. Bagian tersebut terdiri dari menu *LAYERIP*, *KENLAYER* sebagai menu pilihan yang digunakan untuk perkerasan lentur dan *SLABSINP*, *KENSLABS* untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*). Berikut untuk penjelasan menu pada program *KENPAVE*

3.3.1. *Data Path*

Adalah keterangan untuk menyimpan data secara *default* yang terletak pada tempat folder penginstalan program *KENPAVE*.

3.3.2. *File Name*

Menu ini menampilkan sebuah *file* yang dibuat oleh *LAYERINP* atau *SLABSINP*. Kita tidak perlu mengganti pada menu *file name* karena *file* yang akan dibuat secara otomatis ada di menu *file* dengan nama *Unititled.DAT* dan bisa diubah nantinya.

3.3.3. *Help*

Pada setiap *layer* menu mempunyai pilihan menu *help* yang mempunyai fungsi untuk menjelaskan parameter input dan penggunaan dari perintah yang terdapat pada program *KENPAVE*.

3.3.4. *Editor*

Menu pada editor bisa dipakai untuk memeriksa, mengedit, dan cetak data file data. Jika pengguna yang masih belum mahir dalam menjalankan program *KENPAVE*, maka dianjurkan untuk menggunakan menu editor karena dapat membantu untuk menginput data yang digunakan lebih cepat sehingga tidak terjadi sebuah kesalahan yang dapat mengakibatkan data yang dimasukkan tidak termuat dengan menggunakan menu *LAYERNIP* atau *SLABSNIP*.

3.3.5. *LAYERNIP* atau *SLABSNIP*

Menu *LAYERNIP* atau *SLABSNIP* digunakan untuk membuat *file* data sebelum *KENLAYER* atau *KENSLAB* dapat dijalankan.

3.3.6. *KENLAYER* atau *KENSLABS*

KENLAYER atau *KENSLABS* merupakan program untuk analisis perkerasan dan dapat berjalan ketika *file* data telah dibuat. Program ini dapat membaca dari *file* data dan memulai eksekusi. Waktu selama eksekusi, beberapa hasil akan ditampilkan pada *layer* untuk memberi tahu bahwa program ini sedang berjalan.

3.3.7. *LGRAPH* atau *SGRAPH*

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

3.3.8. *Contour*

Pada menu *contour* mempunyai fungsi untuk plot kontur tekanan dalam arah x atau arah y. Plot kontur digunakan pada saat perkerasan kaku.

3.4 Program *KENLAYER*

Program *KENLAYER* adalah program yang digunakan pada perkerasan lentur tanpa sambungan atau perkerasan kaku. Saat memulai program *KENLAYER*, data sudah diinput pada menu *LAYERINP* yang berjumlah dari 11 menu. Setiap pilihan menu memiliki data yang perlu dimasukkan. Berikut merupakan penjelasan mengenai menu yang ada pada *LAYERINP*.

3.4.1. *File*

Menu *file* merupakan menu awal yang digunakan untuk memulai pekerjaan dengan terdapat pilihan *file* baru untuk pilihan yang ingin mengerjakan *project* baru atau *file* lama atau *old* jika data *file* yang sudah ada sebelumnya.

3.4.2. *General*

Menu *general* menunjukkan informasi mengenai perkerasan yang akan dianalisis. Berikut merupakan tampilan dari menu *general* pada **Gambar 3.3**

General Information of LAYERINP for Set No. 1

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

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

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

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

Gambar 3.3 Tampilan dari Menu General

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

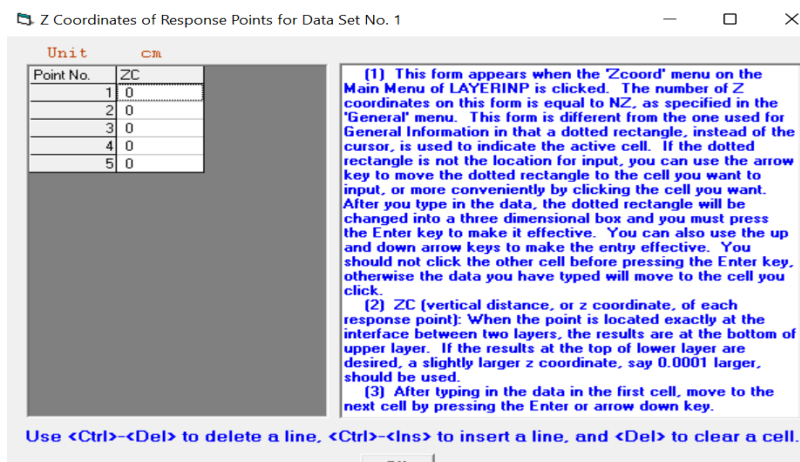
Dalam menu general terdapat beberapa menu yang harus perlu diisikan terlebih dahulu dengan nilai tertentu, seperti :

- TITLE* : Memasukkan sebuah judul dari analisa (maksimal 68 karakter),
- MATL* : Memilih model dari material, Jika (1) merupakan lapisan linear elastis, (2) lapisan untuk non linear elastis, (3) lapisan viskoelastis,

- (4) lapisan campuran di antara ketiga lapisan tersebut,
- c. *NDAMA* : Untuk memilih analisa kerusakan yang terjadi. Jika (0) tidak terdapat kerusakan analisis. (1) terjadi kerusakan analisis dan ada hasil print out, (2) terjadi kerusakan analisis serta hasil print out lebih detail,
- d. *DEL* : Nilai akurasi hasil analisa, memiliki nilai standar akurasi 0,001,
- e. *NL* : Jumlah lapisan, maksimum 19 lapis,
- f. *NZ* : Letak koordinat arah Z yang akan dianalisa. Jika analisa *NDAMA* =1 atau 2, maka $NZ = 0$. Karena pada program akan menganalisa di koordinat yang mengalami analisa kerusakan,
- g. *NSTD* : Nilai dari *stress*, *stain* dan *displacement*. (1) untuk *vertical displacement*, (5) untuk nilai *vertical displacement*, *stress* dan *strain*,
- h. *NUNIT* : Satuan yang akan digunakan. (0) satuan inggris, (1) satuan SI.

3.4.3. *Zcoord*

Zcoord merupakan menu untuk menyelidiki perkerasan pada titik jarak koordinat Z. Jumlah point yang ada pada menu ini sesuai dengan jumlah NZ di menu General. Contoh tampilan *Zcoord* seperti dalam **Gambar 3.4** berikut. Pada Gambar menampilkan kedalaman tiap lapis, kedalaman tersebut nantinya yang akan diselidiki oleh program.



Gambar 3. 4 Tampilan pada Menu *Zcoord*

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

3.4.4. Layer

Jumlah *layer* pada menu yang terdapat dalam menu ini sesuai dengan jumlah *NL* pada menu *general*. Memiliki dua kolom yang dimasukkan pada menu *layer*. Pada kolom pertama yaitu *TH* adalah data dari tebal tiap lapis *layer*, kemudian pada kolom kedua yaitu *PR* yang merupakan informasi mengenai *poission's ratio* pada setiap *layer*. Berikut merupakan gambaran dari menu *layer* dapat dilihat pada **Gambar 3.5** berikut.

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight for Data Set No. 1

After typing the value in a cell, be sure to press the Enter key to make it effective.

Unit cm kN/m³

Layer No.	TH	PR
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	XXXXXXXXXX	0

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

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to *NL*, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

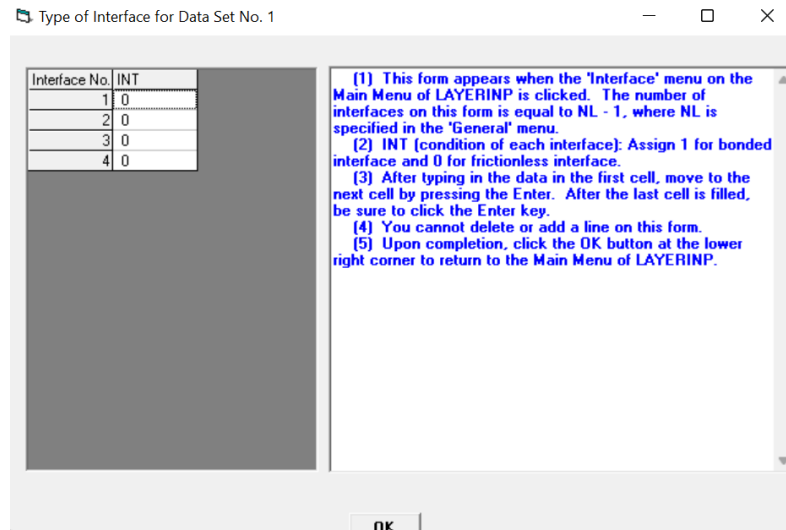
OK

Gambar 3. 5 Tampilan pada Menu Layer

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

3.4.5. Interface

Menu *interface* ini berkaitan dengan *NBOUND* yang terdapat pada menu *general*. Jika *NBOUND* = 1, maka menu *interface* akan menjadi *default*. Jika *NBOUND* = 2, maka pada menu *interface* akan aktif untuk diinput, Berikut tampilan dari menu *Interface* dapat dilihat pada **Gambar 3.6** berikut.

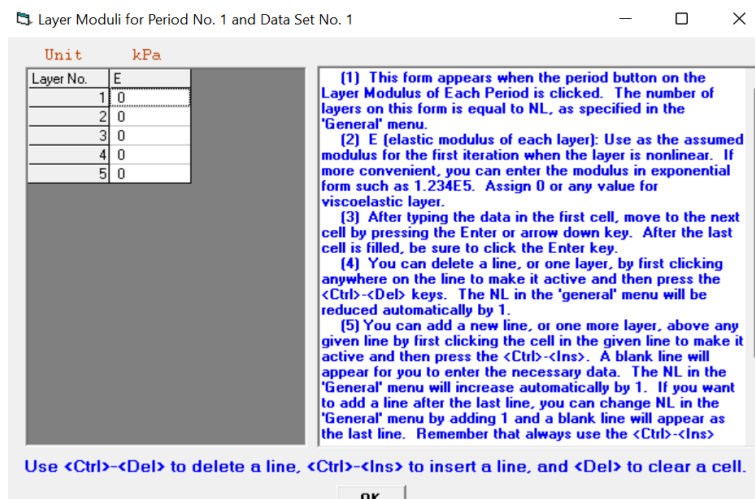


Gambar 3. 6 Tampilan pada Menu *Interface*

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

3.4.6. Modul

Menu pada *modul* berisikan jumlah dari periode. Pada menu *modul* muncul sesuai dengan *input* NY yang terdapat dalam menu *general*. Jumlah maksimum periode yang bisa di *input* yaitu 12 periode. Untuk setiap periode memiliki tampilan untuk *input* nilai E. Nilai E adalah modulus elastisitas tiap *layer*. Berikut merupakan tampilan dari menu *modul* dapat dilihat pada **Gambar 3.7** Berikut.

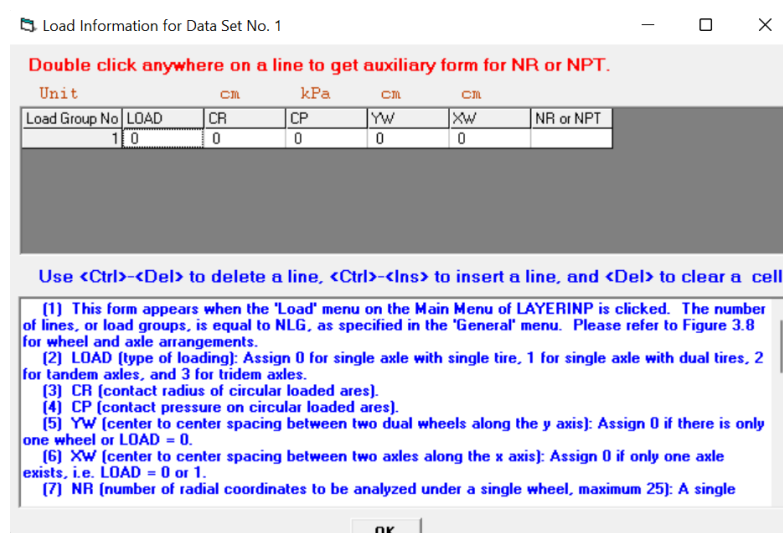


Gambar 3. 7 Tampilan pada Menu *Modul*

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

3.4.7. Load

Pada menu *load*, jumlah unit yang berada dalam menu ini sesuai dengan jumlah NLG pada menu *general*. Pada kolom *load* (0) untuk sumbu tunggal roda tunggal, (2) untuk sumbu tandem, (3) untuk sumbu *triple*. Kolom CR merupakan radius kontak pembebanan. Kemudian pada kolom CP merupakan nilai beban. Kolom XW dan YW merupakan jarak antar roda arah x dan arah y. Untuk Kolom terakhir yaitu NR dan NPT merupakan titik koordinat tegangan-regangan yang ingin ditinjau. Berikut merupakan tampilan dari menu *Load* dapat dilihat pada **Gambar 3.8** Berikut.



Gambar 3. 8 Tampilan pada Menu *Load*

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2022)

3.5 Analisis Kerusakan Terhadap Perkerasan

Sebuah jalan sudah direncanakan untuk menahan suatu beban kendaraan yang dilalui oleh kendaraan yang dilintasinya sesuai dengan kelas jalan tersebut. Beban tersebut merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya kerusakan pada jalan. Program *KENPAVE* memiliki hasil *output* dalam bentuk nilai regangan dan tegangan yang dapat digunakan sebagai prediksi kerusakan yang akan terjadi. Berikut merupakan kerusakan yang dapat diprediksi. Persamaan yang digunakan untuk memprediksi repetisi beban yang terjadi menggunakan persamaan metode yang berasal dari The Asphalt Institute 1970.

3.5.1 *Rutting*

Rutting merupakan kerusakan permukaan yang berbentuk penurunan aspal yang memanjang (*longitudinal depression*). Nilai jumlah repetisi beban dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan **Persamaan 3.2** berikut

$$N_r = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.2)$$

dengan:

N_r = nilai jumlah repetisi beban yang diizinkan dalam mengontrol *rutting*,

f_4, f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

ϵ_c = regangan tegangan vertikal di atas lapisan dasar.

3.5.2 *Fatigue Cracking*

Cracking merupakan retak pada perkerasan yang ditimbulkan oleh beberapa hal dan mempunyai banyak pola. Persamaan dalam menghitung *fatigue cracking* untuk melihat jumlah repetisi beban yang muncul berdasarkan regangan tarik pada bagian bawah permukaan. Berikut bisa dilihat pada **Persamaan 3.3**

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} | E |^{-0,854} \quad (3.3)$$

dengan:

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

ϵ_t = *tensile strain* pada letak tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur / regangan Tarik pada bagian bawah lapis permukaan dan

E = modulus elastis pada lapis permukaan.

3.5.3 *Permanent Deformation*

Deformation merupakan perubahan profil pada permukaan jalan. Berikut merupakan persamaan deformasi permanen untuk mengetahui berapa jumlah repetisi beban yang diterima. Berikut dapat dilihat pada **Persamaan 3.4**.

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3.4)$$

dengan:

N_d = jumlah nilai repetisi sebuah beban yang diizinkan untuk mengontrol deformasi permanen,

ϵ_c = regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar dan

f_4, f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen.

3.6 Nilai Sisa Umur Layanan

Pengertian umur layanan perkerasan adalah kemampuan daya dukung sebuah jalan terhadap adanya beban lalu lintas yang melewatinya secara berulang-ulang sampai pada waktu jalan tersebut dilakukan perbaikan. Analisa nilai sisa dapat ditentukan dengan menghitung jumlah lalu lintas aktual serta jumlah repetisi beban yang diizinkan saat terjadi keruntuhan (*failure*) yang disimbolkan dalam satuan 18-Kip *Equivalent Standard Axle Load (ESAL)*. Cara menghitung nilai umur layanan yang menggunakan sebuah persamaan menurut *AASHTO 1993* berikut

$$RL = 100 \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}}\right) \quad (3.5)$$

dengan:

RL = *Remaining Life* (%),

N_p = Σ kumulatif W18 per tahun (ESAL) dan

N_{15} = kumulatif W18 tahun terakhir umur rencana (ESAL).

3.7 Karakteristik Material *Elastic Layer*

Karakteristik material yang digunakan pada penelitian ini yaitu karakteristik material *Elastic Layer*. Pada karakteristik ini dimodelkan bahwa pada setiap *layer* struktur perkerasan yaitu homogen, isotropis, dan elastis secara linier. Untuk pemodelan *layer* secara linier bisa mendapatkan nilai tegangan, regangan, defleksi pada struktur permukaan yang telah diberi beban.

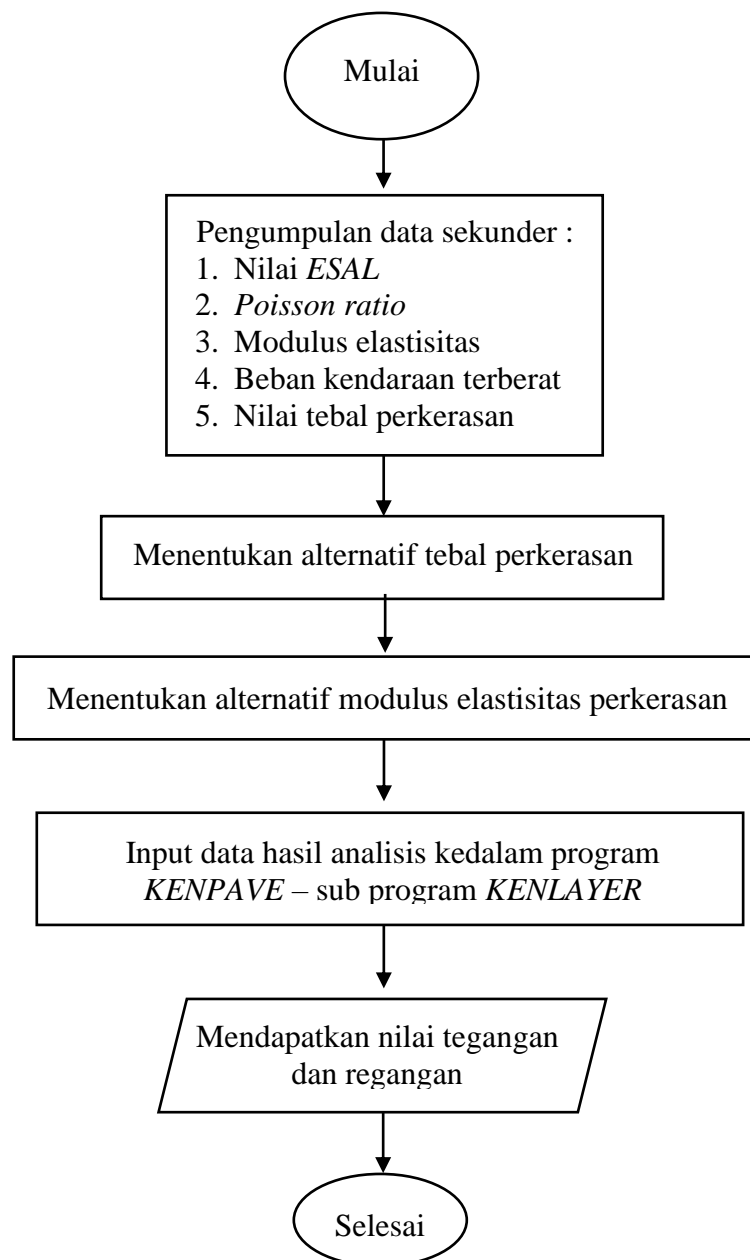
3.8 Prosedur Menggunakan Program *KENPAVE*

Pemodelan penggunaan program *KENPAVE* untuk tebal lapis perkerasan sebagai berikut.

1. Menentukan data berupa *properties material* seperti
 - a. Tebal pada setiap lapis perkerasan,
 - b. Menentukan asumsi nilai *modulus elastisitas* (E) pada tiap-tiap lapis perkerasan,
 - c. Menentukan nilai *poisson's ratio* dari setiap lapis perkerasan berdasarkan jenisnya.
2. Menganalisis data lalu lintas minimum seperti
 - a. Menentukan jangka periode waktu yang akan ditinjau,
 - b. Menghitung nilai lalu lintas harian (LHR) pada tahun yang direncanakan,
 - c. Menentukan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas,
 - d. Menentukan beban sumbu roda.
3. Melakukan pemodelan struktur perkerasan pada program *KENPAVE*
4. Menggunakan sub program *KENLAYER* untuk perkerasan lentur
5. Memasukkan data data informasi seperti judul berkas, jumlah *layer*, tipe material
6. Memasukkan Jumlah *point* yang dianalisa beserta jarak *vertical*
7. Memasukkan tebal dan nilai *poisson ratio* pada tiap lapis
8. Memasukkan ikatan antar lapis
9. Memasukkan jumlah periode yang akan ditinjau dan nilai *modulus elastisitas* pada tiap tiap lapis
10. Memasukkan data beban lalu lintas

11. Menghitung sisa umur perkerasan
12. Mendapatkan hasil keluaran seperti nilai tegangan, regangan, umur rencana

Adapun langkah dalam penelitian ini dapat dijabarkan secara singkat pada bagan alir menggunakan program *KENPAVE* seperti **Gambar 3.9** Berikut.



Gambar 3.9 Prosedur Desain dengan Program *KENPAVE*

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode pengambilan data pada penelitian ini menggunakan data sekunder. Perbedaan antara data primer dan data sekunder yaitu pada data primer data yang mengambil sebuah data secara langsung oleh peneliti pada lokasi penelitian. Data Primer dapat dilakukan dengan cara survei langsung, wawancara, atau dengan observasi, sedangkan pengertian data sekunder adalah data yang tidak diambil secara langsung atau dapat melalui media perantara yang data tersebut tercatat oleh pihak lain. Pada data sekunder ini bisa merupakan catatan atau kumpulan laporan yang tersusun dalam arsip baik tidak dipublikasi maupun dipublikasi.

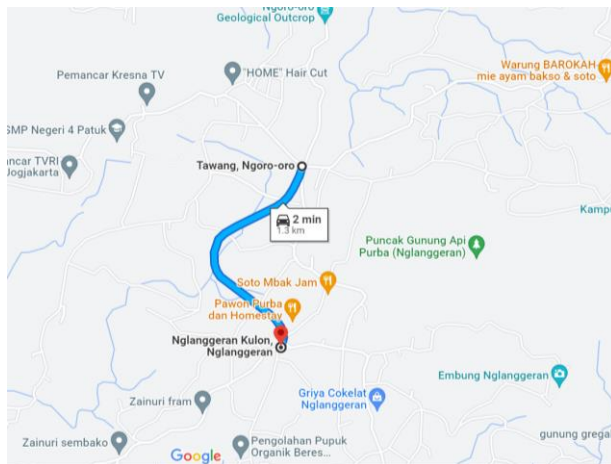
4.2 Pengumpulan data

Jenis pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Balai Besar Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Regional Jawa tengah - DIY. Berikut merupakan data yang dibutuhkan.

1. Peta lokasi studi kasus
2. Data lalu lintas rata-rata harian (LHR)
3. Data *properties material*
4. Data dari struktur perkerasan jalan (panjang jalan, lebar lajur, lebar median, bahu jalan, jumlah arah dan jalur jalan).

4.3 Lokasi Studi Kasus

Objek pada studi kasus dalam penelitian ini berada pada Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen I. Pada Segmen I ini, stasiun awal berada pada STA 0+000 kemudian berakhir pada STA 1+950. Ruas Jalan Tawang - Ngalang berada pada Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi yang akan diteliti dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut ini.

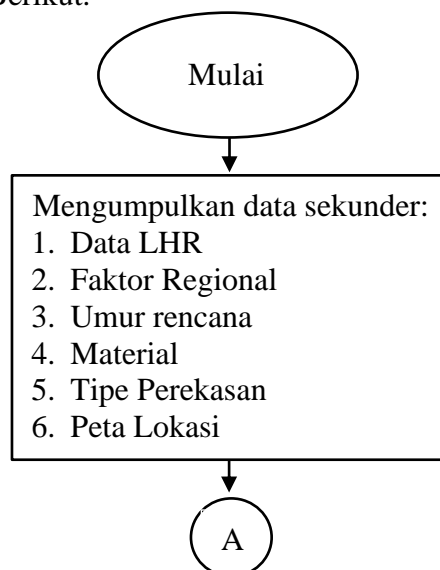


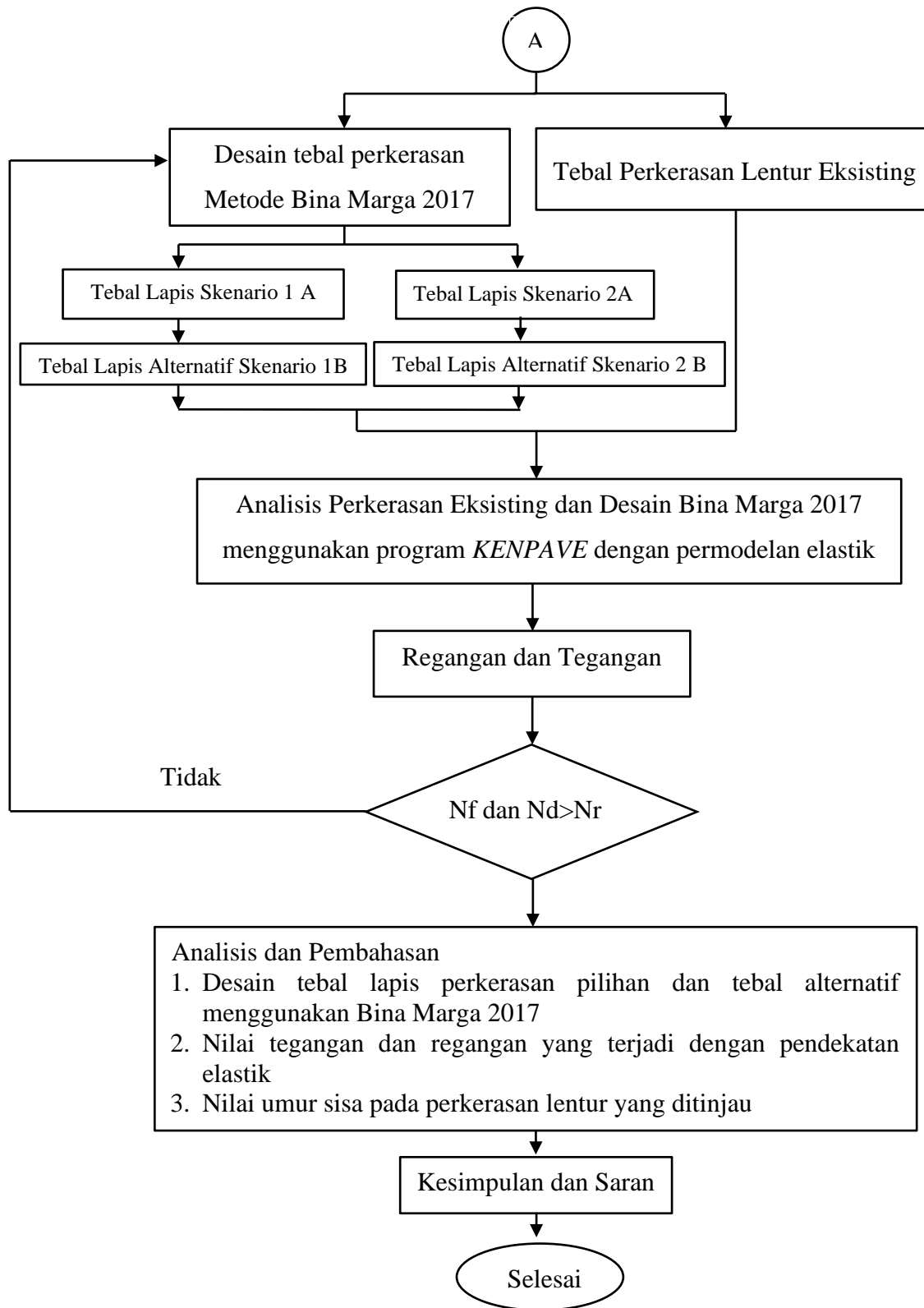
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Objek Penelitian

Sumber: Google Maps (Diakses 18 Desember 2022)

4.4 Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir (*Flow Chart*)

Adapun tahapan penelitian ini dapat dijelaskan secara singkat pada bagan alir seperti **Gambar 4.2** Berikut.





Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017

5.1.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Balai Besar Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Regional Jawa tengah - DIY. Data tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

5.1.2 Data Tebal Eksisting Perkerasan

Pembangunan pada Ruas Tawang – Ngalang segmen I dibangun pada bulan Maret tahun 2021 dan selesai dikerjakan pada bulan November tahun 2021. Berdasarkan hasil data yang didapatkan pada Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, tebal perkerasan untuk eksisting mempunyai beberapa lapis yang dilihat pada **Tabel 5.1** di bawah ini

Tabel 5. 1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)
<i>AC – WC</i>	4
<i>AC – BC</i>	6
<i>AC - BASE</i>	8
LFA kelas A	30

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Provinsi DIY (2017)

5.1.3 Kondisi Pada Ruas Tawang – Ngalang Segmen I

Keadaan pada Ruas Tawang – Ngalang I dapat dilihat pada **Tabel 5.2** berikut

Tabel 5. 2 Kondisi Ruas Tawang - Ngalang Segmen I

No	Data	Keterangan
1	Jenis Jalan	Kolektor
2	Umur rencan (UR)	20 Tahun
3	Pertumbuhan lalu lintas (i)	16,5 %
4	Distribusi kendaraan	1 Jalur 2 Lajur

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Provinsi DIY (2017),
Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (2017)

5.1.4 Data Lalu Lintas

Data sekunder yang didapatkan dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional untuk lalu lintas harian pada Ruas Jalan Piyungan – Batas Kabupaten Gunungkidul periode 2014 hingga 2017. Data LHR yang digunakan pada penelitian ini merupakan data LHR dari Ruas Jalan Piyungan – Batas Kabupaten Gunungkidul. Opsi menggunakan data LHR pada ruas jalan tersebut disebabkan pada Ruas Jalan Tawang- Ngalang belum tersedia dikarenakan ruas tersebut belum dibangun. Alasan penggunaan data LHR tersebut dipilih karena ruas tersebut merupakan ruas yang terdekat dari Ruas Jalan Tawang – Ngalang serta kelas jalan tersebut memiliki kelas jalan yang mendekati jika akan digunakan sebagai data LHR dengan ruas jalan yang akan dibangun. Data LHR tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.3**

Tabel 5. 3 Data LHR Ruas Jalan Piyungan - Batas Kabupaten Gunungkidul

No.	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2014 (Kend/ 2 Arah/Hari)	LHR 2015 (Kend/ 2 Arah/Hari)	LHR 2016 (Kend/ 2 Arah/Hari)	LHR 2017 (Kend/ 2 Arah/Hari)
1	1	Sepeda motor	23173	35497	65042	35497
2	2	Mobil Penumpang	2553	1826	11586	1826

**Lanjutan Tabel 5.3 Data LHR Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten
Gunungkidul**

No.	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2014 (Kend/ 2 Arah/Hari)	LHR 2015 (Kend/ 2 Arah/Hari)	LHR 2016 (Kend/ 2 Arah/Hari)	LHR 2017 (Kend/ 2 Arah/Hari)
3	3	Oplet, Combi, Minibus	436	5701	165	5701
4	4	<i>Pick-Up</i> , <i>Micro</i> Truk	1555	2010	2542	2010
5	5a	Bus Kecil	365	180	473	180
6	5b	Bus Besar	313	146	207	146
7	6a	Truk 2 Sumbu 4 Roda	502	575	490	575
8	6b	Truk 2 Sumbu 6 Roda	1266	1335	2582	1335
9	7a	Truk 3 Sumbu	132	115	119	115
10	7b	Truk 2 Sumbu	0	7	3	7
11	7c	Truk 4 Sumbu	1	24	64	24

Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (2017)

Dari Tabel 5.3 dapat dikelompokkan menurut jenis kendaraan berdasarkan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (emp) pada buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Pengelompokan ini terbagi menjadi 3 jenis kendaraan, jenis kendaraan tersebut adalah *Motorcycle* (MC), *Heavy Vehicles* (HV) dan *Light Vehicles* (LV). Jenis kendaraan yang termasuk kedalam MC yaitu golongan kendaraan 1, sedangkan pada jenis HV yaitu golongan kendaraan 5b hingga 7c dan pada jenis LV adalah golongan kendaraan 2 – 5a. Pembagian jenis kendaraan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.4** berikut :

**Tabel 5. 4 LHR Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten Gunungkidul
Berdasarkan Jenis Kendaraan**

Jenis Kendaraan	EMP	Jumlah Kendaraan							
		2014		2015		2016		2017	
		kend	SMP	kend	SMP	kend	SMP	kend	SMP
Sepeda Motor (MC)	0,5	23173	11586,5	35497	17748,5	65042	32521	35497	17748,5
Kendaraan Berat Menengah (HV)	1,3	2214	2878,2	2202	2862,6	3465	4504,5	2202	2862,6
Kendaraan Ringan (LV)	1	4909	4909	9717	9717	14766	14766	9717	9717
Jumlah	-	-	19373,7	-	30328,1	-	51791,5	-	30328,1

5.1.5 Pertumbuhan Lalu Lintas Menggunakan Metode Regresi Linier

Perkiraan pada suatu pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan metode regresi linier merupakan sebuah metode penyelidikan statistik dan data. Analisa pada tingkat pertumbuhan lalu lintas pada kasus ini berdasarkan data LHR yang didapatkan dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional dari tahun 2014 hingga 2017. Untuk mengetahui lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel 5.5** hubungan antara LHR dan tahun sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Angka Pertumbuhan Lalu lintas Metode Regresi Linier

Tahun	x	LHR (smp) y	\bar{x} = x - xr	\bar{y} = y - yr	\bar{x}^2	$\bar{x} \cdot \bar{y}$
2014	1	19374	-1,5	-13582	2,25	20372
2015	2	30328	-0,5	-2627	0,25	1314
2016	3	51792	0,5	18836	0,25	9418
2017	4	30328	1,5	-2627	2,25	-3941
Σ	10	131821	0	0	5	27163

$$\begin{aligned}
X_r &= \frac{\Sigma x}{n} = \frac{10}{4} = 2,5 \\
Y_r &= \frac{\Sigma y}{n} = \frac{131821}{4} = 32955,3 \\
\Sigma &= na + b\Sigma x \\
131821 &= 4.a + b.0 \\
a &= \frac{131821}{4} = 32955,3 \\
\Sigma \bar{x} \cdot \bar{y} &= a\Sigma x + b\Sigma x^2 \\
27163 &= a.0 + b.5 \\
b &= \frac{27163}{5} = 5432,6 \\
i &= \frac{b}{a} \times 100\% \\
i &= \frac{5432,6}{32955,3} \times 100\% = 16,5\%
\end{aligned}$$

dari hasil di atas didapatkan angka pertumbuhan lalu lintas (i) dengan nilai 16,5% .

5.1.6 Perhitungan Beban Lalu Lintas

Dari data lalu lintas yang diperoleh tersebut, untuk mendapatkan nilai *CESA* maka langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut.

1. Faktor pertumbuhan lalu lintas (R)

Faktor pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam satuan per tahun (% tahun). Untuk nilai faktor pertumbuhan lalu lintas (2017-2020) dan (2021-2040) dengan menggunakan persamaan pada persamaan 3.1 Berikut merupakan perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas 2017-2020 dan 2021-2041

$$\begin{aligned}
R_{(2017-2020)} &= \frac{(1+0,01 \times 0,165)^4 - 1}{0,01 \times 0,165} \\
&= 4,010\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{(2021-2040)} &= \frac{(1+0,01 \times 0,165)^{20} - 1}{0,01 \times 0,165} \\
&= 20,317\%
\end{aligned}$$

Sehingga pada nilai R untuk masing-masing rencana adalah R (2017-2020) sebesar 4,010 % dan R (2021-2040) sebesar 20,317 %

2. Faktor distribusi lajur (D_L)

Nilai faktor distribusi lajur sesuai pada Tabel 3.4 untuk kendaraan niaga dengan jumlah lajur pada setiap arah yaitu 1.

3. Faktor distribusi arah (D_D)

Faktor distribusi arah menggunakan 0,5 sesuai yang disarankan dengan ketentuan Bina Marga 2017 menggunakan rentang nilai 0,5.

4. *VDF (Vehicle Damage Factor)*

Nilai *VDF* pada setiap kendaraan niaga yang digunakan dalam menghitung *ESA* dapat dilihat pada **Tabel 5.6** berikut.

Tabel 5. 6 Nilai *VDF* Masing-masing Jenis Kendaraan

Kode	Jenis Kendaraan	Jawa			
		Beban Aktual		Beban Normal	
		VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
2	Mobil Penumpang	-	-	-	-
3	Oplet, Combi, Minibus	-	-	-	-
4	<i>Pick-Up, Micro Truk</i>	-	-	-	-
5a	Bus Kecil	0,3	0,2	0,3	0,2
5b	Bus Besar	1,0	1,0	1,0	1,0
6a	Truk 2 Sumbu 4 Roda	0,55	0,5	0,55	0,5
6b	Truk 2 Sumbu 6 Roda	5,3	9,2	4	5,1
7a	Truk 3 Sumbu	8,2	14,4	4,7	6,4
7b	Truk Gandeng	11,8	18,2	9,4	13
7c	Truk Semi Trailer	11,0	19,8	7,4	9,7

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Perhitungan beban sumbu standar kumulatif (*CESA*) dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.2 Berikut merupakan salah satu cara dalam perhitungan *ESA4* Normal (2021-2041) pada golongan 5b.

$$\begin{aligned}
 ESA4 &= (269 \times 1) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 0,20317 \\
 &= 997393,939
 \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* dapat dilihat pada **Tabel 5.7 - Tabel 5.9** berikut.

Tabel 5. 7 Perhitungan Nilai CESA 4

Gol	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (2 Arah)	LHR 2017 – 2020	LHR 2021 -2040	VDF4 Aktual	VDF4 Normal	ESA4 (2017-2020)	ESA4 (2021-2040)
2	Mobil Penumpang	1826	2888	3364	-	-	-	-
3	Oplet,Combi, Minibus	5701	9015	10502	-	-	-	-
4	<i>Pick-Up</i> , Micro Truk	2010	3179	3703	-	-	-	-
5a	Bus Kecil	180	285	332	-	-	-	-
5b	Bus Besar	146	231	269	1	1	106844,076	997393,939
6a	Truk 2 Sumbu 4 roda	575	910	1060	0,55	0,55	231434,513	2161638,165
6b	Truk 2 Sumbu 6 roda	1335	2111	2460	5,3	4	5177912,727	36484596,126
7a	Truk 3 Sumbu	115	182	212	8,2	4,7	690095,640	3694436,136
7b	Truk Gandeng	7	12	13	11,8	9,4	60447,402	453091,224
7c	Truk Semi Trailer	24	38	45	11	7,4	193197,507	1234692,125
ESA 4							6.459.931,866	45.025.847,715

Tabel 5. 8 Perhitungan Nilai CESA 5

Gol	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (2 Arah)	LHR 2017-2020	LHR 2021-2040	VDF5 Aktual	VDF5 Normal	ESA5 (2017-2020)	ESA5 (2021-2040)
2	Mobil Penumpang	1826	3364	3919	-	-	-	-
3	Oplet,Combi, Minibus	5701	10502	12235	-	-	-	-
4	<i>Pick-Up</i> , Micro Truk	2010	3703	4314	-	-	-	-
5a	Bus Kecil	180	332	387	-	-	-	-
5b	Bus Besar	146	269	314	1	1	169047,819	997393,939
6a	Truk 2 Sumbu 4 roda	575	1060	1234	0,5	0,5	332972,976	1965125,604
6b	Truk 2 Sumbu 6 roda	1335	2460	2865	9,2	5,1	14212603,867	46517860,061
7a	Truk 3 Sumbu	115	212	247	14,4	6,4	1917924,341	5030721,547
7b	Truk Gandeng	7	13	16	18,2	13	159827,028	626615,523
7c	Truk Semi Trailer	24	45	52	19,8	9,7	550612,895	1618447,785
ESA 5							17.342.988,926	56.756.164,460

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Rencana Jumlah Kendaraan Setiap Tahun

Tahun	<i>CESA 4</i>	<i>CESA 5</i>
2021	2.216.207	2.793.582
2022	4.436.071	5.591.774
2023	6.659.597	8.394.583
2024	8.886.793	11.202.016
2025	11.117.663	14.014.081
2026	13.352.214	16.830.787
2027	15.590.452	19.652.140
2028	17.832.383	22.478.148
2029	20.078.014	25.308.819
2030	22.327.349	28.144.161
2031	24.580.397	30.984.181
2032	26.837.161	33.828.888
2033	29.097.650	36.678.287
2034	31.361.868	39.532.389
2035	33.629.822	42.391.200
2036	35.901.518	45.254.727
2037	38.176.963	48.122.980
2038	40.456.161	50.995.965
2039	42.739.121	53.873.691
2040	45.025.848	56.756.164

5.1.7 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2017

Penentuan tebal lapis perkerasan berdasarkan hasil dari perhitungan yang sudah dilakukan, melihat dari nilai *CESA 4* yang tertera pada umur rencana sebelumnya dapat digunakan pada jenis perkerasan berdasarkan syarat yang sudah ditentukan. Berikut adalah cara pemilihan jenis perkerasan yang dapat dilihat pada **Tabel 5.10** berikut.

Tabel 5. 10 Pemelihan Jenis Perkerasan Berdasarkan Nilai Pembebanan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	> 4-10	>10-30	>30-200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR >/ 2,5 %)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal \geq 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat,jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Nilai *CESA 4* hasil dari perhitungan didapatkan nilai sebesar 45.025.847,715. Kemudian untuk pemilihan jenis perkerasan yang dapat digunakan sesuai pada tabel 5.10 yaitu menggunakan bagan desain 3B jenis perkerasan AC dengan LFA untuk skenario 1 A sementara untuk skenario 2 A menggunakan bagan desain 3 jenis perkerasan AC serta CTB dengan pertimbangan asumsi biaya dan pembebanan yang terkecil. Berdasarkan nilai tersebut pada tabel 5.10 menunjukkan bahwa dapat menggunakan bagan 3B dan bagan 3 untuk menentukan jenis perkerasan. Selain nilai *CESA 4* didapatkan juga nilai *CESA 5* yang bertujuan untuk memilih tebal suatu lapis perkerasan. Besarnya nilai *CESA 5* hasil perhitungan yaitu sebesar 56.756.164,460. Penentuan tebal perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 5.11** dan **Tabel 5.12** berikut

Tabel 5. 11 Desain Perkerasan Lentur Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

	STRUKTUR PERKERASAN								
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
	Solusi yang dipilih				Lihat Catatan				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	< 2	$\geq 2-4$	> 4-7	> 7-10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 -200
	KETEBALAN PERKERASAN								
AC – WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC – BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC – BASE	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

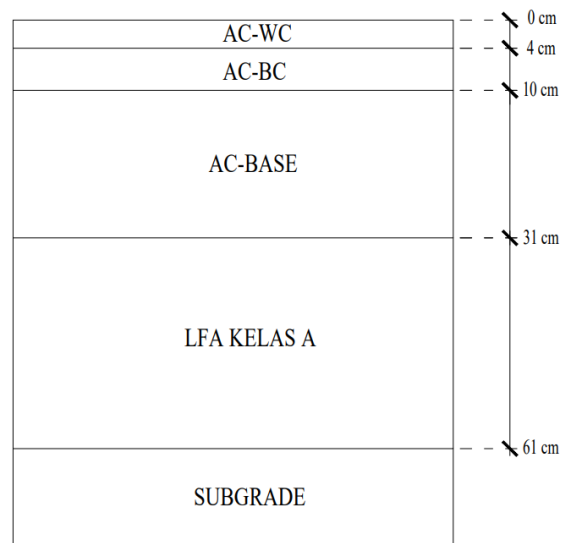
Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Tabel 5. 12 Desain Perkerasan Lentur dengan CTB

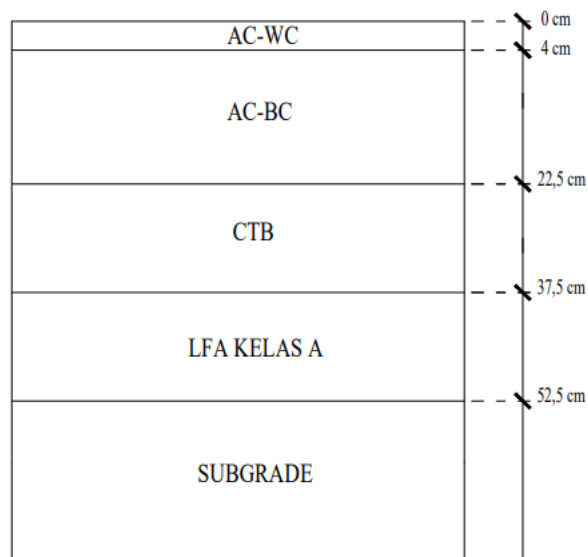
	F1 ²	F2	F3	F4	F5
Untuk Lalu Lintas di bawah 10 Juta ESA5 lihat bagan desaiin 3A-3B dan 3c		Lihat Bagan	Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³		
Repitisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₅)	>10 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 -200	> 200 - 500
Jenis permukaan berpengikat	AC			AC	
Jenis Lapis Pondasi	<i>Cemen Treated Base (CTB)</i>				
<i>AC WC</i>	40	40	40	50	50
<i>AC BC⁴</i>	60	60	60	60	60
<i>AC BC</i> atau <i>AC Base</i>	75	100	125	160	220
<i>CTB³</i>	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Dari kesimpulan pada Tabel 5.11 hingga Tabel 5.12 maka didapatkan 2 tipe alternatif tebal lapis perkerasan lentur serta jenis perkerasan yang digunakan. Setelah didapatkan hasil keseluruhan dengan perhitungan metode Bina Marga 2017, selanjutnya dapat dikontrol menggunakan aplikasi *KENPAVE*. Untuk detail lebih lanjut dapat dilihat pada **Gambar 5.1** dan **Gambar 5.2** Berikut



Gambar 5. 1 Tebal Perkerasan Hasil Perhitungan Skenario 1 A



Gambar 5. 2 Tebal Perkerasan Hasil Perhitungan Skenario 2 A

5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Menggunakan *KENPAVE*

Parameter yang digunakan dalam menggunakan aplikasi *KENPAVE* agar dapat mengetahui nilai dari regangan, tegangan serta lendutan yaitu *Poisson's Ratio* dan modulus elastisitas pada setiap lapis perkerasan. Nilai regangan di atas lapis permukaan aspal dan pada bagian bawah lapis pondasi digunakan untuk mengetahui nilai repetisi beban yang terjadi.

5.2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Menggunakan *KENPAVE*

Urutan dalam penggunaan program *KENPAVE* untuk mencari perhitungan regangan dan tegangan perkerasan lentur. Langkah awal pilih menu *LAYERNIP* kemudian masukkan data pada masing-masing pilihan pada *Toolbar* seperti berikut ini.

a. General

Pada tahap ini dapat diisi dengan nilai pada **Tabel 5.13** berikut.

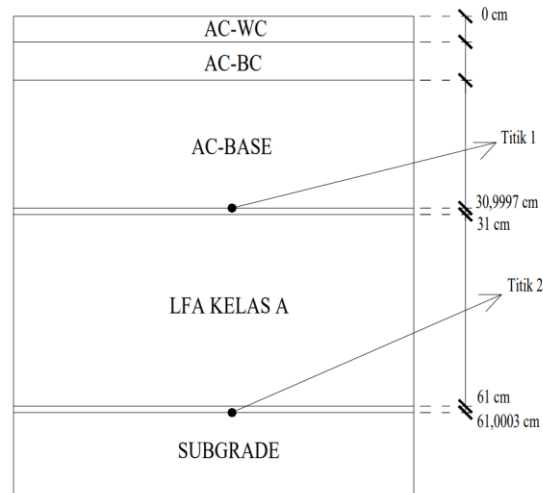
Tabel 5. 13 Nilai pada Menu *General*

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Bina Marga 2017	Ditulis sesuai judul yang dikerjakan
<i>MATL</i>	1	Pada analisis lapis perkerasan adalah linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
<i>NLG</i>	1	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	5	Jumlah lapis perkerasan yang ditinjau
<i>NZ</i>	5	Letak koordinat arah Z yang dianalisis
<i>ICL</i>	80	Mengikuti <i>KENPAVE</i>
<i>NSDT</i>	9	Digunakan untuk vertical <i>displacement</i> , nilai regangan dan tegangan
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan yang mengikat
<i>NLBT</i>	0	
<i>NLCT</i>	0	
<i>NUNIT</i>	1	Satuan menggunakan SI (Standar Internasional)

b. *Zcoord*

Jumlah *point* yang ada pada menu *Zcoord* sesuai dengan jumlah *NZ* pada menu *General*. Pada titik tinjauan 1 adalah titik dasar lapisan pada bagian bawah aspal yang memberikan informasi terkait kerusakan jenis *fatigue cracking* atau retak lelah sedangkan pada titik 2 merupakan kerusakan *deformation*. Penggunaan

selisih 0,0003 pada penelitian ini bertujuan untuk melihat nilai regangan yang terjadi diatas lapis permukaan. Titik terjadinya kerusakan bisa dilihat pada **Gambar 5.3**.



Gambar 5. 3 Letak Titik Kerusakan yang Ditinjau pada Skenario 1 A

c. *Layer*

Untuk menu ini nilai yang dimasukkan adalah *Poisson's Ratio* pada setiap lapis perkerasan, Berikut merupakan parameter yang bisa dilihat pada **Tabel 5.14**

Tabel 5. 14 Data yang Diisi Pada Menu *Layer*

Nomer Layer	Thicknes (cm)	Poisson's Ratio
1	4	0,40
2	6	0,40
3	21	0,40
4	30	0,35
5	∞	0,45

d. *Moduli*

Data yang digunakan adalah data modulus elastisitas untuk tiap lapis. Bisa dilihat pada hasil tebal perhitungan maka didapat modulus setiap lapisnya. Untuk nilainya dapat dilihat pada **Tabel 5.15** berikut.

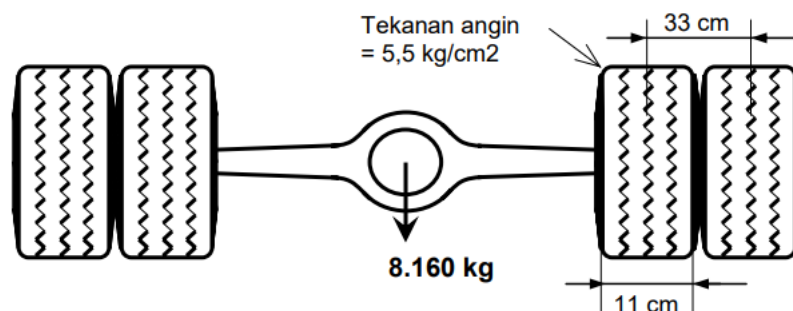
Tabel 5. 15 Nilai Modulus Elastisitas

No	Bahan	Modulus Elastisitas (kPa)
1	AC-WC	1.100.000
2	AC-BC	1.200.000
3	AC-Base	1.600.000
4	LFA Kelas A	315.000
5	Subgrade	150.000

e. *Load*

Dalam mengisi data pada menu *Load* menggunakan data kondisi beban di Indonesia menurut Sukirman (2010). Data tersebut terdiri dari data jarak ban pada roda ganda, dimensi sumbu kendaraan dan tekanan ban. Untuk detail angka yang dimasukkan serta gambar ilustrasi sumbu standar dapat dilihat sebagai berikut.

1. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda adalah 33 cm
2. Standar beban kendaraan adalah 18.000 pon atau 8,16 ton
3. Jari-jari bidang kontak adalah 11 cm, dan
4. Tekanan roda satu ban adalah 5,5 kg/cm²

**Gambar 5. 4 Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia**

(Sumber: Sukirman, 2010)

Tabel 5. 16 Angka yang Dimasukkan Kedalam Menu *Load*

Data No.	Nilai	Group
Load	1	Digunakan pada beban sumbu standar sebesar 8160 kg
CR	11	Nilai yang berdasarkan jarak antar ban
CP	550	Nilai berdasarkan tekanan ban
YW	33	Analisis ini menggunakan <i>single axle with dual tires</i>
XW	0	Analisis ini menggunakan <i>single axle with dual tires</i>
NPT or NR	3	Koordinat yang diamati adalah 3

5.2.2 Hasil Analisis *KENLAYER*

Hasil *output* dari *KENLAYER* didapatkan hasil nilai tegangan dan regangan yang berasal dari struktur perkerasan yang ditinjau. Pada Tabel 5.17 - Tabel 5.19 merupakan hasil regangan pada perkerasan berdasarkan kondisi yang disesuaikan pada struktur perkerasan serta berdasarkan koordinat yang ditinjau.

Tabel 5. 17 Hasil Analisis Eksisting

Pengulangan Beban	<i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 17,9997 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 17,9997 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 48,0003 cm
1	0,0001742	0,0002306	0,0002176
2	0,0001754	0,0001851	0,0002366
3	0.0001714	0.0001572	0,0002400
Maksimum	0,0001754	0,0002306	0,0002400

Tabel 5. 18 Hasil Analisis Skenario 1 A

Pengulangan Beban	<i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 30,9997 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 30,9997 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 61,0003 cm
1	0,00009026	0,0001159	0,0001323
2	0,00009598	0,0001186	0,0001414
3	0,00009667	0,0001168	0,0001431
Maksimum	0,00009667	0,0001186	0,0001431

Tabel 5. 19 Hasil Analisis Skenario 2 A

Pengulangan Beban	<i>Horizontal Strain</i> pada kedalaman 22,4997 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 22,4997 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 52,5003 cm
1	0,0001159	0,0001709	0,0001802
2	0,0001198	0,0001509	0,0001948
3	0,0001189	0,0001377	0,0001975
Maksimum	0,0001198	0,0001709	0,0001975

Dari data yang diketahui pada ketiga tabel di atas, didapatkan nilai regangan *vertical strain* di bawah lapisan permukaan dan lapisan pondasi yang menimbulkan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *deformation*. Hasil tersebut kemudian dianalisis sebagai berikut.

1. Perhitungan nilai N_f dan N_d untuk Eksisting Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I

Menghitung nilai N_f untuk *fatigue cracking*

$$N_f = 0,079 (\epsilon t)^{-3,921} I E I^{-0,854}$$

$$N_f = 0,079 (0,0001754)^{-3,921} I 1200000 I^{-0,854}$$

$$N_f = 273.182.116,24 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai N_d untuk *rutting*

$$N_{dr} = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s}$$

$$N_{dr} = 1,365 \times (0,0002306)^{-4,477}$$

$$N_{dr} = 26.218.724,01 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai N_d untuk *permanent deformation*

$$N_{dp} = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s}$$

$$N_{dp} = 1,365 \times (0,0002400)^{-4,477}$$

$$N_{dp} = 21.924.359,88 \text{ ESAL}$$

2. Perhitungan nilai N_f dan N_d untuk skenario 1 A

Menghitung nilai N_f untuk *fatigue cracking*

$$N_f = 0,079 (\epsilon_t)^{-3,921} I E I^{-0,854}$$

$$N_f = 0,079 (0,0000967)^{-3,921} I 1200000 I^{-0,854}$$

$$N_f = 2.826.934.831,66 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai N_d untuk *rutting*

$$N_{dr} = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s}$$

$$N_{dr} = 1,365 \times (0,0001185)^{-4,477}$$

$$N_{dr} = 516.530.055,33 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai N_d untuk *permanent deformation*

$$N_{dp} = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s}$$

$$N_{dp} = 1,365 \times (0,0001431)^{-4,477}$$

$$N_{dp} = 221.990.306,61 \text{ ESAL}$$

3. Perhitungan nilai N_f dan N_d untuk skenario 2 A

Menghitung nilai N_f untuk *fatigue cracking*

$$N_f = 0,079 (\epsilon_t)^{-3,921} I E I^{-0,854}$$

$$N_f = 0,079 (0,0001198)^{-3,921} I 1200000 I^{-0,854}$$

$$N_f = 1.218.044.345,57 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai N_d untuk *rutting*

$$N_{dr} = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s}$$

$$N_{dr} = 1,365 \times (0,0001709)^{-4,477}$$

$$N_{dr} = 100.264.325,50 \text{ ESAL}$$

Menghitung nilai N_d untuk *permanent deformation*

$$N_{dp} = f_4 (\epsilon_c)^{-f_s}$$

$$N_{dp} = 1,365 \times (0,0001975)^{-4,477}$$

$$N_{dp} = 52.466.095,43 \text{ ESAL}$$

Berdasarkan hasil analisa tersebut, evaluasi dengan menggunakan program *KENPAVE* pemodelan eksisting, didapatkan jumlah repetisi beban yang didasari oleh nilai dari tegangan dan regangan. Sehingga untuk analisa beban lalu lintas yang dihasilkan oleh *KENLAYER* bisa dilihat pada **Tabel 5.20 - Tabel 5.22** berikut.

Tabel 5. 20 Analisa Beban Lalu Lintas Eksisting

Beban Lalu Lintas Rencana (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas
	Nf	Ndr	
45.025.847,72 ESAL	Nf	273.182.116,24	Nf > Nr (Ya)
45.025.847,72 ESAL	Ndr	26.218.724,01	Ndr < Nr (Tidak)
45.025.847,72 ESAL	Ndp	21.924.359,88	Ndp < Nr (Tidak)

Tabel 5. 21 Analisa Beban Lalu Lintas Skenario 1 A

Beban Lalu Lintas Rencana (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas
	Nf	Ndr	
45.025.847,72 ESAL	Nf	2.824.642.277,66	Nf > Nr (Ya)
45.025.847,72 ESAL	Ndr	514.583.075,88	Ndr > Nr (Ya)
45.025.847,72 ESAL	Ndp	221.990.306,61	Ndp > Nr (Ya)

Tabel 5. 22 Analisa Beban Lalu Lintas Skenario 2 A

Beban Lalu Lintas Rencana (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas
	Nf	Ndr	
45.025.847,72 ESAL	Nf	1.218.044.345,57	Nf > Nr (Ya)
45.025.847,72 ESAL	Ndr	100.264.325,50	Ndr > Nr (Ya)
45.025.847,72 ESAL	Ndp	52.466.095,43	Ndp > Nr (Ya)

Berdasarkan hasil Tabel 5.20 - Tabel 5.22, untuk pemodelan tebal perkerasan eksisting nilai N_d *rutting* dan *deformation* lebih kecil dari nilai Nr. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tebal perkerasan eksisting belum mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Selain itu hasil dari skenario 1 A dan skenario 2 A masuk dalam tahap mampu menahan beban yang direncanakan sesuai dengan umur rencana. Semua dari hasil tersebut akan disesuaikan kembali dengan lapis yang lebih optimal maka dilakukan desain alternatif untuk mendapatkan nilai yang dapat menahan beban lalu lintas selama umur rencana.

Mengenai hasil perbedaan nilai yang dihasilkan dari *output KENLAYER* yang menyebabkan suatu perkerasan tersebut memiliki hasil yang berbeda yaitu berdasarkan *input* pada setiap kondisi pada perkerasan yang diteliti. Parameter yang dimaksud tersebut seperti beban roda, modulus elastisitas, koordinat atau titik dimana terjadinya tegangan dan regangan, *poisson ratio*, ketebalan tiap *layer*. Faktor-faktor tersebut menjadikan hasil *output* pada *KENLAYER* berpengaruh terhadap nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan tersebut. Hasil yang berbeda satu dengan yang lainnya menimbulkan perbedaan kerusakan serta umur layanan suatu perkerasan.

5.3 Alternatif Tebal Perkerasan

Berdasarkan perhitungan serta hasil analisis menggunakan aplikasi *KENPAVE* dan metode Bina Marga 2017 tebal struktur perkerasan ini yang akan menjadi bahan evaluasi dari tebal eksisting. Pada metode ini akan dilakukan percobaan untuk mendesain ulang tebal perkerasan dengan 4 macam alternatif dengan 2 jenis material yang berbeda agar mencapai nilai minimum dari N_f dan N_d .

Perbedaan pada setiap alternatif perkerasan yaitu pada kondisi skenario 1 A dan alternatif skenario 1 B terdiri dari material yang sama hanya berbeda tebal pada surface course, sedangkan pada skenario 2 A dan alternatif skenario 2 B juga memiliki jenis material yang sama akan tetapi memiliki ketebalan yang berbeda pada tebal lapis perkerasan. Berikut hasil rekapitulasi pada **Tabel 5.23** untuk setiap lapis

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Tebal Perkerasan

Lapis Perkerasan	Eksisting (mm)	Skenario 1 A (mm)	Skenario 2 A (mm)	Alternatif Skenario 1 B (mm)	Alternatif Skenario 2 B (mm)
<i>Surface</i>	180	310	225	220	220
<i>Base</i>	300	300	150	300	150
<i>Sub base</i>	-	-	150	-	150

Setelah menentukan tebal alternatif, maka akan dicoba untuk diproses dan di running kedalam aplikasi *KENPAVE* yang outputnya berasal dari *KENLAYER*. Pada **Tabel 5.24** merupakan nilai dari hasil *KENLAYER*.

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain*

Jenis Kerusakan	Eksisting	Skenario 1 A	Skenario 2 A	Alternatif Skenario 1 B	Alternatif Skenario 2 B
<i>Horizontal Strain (Fatigue Cracking)</i>	0,0001742	0,00009026	0,0001159	0,0001397	0,0001186
	0,0001754	0,00009598	0,0001198	0,0001447	0,0001222
	0,0001714	0,00009667	0,0001189	0,0001437	0,0001211
Maksimum	0,0001754	0,0000967	0,0001198	0,0001447	0,0001222

Lanjutan Tabel 5.24 Rekapitulasi Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain*

Jenis Kerusakan	Eksisting	Skenario 1 A	Skenario 2 A	Alternatif Skenario 1 B	Alternatif Skenario 2 B
<i>Vertical Strain (Rutting)</i>	0,0002306	0,0001159	0,0001709	0,0001813	0,0001755
	0,0001851	0,0001186	0,0001509	0,0001625	0,0001531
	0,0001572	0,0001168	0,0001377	0,0001493	0,0001385
Maksimum	0,0002306	0,0001186	0,0001709	0,0001813	0,0001755
<i>Vertical Strain (Permanent Deformation)</i>	0,0002176	0,0001323	0,0001802	0,0001844	0,0001834
	0,0002366	0,0001414	0,0001948	0,0001995	0,0001984
	0,0002400	0,0001431	0,0001975	0,0002022	0,0002010
Maksimum	0,0002400	0,0001431	0,0001975	0,0002022	0,0002010

Dari **Tabel 5.24** maka rekapitulasi hasil nilai N_f dan N_d bisa diperoleh dengan menggunakan rumus Persamaan 3.2 - Persamaan 3.4 . Hasil tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.25** berikut.

Tabel 5. 25 Nilai Regangan dan Tegangan Maksimum pada Tiap Kondisi

Jenis Kerusakan		Eksisting	Skenario 1 A	Skenario 2 A	Alternatif Skenario 1 B	Alternatif Skenario 2 B
<i>Fatigue Cracking</i>	Tegangan	327.429	183.209	129.696	266.034	132.064
	Regangan	0,0001754	0,0000967	0,0001198	0,0001447	0,0001222
<i>Rutting</i>	Tegangan	135.165	60.914	116.132	100.800	120.051
	Regangan	0,0002306	0,0001186	0,0001709	0,0001813	0,0001755
<i>Permanent Deformation</i>	Tegangan	38.881	22.807	30.882	32.580	31.472
	Regangan	0,0002400	0,0001431	0,0001975	0,0002022	0,0002010

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Hasil Kontrol Beban

Kondisi	Beban Lalu Lintas Rencana (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Keterangan
		Nf	Ndr	
Eksisting	45.025.847,72 ESAL	Nf	273.182.116,24	Nf > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndr	26.218.724,01	Ndr > Nr (Tidak)
	45.025.847,72 ESAL	Ndp	21.924.359,88	Ndp > Nr (Tidak)
Skenario 1 A	45.025.847,72 ESAL	Nf	2.824.642.277,66	Nf > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndr	514.583.075,88	Ndr > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndp	221.990.306,61	Ndp > Nr (Ya)
Skenario 2 A	45.025.847,72 ESAL	Nf	121.8044.345,57	Nf > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndr	100.264.325,50	Ndr > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndp	52.466.095,43	Ndp > Nr (Ya)
Alternatif Skenario 1 B	45.025.847,72 ESAL	Nf	58.089.170,59	Nf > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndr	76.963.654,70	Ndr > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndp	47.222.658,96	Ndp > Nr (Ya)
Alternatif Skenario 2 B	45.025.847,72 ESAL	Nf	1.126.901.832,86	Nf > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndr	89.023.359,95	Ndr > Nr (Ya)
	45.025.847,72 ESAL	Ndp	48.498.008,17	Ndp > Nr (Ya)

Berdasarkan hasil tabel 5.26 didapatkan hasil kontrol pada setiap kondisi yang ditinjau. Pada kondisi eksisting nilai Ndr dan Ndp kurang dari nilai Nr. Maka dari itu untuk kondisi eksisting tidak bisa menahan beban lalu lintas selama umur layanan. Sedangkan pada kondisi Skenario 1 A, skenario 2 A serta alternatif skenario 1 B dan alternatif skenario 2 B nilai Nf, Ndr, dan Ndp lebih besar dibandingkan nilai Nr, sehingga untuk kondisi dari setiap perkerasan tersebut mampu untuk menahan beban lalu lintas yang terjadi selama masa layanan 20 tahun.

Selain itu pada tabel 5.26 dapat disimpulkan semakin tipis tebal perkerasan makak semakin kecil nilai repetisi yang dihasilkan dan masih dalam tahap aman untuk menahan beban lalu lintas sesuai umur rencana. Hal tersebut sesuai pada penelitian yang dilakukan oleh Karnurin (2020)

5.4 Umur Sisa Pelayanan Jalan

Setelah mendapatkan nilai kerusakan berdasarkan pembebanan yang berasal dari output program *KENPAVE* maka dapat diuraikan untuk menghitung umur sisa dari perkerasan selama umur rencana dengan Persamaan 3.5. Berikut salah satu uraiannya hasil dari perhitungan umur sisa pada kondisi skenario 1 A.

$$\begin{aligned}
 RL_{Fatigue} &= 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \\
 &= 100 \times \left(1 - \frac{45025847,72}{2826934831,66}\right) \\
 &= 98,407\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RL_{Rutting} &= 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \\
 &= 100 \times \left(1 - \frac{45025847,72}{516530055,33}\right) \\
 &= 91,283\%
 \end{aligned}$$

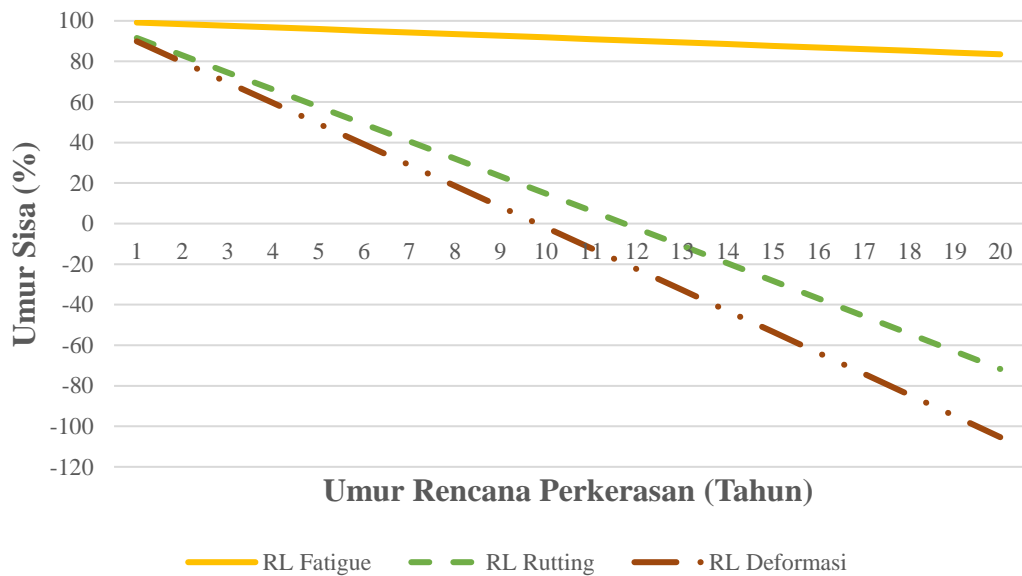
$$\begin{aligned}
 RL_{Deformation} &= 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \\
 &= 100 \times \left(1 - \frac{45025847,72}{221990306,61}\right) \\
 &= 79,717\%
 \end{aligned}$$

dengan :

Np = Nilai lalu lintas pertahun

$N_{1,5}$ = Nilai repetisi beban

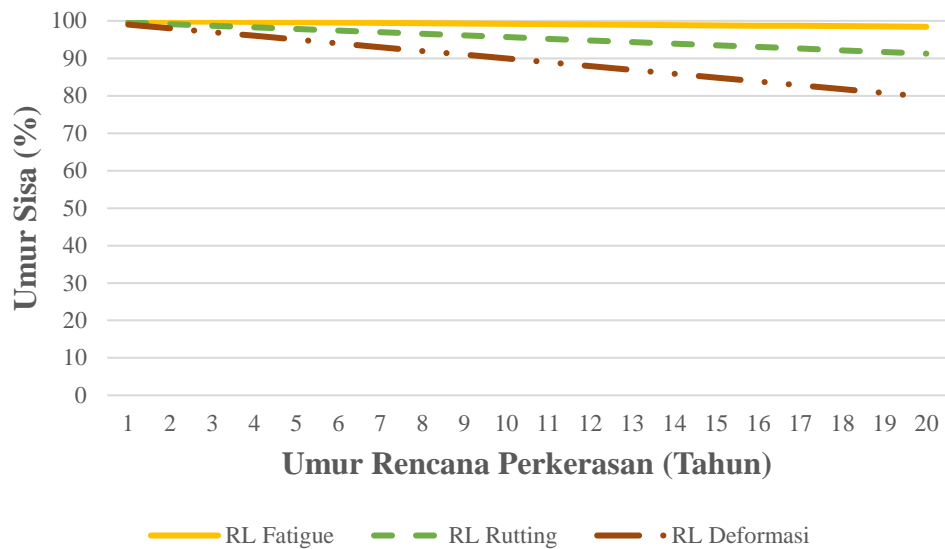
Dari perhitungan tersebut didapatkan umur sisa $RL_{fatigue}$, $RL_{Rutting}$ dan $RL_{Deformation}$ pada setiap kondisi. Rekapitulasi nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 5. 5 Umur Sisa Perkerasan Model Eksisting

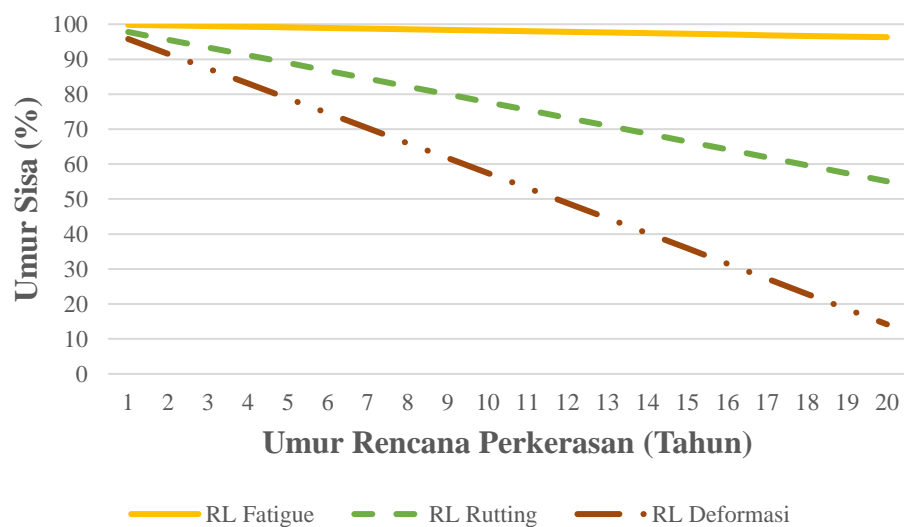
Berdasarkan hasil pada grafik umur sisa layan pada model perkerasan eksisting akibat *deformation* pada tahun ke-1 sebesar 89,891% dan pada tahun ke-9 sebesar 8,421% yang akhirnya terjadi *failure* sebelum tahun direncanakan, yakni pada tahun ke-10. Umur sisa yang disebabkan *rutting* terjadi pada tahun ke-1 sebesar 91,547% dan terjadi *failure* pada tahun ke-12 yang sebelumnya pada tahun ke-11 sebesar 6,249%. Sedangkan untuk kerusakan *fatigue* pada tahun ke-1 sebesar 99,189% dan tahun ke-20 sebesar 83,518%.

Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil di atas bahwa pada tebal perkerasan eksisting pada ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I untuk menahan beban lalu lintas masih belum bisa selama umur rencana 20 tahun. Karena pada kurun waktu tersebut telah terjadi *failure* pada tahun ke-10 dan tahun ke-12 akibat terjadinya kerusakan *deformation* dan *rutting*. Walaupun pada *fatigue* belum ada tanda – tanda terjadinya kerusakan, akan tetapi sudah muncul tanda pada kerusakan *deformation* dan *rutting*.



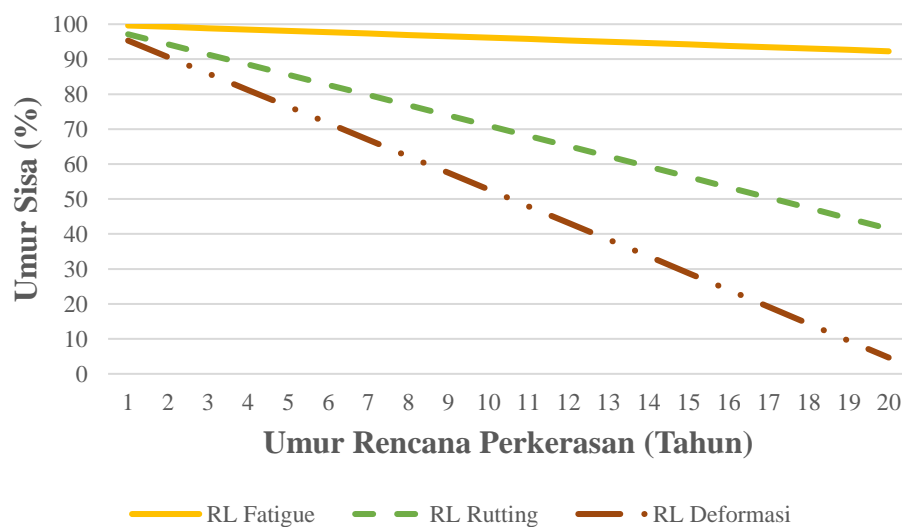
Gambar 5. 6 Umur Sisa Perkerasan Bina Marga 2017 Skenario 1 A

Hasil tebal perkerasan skenario 1 A akibat *deformation* pada tahun ke-1 sebesar 99,002% dan pada tahun ke-20 sebesar 79,717%. Kerusakan yang disebabkan *rutting* terjadi pada tahun ke-1 sebesar 99,571% hingga mencapai tahun ke-20 sebesar 91,283%. Sedangkan untuk kerusakan *fatigue* pada tahun ke-1 sebesar 99,922% dan tahun ke-20 sebesar 98,407%. Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil di atas bahwa pada tebal perkerasan skenario 1 A dapat menahan beban yang sudah direncanakan selama 20 tahun.



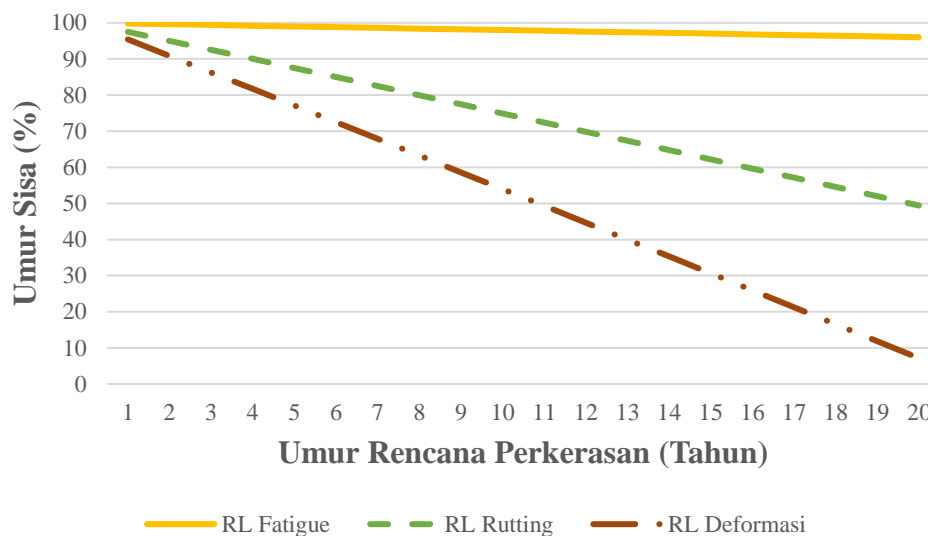
Gambar 5. 7 Umur Rencana Perkerasan Skenario 2 A

Hasil tebal perkerasan skenario 2 A akibat *deformation* pada tahun ke-1 sebesar 99,776% dan pada tahun ke-20 sebesar 14,181%. Kerusakan yang disebabkan *rutting* terjadi pada tahun ke-1 sebesar 97,790% hingga mencapai tahun ke-20 sebesar 55,093%. Sedangkan untuk kerusakan *fatigue* pada tahun ke-1 sebesar 99,818% dan tahun ke-20 sebesar 96,303%. Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil di atas bahwa pada tebal perkerasan skenario 2 A dapat menahan beban yang sudah direncanakan selama 20 tahun.



Gambar 5. 8 Umur Sisa Perkerasan Alternatif Skenario 1 B

Hasil tebal perkerasan alternatif alternatif skenario 1 B akibat *deformation* pada tahun ke-1 sebesar 95,307% dan pada tahun ke-20 sebesar 4,652%. Kerusakan yang disebabkan *rutting* terjadi pada tahun ke-1 sebesar 97,120% hingga mencapai tahun ke-20 sebesar 41,497%. Sedangkan untuk kerusakan *fatigue* pada tahun ke-1 sebesar 99,618% dan tahun ke-20 sebesar 92,249%. Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil di atas bahwa pada tebal perkerasan alternatif skenario 1 B dapat menahan beban yang sudah direncanakan selama 20 tahun.



Gambar 5. 9 Umur Sisa Perkerasan Alternatif Skenario 2 B

Hasil tebal perkerasan alternatif alternatif skenario 2 B akibat *deformation* pada tahun ke-1 sebesar 95,430% dan pada tahun ke-20 sebesar 7,159%. Kerusakan yang disebabkan *rutting* terjadi pada tahun ke-1 sebesar 97,511% hingga mencapai tahun ke-20 sebesar 49,422%. Sedangkan untuk kerusakan *fatigue* pada tahun ke-1 sebesar 99,803% dan tahun ke-20 sebesar 96,004%. Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil di atas bahwa pada tebal perkerasan alternatif skenario 2 B dapat menahan beban yang sudah direncanakan selama 20 tahun.

5.5 Pembahasan

Setelah selesai dilakukannya analisis pada Ruas Jalan Tawang-Ngalang Segmen I dengan menggunakan metode Bina Marga 2017, didapatkan hasil sebagai berikut.

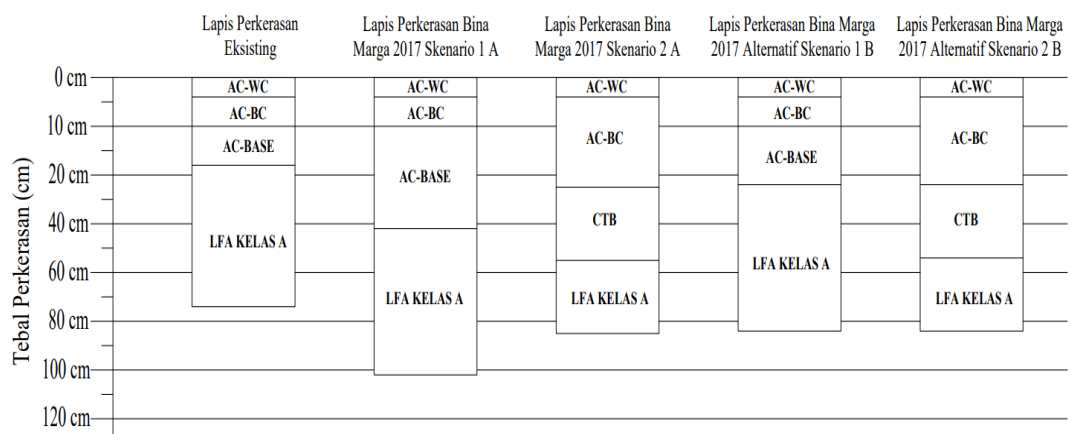
1. Tebal Perkerasan yang diperoleh menggunakan metode Bina Marga 2017 dengan kontrol *KENPAVE*
2. Nilai regangan yang dihasilkan oleh program *KENPAVE*
3. Perbandingan umur sisa layanan pada setiap kondisi yang ditinjau pada Ruas Jalan Tawang - Ngalang Segmen I

5.5.1 Tebal Perkerasan yang Diperoleh Menggunakan Metode Bina Marga 2017

Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I merupakan jalan yang menggunakan jenis perkerasan lentur yang awal mulanya beroperasi pada tahun 2021. Pada jalan ini dihitung berdasarkan metode Bina Marga 2017 dan data yang berasal dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional serta Dinas Pekerjaan Umum dan Energi Sumber Daya Mineral Provinsi DIY seperti data LHR, nilai *VDF*, Faktor distribusi arah dan faktor distribusi lajur. Ilustrasi dan ketebalan pada setiap lapis dapat dilihat pada **Tabel 5.27** dan **Gambar 5.10** berikut.

Tabel 5. 27 Tebal pada Setiap Lapis Perkerasan

Jenis Lapisan	Eksisting (cm)	Skenario 1 A (cm)	Skenario 2 A (cm)	Alternatif Skenario 1 B (cm)	Alternatif Skenario 2 B (cm)
AC - WC	4	4	4	4	4
AC - BC	6	6	18,5	6	18
AC - BASE	8	21	-	12	-
CTB	-	-	15	-	15
LFA KELAS A	30	30	15	30	15



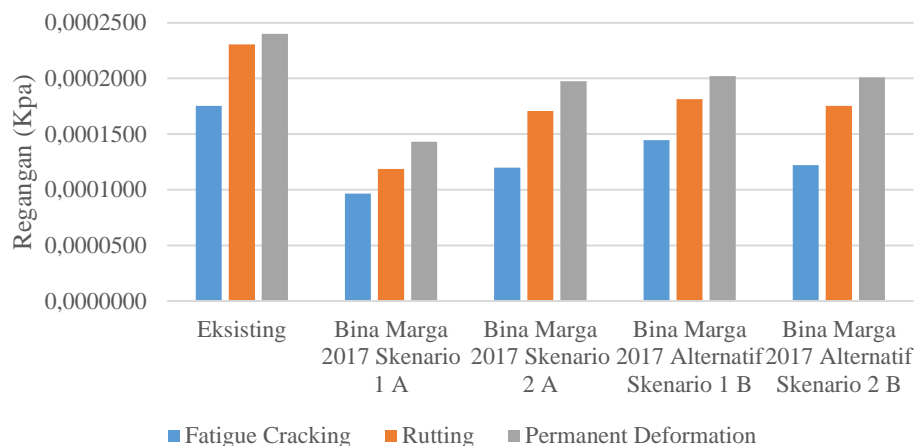
Gambar 5. 10 Gambar Perbandingan Tebal Perkerasan

Pada hasil perhitungan dan juga berdasarkan tebal eksisting yang diperoleh, dapat dilihat untuk tebal perkerasan yang mempunyai tingkat ketebalan yang paling besar yaitu pada kondisi lapis perkerasan skenario 1 A dengan lapis *AC-WC* tebal 4 cm, lapis *AC-BC* tebal 6 cm, lapis *AC-Base* tebal 21 cm dan untuk lapis pondasi menggunakan LFA kelas A tebal 30 cm. Sedangkan untuk ketebalan yang paling kecil yaitu pada lapis perkerasan eksisting dengan rincian lapis *AC-WC* tebal 4 cm, lapis *AC-BC* tebal 6 cm, lapis *AC-Base* tebal 8 cm dan lapis pondasi menggunakan LFA kelas A tebal 30 cm.

Hasil penelitian yang dilakukan Karnurin (2020) untuk tebal hasil perhitungan Bina Marga 2017 memiliki tebal yang lebih besar dibandingkan dengan tebal alternatif yang lain. Hal tersebut dikarenakan besarnya nilai *CESA5* pada tabel 5.11 merupakan rentang nilai kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana. Tentu hasil perhitungan pada nilai *CESA5* tersebut bisa merupakan nilai minimum atau juga nilai maksimum dari rentang tersebut. Hal ini yang menjadikannya dasar pada percobaan alternatif tebal untuk mencapai nilai yang optimal dengan tebal minimum. Hal itu juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021), pada tebal hasil perhitungan Bina Marga 2017 memiliki tebal yang besar dibanding dengan berbagai alternatif yang dibuat.

5.5.2 Regangan yang Dihasilkan Program *KENPAVE*

Nilai regangan yang dihasilkan dari hasil metode Bina Marga 2017 kemudian dievaluasi oleh program *KENPAVE* dengan pendekatan elastik yang akan menjadi acuan untuk nilai kontrol kerusakan pada jalan seperti *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*, Nilai tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.11** berikut.



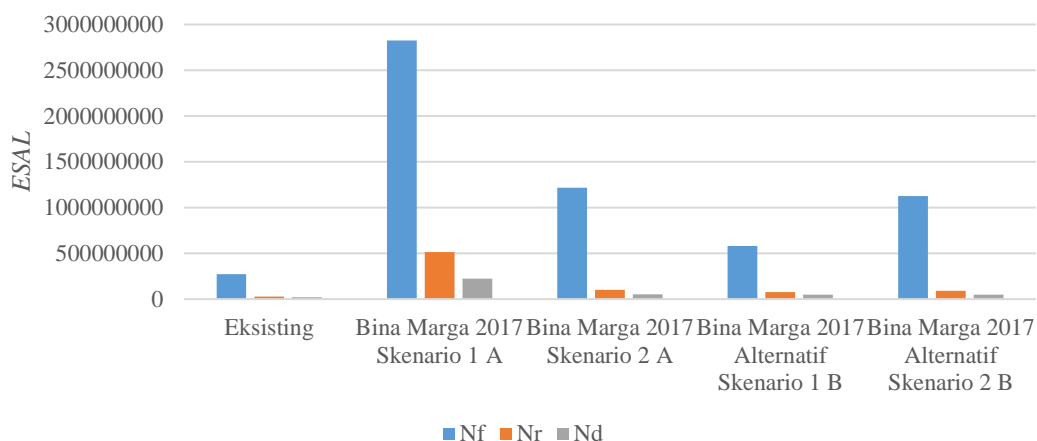
Gambar 5. 11 Nilai Regangan Maksimum Pada Tiap Lapis Perkerasan

Penyebab kerusakan pada lapis perkerasan eksisting berupa tegangan dengan nilai 550 kPa berasal dari metode Bina Marga 2017 memiliki regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0001754 , *rutting* sebesar 0,0002306, dan *permanent deformation* sebesar 0,0002400. Analisis repitisi beban diperoleh $273.182.116,24 ESAL N_f > N_r$, $N_{dr} < N_r$, $N_{dp} < N_r$ maka lapis permukaan tidak dapat menahan beban selama umur rencana desain. Sementara untuk lapis perkerasan pada lapis perkerasan skenario 1 A, lapis perkerasan skenario 2 A kemudian lapis perkerasan Alternatif skenario 1 B dan lapis perkerasan Alternatif skenario 2 B. Nilai – nilai N_f , N_{dr} dan N_{dp} didapatkan hasil yang lebih besar dari nilai N_r .

Selain itu berdasarkan pada Gambar 5.11 dapat kita lihat pada skenario 1 A memiliki nilai *horizontal strain* dan *vertical strain* lebih besar dibandingkan dengan Alternatif skenario 1 B. Hal tersebut terjadi karena semakin tebal suatu lapis pada perkerasan maka akan semakin kecil nilai *horizontal strain* dan *vertical strain* seperti penelitian yang dilakukan oleh Suneth dan Kushari (2018). Dwiputra dkk (2021) menyimpulkan bahwa regangan yang terjadi memiliki nilai yang berbeda-beda pada setiap jenis kerusakan.

Hasil penelitian ini sesuai pada penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh Karnurin (2020) dimana nilai regangan pada kerusakan *permanent deformation* mempunyai kerusakan paling besar diantara kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Mahmuddin dan Fauziah (2019) terkait

respon dari regangan yang terjadi pada jalan yang ditinjau berbeda pada setiap jenis kerusakan. Nilai repetisi beban dapat dilihat pada **Gambar 5.12** berikut



Gambar 5. 12 Nilai Repetisi Beban Pada Tiap Lapis Perkerasan

5.5.3 Perbandingan Umur Sisa Layanan

Analisis sisa umur layanan dari perkerasan Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I yang dihitung berdasarkan Persamaan 3.5. Sisa umur layanan adalah 1 satuan dikurangi jumlah lalu lintas prediksi tahunan perkerasan berbanding jumlah lalu lintas saat mencapai batas *fatigue*, *rutting* dan *permanent deformation*. Selisih dari jumlah antara nilai tersebut merupakan nilai sisa umur layanan perkerasan yang dinyatakan dalam persentase. Rekapitulasi nilai sisa dalam persen dapat dilihat pada **Tabel 5.28** berikut

Tabel 5. 28 Nilai Sisa Selama Masa Layanan 20 Tahun

Jenis Kerusakan	Eksisting	Skenario 1 A	Skenario 2 A	Alternatif Skenario 1 B	Alternatif Skenario 2 B
<i>Fatigue</i> (%)	83,518	98,406	96,303	92,249	96,004
<i>Rutting</i> (%)	<i>failure</i>	91,694	55,520	41,497	49,422
<i>Permanent Deformation</i> (%)	<i>failure</i>	79,717	9,815	4,652	7,159

Pada perkerasan eksisting mendapatkan hasil pada tahun ke-10 terjadi kegagalan pada perkerasan eksisting akibat terjadinya kerusakan pada jenis *permanent deformation*. Kemudian pada tahun ke-12 juga akan mengalami kegagalan pada jenis kerusakan *rutting*. Maka dari itu dibuatlah berbagai alternatif tebal perkerasan yang dapat menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Pada hasil skenario 1 A dan skenario 2 A memiliki umur rencana lebih dari 20 tahun. Selain itu juga didapatkan tebal alternatif skenario 1 B dan skenario 2 B dengan tebal perkerasan yang lebih kecil. Walaupun tebal perkerasan lebih tipis akan tetapi alternatif tersebut masih dapat menahan beban lalu lintas selama 20 tahun.

Shodiq (2018) memaparkan hasil penelitian terkait masa layan suatu perkerasan dari tahun ke tahun terjadi penurunan yang disebabkan oleh adanya beban repetisi pada kendaraan yang terjadi secara berulang - ulang. Hasil nilai sisa berdasarkan kerusakan dapat dilihat pada **Tabel 5.29** berikut

Tabel 5. 29 Hasil Nilai Sisa Umur Berdasarkan Kerusakan

Kondisi Permodelan	N _{1,5}			Umur (Tahun)
	<i>Fatigue (Esal)</i>	<i>Rutting (Esal)</i>	<i>Permanent Deformation (Esal)</i>	
Eksisting	253,104,102	6,140,710	1,846,346	9
Skenario 1 A	2,604,657,765	294,598.564	2,005,795	92
skenario 2 A	1,166,135,654	48,355,634	557,404	23
Alternatif skenario 1 B	535,865,854	31,937,806	2.196.811	20
Alternatif skenario 2 B	1,079,585,485	41,707,012	1,181,660	21

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun dari perhitungan analisis pada Ruas Jalan Tawang – Ngalang Segmen I menggunakan metode Bina Marga 2017 yang dikontrol dengan program *KENPAVE*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Tebal lapis perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017 mendapatkan tebal perkerasan untuk skenario 1 A yaitu pada lapis permukaan *AC – WC* sebesar 4 cm. Tebal *AC – BC* sebesar 6 cm dan *AC – Base* sebesar 21 cm. Pada Lapisan pondasi menggunakan LFA Kelas A sebesar 30 cm. Pada skenario 2 A untuk lapis permukaan *AC – WC* sebesar 4 cm dan *AC – Base* sebesar 18,5 cm. Tebal lapis pondasi atas menggunakan *CTB* dengan tebal 15 cm dan pada lapis pondasi bawah menggunakan LFA Kelas A tebal 15 cm.
2. Nilai regangan yang terjadi pada perkerasan eksisting yang menyebabkan terjadinya kerusakan berupa *fatigue cracking* terjadi sebesar 0,0001754 pada kedalaman 17,9997 cm terletak pada bagian lapisan bawah permukaan. Pada kedalaman tersebut terjadi kerusakan *rutting* sebesar 0,0002306. Kemudian pada kedalaman 48,0003 cm mendapatkan regangan sebesar 0,0002400 yang menyebabkan kerusakan *permanent deformation*.
3. Tebal perkerasan eksisting tidak dapat memenuhi umur 20 tahun, sehingga didapatkan 4 macam alternatif tebal perkerasan dengan 2 komposisi material yang berbeda. Letak perbedaan alternatif ini terdapat pada tebal lapis perkerasan yang berbeda beda. Pada Skenario 1 A memiliki tebal pada lapis permukaan sebesar 31 cm, dengan mengurangi tebal pada lapis *AC-Base* sebesar 9 cm maka alternatif Skenario 1 B menjadi 12 cm pada lapis *AC-WC* dan lapis permukaan menjadi 22 cm. Pada alternatif skenario 2 A mengurangi pada lapis *AC-Base* sebesar,5 cm dari yang sebelumnya dengan tebal 22,5 cm, maka pada alternatif skenario 2 B lapis permukaan setebal 22 cm. Besar tebal

minimum yang didapatkan untuk lapisan perkerasan selama umur rencana 20 tahun yang dapat menahan beban lalu lintas rencana yaitu pada 7 alternatif skenario 2 B dengan tebal 52 cm dan alternatif skenario 1 B dengan tebal total 52 cm.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan dalam analisis penelitian ini, dapat diberikan saran sebagai berikut .

1. Pada tebal lapis perkerasan eksisting perlu disesuaikan kembali dengan tebal alternatif skenario 1 A. Pemilihan penggunaan opsi alternatif 1 A karena memiliki material yang sama pada perkerasan eksisting serta lebih tipis dibandingkan skenario 1 A. Penyesuaian perkerasan eksisting dikarenakan pada kondisi tersebut telah terjadi kerusakan sebelum umur rencana 20 tahun.
2. Perlu dikaji kembali terkait tebal perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 pendekatan viskoelastik agar mendapatkan perbandingan nilai antar pendekatan elastik dan pendekatan viskoelastik.
3. Perlu adanya evaluasi kembali kinerja perkerasan jalan pada ruas tersebut setelah ruas tersebut nantinya sudah beroperasi normal sehingga data LHR yang digunakan adalah data LHR pada ruas tersebut.
4. Perlu dilakukannya perhitungan berdasarkan biaya dan juga tebal perkerasan agar lebih efisien dalam pengerjaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO 1993. Guide for Design Of Pavement Structures. AASHTO. Washington, DC.
- Asphalt Institue. 1970. Thickness Design – Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Stress, 8th ed. Lexington.
- Bamher, B.G. 2020. Analisis Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Pada Proyek Jalan Baru Batas Kota Singaraja-Mengwitani, Buleleng. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Dinata, D.I., Rahmawati, A., dan Setiawan, D. 2017. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Analisa Komponen dari Bina Marga 1987 dan Metode AASHTO 1993 menggunakan Program KENPAVE (Studi Kasus Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+000 sampai Sta 4+050). *Jurnal Semesta Teknika*. Vol.20 No.I :8-19. Yogyakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta.
- Dwiputra. A.Y., Utomo. S. H. dan Mulyono. A. T. 2021. Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik-Empirik Ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro, Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*. Vol. 21. No.3: 173-186.
- Earth.google.com. Diakses pada 1 Maret 2023. <https://earth.google.com/web/@-7.84014363,110.53556703,393.73387445a,2181.13299411d,35y,4.86408092h,0.12429275t,0r>.
- Google.com. Diakses pada 18 Desember 2022. <https://www.google.com/maps/@-7.8414882,110.5387662,1603m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>.
- Hakim, G.N. dan Farida, I. 2021. Ketebalan Perkerasan Lentur dengan Metode AASHTO 1993 dan Manual Perkerasan Jalan 2017. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia*. Vol. 2 No.I :59-68.

- Halim, S.N. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 Serta Pengaruhnya Terhadap RAB. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Huang, H. Y., 2004, *Pavement Analysis and Design*. University of Kentucy, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
- Karnurin, F. 2020. Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program *Kenpave* Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Lia, N. dan Mahardi, P. 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Perkeraan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi *KENPAVE*. *Jurnal Rekaya Sipil*. Vol. 04 No.2 Tahun 2022.
- Mahmuddin, A. dan Fauziah, M. 2019. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Dengan Program *Kenpave* Pada Ruas Jalan Imogiri Timur. *Seminar Nasional BAPPERDA Provinsi Jawa Tengah*. Wonosobo. 19 September 2019:310-317.
- Nurkholis. H dan Subarkah 2018. Analisis Beban Berlebih Kendaraan Pada Perkerasan Lentur Terhadap Penurunan Umur Rencana Perkerasan Jalan. *Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil (KPSTS) FTSP UII 2018*. 2018. ISSN 9-772477-5B3159.
- Openstreet,ap.org. Diakses pada 18 Desember 2023.
<https://www.openstreetmap.org/#map=13/-7.8784/110.5657>
- Pambudi, R.A. dan Fauziah, M. 2021. Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program *Kenpave* Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. Yogyakarta. ISBN 978-623-6572-45-0.
- Purwadi, D., Sulistyorini, R. Ofrial, S.A.M.P. 2022. Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Provinsi Berdasarkan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*. Vol. 10 No.1 :135-142.

- Rahardian, R. 2018. Evaluasi Kondisi Perkerasan Lentur dan Prediksi Umur Layanan Ruas Jalan Wonosari – Mulo Km 4 - 5. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramadhani, R.I. dan Fauziah, M. 2018. Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program *Kenpave* Pada Ruas Jalan Jogja-Solo. *Prosiding CEES 2018 : ISBN 978-602-71762-6-3*. Yogyakarta.
- Shodiq, R.A. 2021. Evaluasi Kondisi Perkerasan dengan Metode *Pavement Condition Index (PCI)* dan Nilai Sisa dengan Metode Mekanistik-Empirik pada Ruas Jalan Gito-Gati. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sukirman, Silvia. 2010. Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. Nova. Bandung.
- Sumarsono, A dan Fauziah, M. 2022. Evaluasi Kondisi Perkerasan, Penanganan dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik-Empirik (Studi Kasus Jalan Jogja-Solo Km 14+800 – 16 +800). *Teknika:Jurnal Teknik*. Vol. 9 No.I :10-27.
- Suneth. D.N.F dan Kushari. B. 2018. Studi Pengaruh Tebal Lapis dan Modulus Elastisitas Terhadap Respon Struktur Perkerasan Lentur Dan Kapasitas Beban Repetisi. *Prosiding Kolokium FTSP UII*. Yogyakarta.
- Ulya, K. S. 2017. Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Manual Perkerasan Jalan 2013 dan *AASHTO 1993*. *Seminar Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Yogyakarta.
- Utomo. A.B dan Suryoaji. T.K. 2008. Perencanaan Jembatan Gantung Tugu Soeharto Kelurahan Sukorejo Kecamatan Gunungpati Semarang. *Tugas Akhir*. (Tidak diterbitkan). Universitas Diponegoro Semarang. Semarang.
- Vera. A.L., Hermansyah. dan Dharmawansyah. D. 2020. Tinjauan Perbandingan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Dengan Metode Bina Marga 1987 Dengan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Di Jalan Lintas Labuan Bajo-Lembor. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.V No.1: 29-37.

Widodo. A.D. 2018. Evaluasi Kondisi Perkerasan dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur dengan Metode *Pavement Condition Index*, Bina Marga dan Metode Mekanistik-Empirik dengan Program Kenpave. *Tesis*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lalu Lintas Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten Gunungkidul

TRAFFIC SUMMARY REPORT																			
BINA MARGA INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM CENTRAL DATABASE										DI Yogyakarta [26]				23-Jun-2014					
Link Traffic Post	ADDT		Car %	Bus %	LTTr %	HTTr %	Motor Cycle Veh 1	2014			2013			No Mot Trmf Veh 8	Survey Year				
	MET	Total						Car Veh 2	Bus Veh 3	Motor Cycle Veh 4	Car Veh 5a	Bus Veh 5b	Motor Cycle Veh 5c			Truck 2x e) Veh 6a	Truck 2x b) Veh 6b	Truck 3x a) Veh 7a	Truck 3x b) Veh 7b
001 - KARANG NONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYA																			
B001	8.631	28.023	65.45	8.24	20.72	5.60	16.998	943	3.813	793	96	615	201	1.587	310	67	106	394	2014
002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES																			
B002	7.651	24.272	66.54	7.01	21.37	5.08	16.341	2.396	1.694	.999	96	440	257	1.378	195	80	114	280	2014
00211 K - JLN. CHUDORI (WATES)																			
B00211	8.074	27.946	68.05	6.59	20.67	4.69	19.553	2.781	1.700	1.013	93	439	259	1.411	195	78	106	319	2014
003 - BTS. KOTA WATES - MILIR																			
B003	9.379	39.530	71.67	7.23	16.71	4.39	29.266	4.098	1.145	1.479	225	453	379	1.189	187	118	107	885	2014
00311 K - JLN. KOL. SUGYONO (WATES)																			
B00311	13.028	28.196	71.33	9.30	13.03	6.34	14.445	3.721	4.480	1.092	574	638	635	1.061	464	209	153	723	2014
004 - MILIR - SENTOLO																			
B004	14.980	48.047	83.30	5.27	7.82	3.61	31.442	7.971	3.074	1.434	295	494	477	694	251	156	134	1.625	2014
005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN																			
B005	12.090	55.481	75.61	6.79	13.17	4.43	42.685	4.846	3.076	1.219	384	437	569	1.023	267	181	88	706	2014
006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA																			
B006	19.095	62.437	79.06	5.00	13.10	2.84	42.191	9.313	3.205	2.679	409	545	606	1.895	305	100	138	1.151	2014
00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING)																			
B00611	12.936	47.103	89.79	4.12	5.82	0.27	31.627	8.767	1.147	1.701	423	110	337	416	20	1	14	2.540	2014
00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA)																			
B00711	18.587	54.837	70.66	8.42	17.52	3.41	35.657	9.853	3.51	2.929	546	1.019	521	2.735	455	76	102	563	2014
008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN																			
B008	9.601	43.521	63.15	5.45	27.97	3.44	33.363	3.544	4.25	2.094	193	330	337	2.348	217	27	86	557	2014
009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL																			
B009	7.123	30.321	63.79	9.52	24.82	1.87	23.173	2.553	4.36	1.555	365	313	502	1.266	132	0	1	25	2014
010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING																			
B010	6.254	31.412	67.97	9.27	20.55	2.21	25.065	2.576	4.12	1.263	284	296	414	871	138	0	0	93	2014
011 - GADING - GLEDAG																			
B011	6.628	32.523	67.41	8.42	23.02	1.15	25.772	3.029	5.88	851	243	315	727	799	71	0	5	123	2014
012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSAR)																			
C012	1.737	15.029	57.69	18.48	23.83	0.00	12.771	413	270	319	148	173	205	209	0	0	0	521	2014

Lampiran 1. Data Lalu Lintas Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten Gunungkidul

INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM CENTRAL DATABASE														DI Yogyakarta [26]				4-Jan-2016			
Link Traffic Post	AADT		Car %	Bus %	LT %	HT %	Motor Cycle Veh 1	Car Veh 2	Util 1 Veh 3	Util 2 Veh 4	Small Bus Veh5a	Large Bus Veh5b	Truck 2x a) Veh6a	Truck 2x b) Veh6b	Truck 3x a) Veh7a	Truck 3x b) Veh7b	Truck 3x c) Veh7c	No Mot Traf Ven 8	Survey Year		
	MBT	Total																			
001 - KARANGNONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN																					
A001	15,209	41,930	67.10	8.17	19.02	5.72	24,739	5,977	3,039	1,189	336	906	743	2,149	695	89	86	1,982	2015		
002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES																					
A002	9,045	38,257	60.81	10.78	22.25	6.15	27,839	2,876	1,989	1,183	261	811	590	1,623	276	154	182	473	2015		
00211 K - JLN. CHUDORI (WATES)																					
A00211	9,052	40,272	65.85	8.40	20.26	5.49	30,837	2,932	1,916	1,113	123	637	308	1,526	241	111	145	383	2015		
003 - BTS. KOTA WATES - MILIR																					
A003	11,152	38,571	69.27	7.94	16.95	5.85	26,315	4,689	1,353	1,683	309	576	483	1,407	272	186	194	1,104	2015		
00311 K - JLN. KOL. SUGHYONO (WATES)																					
A00311	13,443	40,597	70.98	9.32	12.58	7.12	26,355	3,512	4,971	1,059	602	651	643	1,045	500	260	197	799	2015		
004 - MILIR - SENTOLO																					
A004	15,094	45,887	80.97	5.72	8.69	4.63	29,170	7,755	3,025	1,441	334	529	593	718	306	220	173	1,623	2015		
005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN																					
A005	14,094	54,303	74.07	7.34	13.10	5.49	39,357	5,522	3,505	1,413	503	531	663	1,177	349	265	160	852	2015		
006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA																					
A006	20,806	74,247	78.29	4.50	14.59	2.61	52,660	3,930	9,746	2,613	403	534	741	2,295	352	50	102	781	2015		
00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA)																					
A00611	14,686	103,945	92.30	3.00	4.40	0.30	86,467	4,480	7,657	1,420	330	110	175	471	33	0	11	790	2015		
00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA)																					
A00711	24,592	82,962	70.12	9.44	18.24	2.20	57,410	5,467	7,994	3,852	1,060	1,272	889	3,614	346	85	113	860	2015		
008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN																					
A008	11,602	47,986	79.31	2.74	16.69	1.27	36,150	1,836	5,286	2,079	181	137	572	1,364	116	7	24	234	2015		
009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL																					
A009	11,919	47,650	80.02	2.74	16.02	1.22	35,497	1,826	5,701	2,010	180	145	575	1,335	115	7	24	234	2015		
010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING																					
A010	10,715	43,740	78.78	3.00	16.86	1.36	32,790	1,705	4,835	1,901	179	142	559	1,248	115	7	24	235	2015		
011 - GADING - GLEDAG																					
A011	10,450	42,266	76.57	3.00	17.03	1.40	31,583	1,662	4,675	1,874	178	135	536	1,244	115	7	24	233	2015		
012 - GLEDAG - WONOSARI II INKAB IITAPA WONOREJO																					

Lampiran 1. Data Lalu Lintas Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten Gunungkidul

BINA MARGA INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM CENTRAL DATABASE										TRAFFIC SUMMARY REPORT									
2016										6-Jan-2017									
Link Traffic Post	AADT		Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle Veh 1	Car		Utl 2	Small Bus Veh5a	Large Bus Veh5b	Truck 2x a) Veh6a	Truck 2x b) Veh6b	Truck 3x a) Veh7a	Truck 3x b) Veh7b	Truck 3x c) Veh7c	No Mot Traf	Survey Year
	MET	Total						Veh 2	Veh 3										
001 - KARANG MONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN																			
C001	13,276	33,965	88.73	8.46	18.28	6.55	20,179	7,117	666	1,351	196	662	745	1,679	564	133	173	500	2016
002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES																			
C002	30,119	63,825	82.67	8.09	6.80	2.45	33,134	14,382	8,711	1,805	565	1,872	607	1,440	502	101	134	572	2016
00211 K - JLN. CHUDORI (WATES)																			
C00211	18,810	82,276	65.47	8.42	20.37	5.74	63,054	6,049	3,927	2,339	269	1,315	658	3,173	518	242	320	402	2016
003 - BTS. KOTA WATES - MILIR																			
C003	24,785	79,800	88.75	7.96	16.82	6.46	53,827	10,273	2,971	3,796	711	1,263	1,088	3,082	655	467	479	1,188	2016
00311 K - JLN. KOL. SUGIYONO (WATES)																			
C00311	25,886	76,358	70.52	9.50	12.89	7.29	49,723	6,688	9,531	2,062	1,188	1,274	1,288	2,019	966	519	403	739	2016
004 - MILIR - SENTOLO																			
C004	30,064	90,194	80.92	5.99	8.50	4.59	58,528	15,362	6,050	2,887	662	1,108	1,099	1,486	610	412	358	1,602	2016
005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN																			
C005	31,431	110,851	73.16	7.47	13.42	5.95	78,448	12,108	7,730	3,158	1,128	1,219	1,540	2,677	816	639	416	972	2016
006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA																			
C006	29,101	111,151	74.53	6.73	13.77	4.97	81,784	18,115	713	2,861	634	1,324	1,120	2,888	972	214	260	266	2016
00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA)																			
C00611	28,793	202,731	91.92	3.16	4.64	0.28	173,136	8,893	15,155	2,418	677	232	363	973	58	0	24	802	2016
00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA)																			
C00711	67,549	171,216	88.52	5.83	4.48	1.18	102,794	48,651	2,950	8,163	1,382	2,554	818	2,207	580	90	124	873	2016
008 - YOGYAKARTA - PIYUNGAN																			
C008	16,579	89,397	76.83	4.88	16.89	1.60	72,988	7,245	2,417	3,075	451	358	588	2,181	187	23	56	450	2016
009 - PIYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL																			
C009	18,231	85,282	78.40	3.73	16.85	1.02	65,042	11,586	165	2,542	473	207	490	2,562	119	3	64	9	2016
010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING																			
C010	18,132	56,887	78.29	4.36	16.23	1.12	38,730	11,627	426	2,142	391	400	773	2,170	155	11	37	25	2016
011 - GADING - GLEDAG																			
C011	14,007	57,372	84.57	4.85	10.01	0.76	43,160	8,957	1,263	1,726	420	232	431	971	77	0	30	205	2016
012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSARI)																			
C012	25,619	96,831	77.16	3.48	17.27	2.09	70,983	4,047	11,198	4,523	493	399	1,372	3,052	385	45	105	329	2016

Lampiran 1. Data Lalu Lintas Ruas Jalan Piyungan-Batas Kabupaten Gunungkidul

BINA MARGA INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM CENTRAL DATABASE										TRAFFIC SUMMARY REPORT									
2017										DI Yogyakarta [26]									
Link Traffic Post	AADT		Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle Veh 1	Car Veh 2	Util 1 Veh 3	Util 2 Veh 4	Small Bus Veh5a	Large Bus Veh5b	Truck 2x a) Veh6a	Truck 2x b) Veh6b	Truck 3x a) Veh7a	Truck 3x b) Veh7b	Truck 3x c) Veh7c	No Mot Traf Veh 8	Survey Year
	M51	Total																	
001 - KARANG MONGKO (BTS. PROV. JATENG) - TOYAN																			
A001	15,209	41,930	67.10	8.17	19.02	5.72	24,739	5,977	3,039	1,189	336	906	743	2,149	685	89	86	1,982	2015
002 - TOYAN - BTS. KOTA WATES																			
A002	9,945	38,257	60.81	10.78	22.25	6.15	27,839	2,876	1,989	1,183	261	811	590	1,623	276	154	182	473	2015
00211 K - JLN. CHUDORI (WATES)																			
A00211	9,052	40,272	65.85	8.40	20.26	5.49	30,837	2,932	1,916	1,113	123	637	308	1,526	241	111	145	383	2015
003 - BTS. KOTA WATES - MILIR																			
A003	11,152	38,571	69.27	7.94	16.95	5.85	28,315	4,689	1,353	1,683	309	576	483	1,407	272	188	194	1,104	2015
00311 K - JLN. KOL. SUGIYONO (WATES)																			
A00311	13,443	40,597	70.98	9.32	12.58	7.12	26,355	3,512	4,871	1,059	602	651	646	1,045	500	260	197	769	2015
004 - MILIR - SENTOLO																			
A004	15,094	45,887	80.87	5.72	8.69	4.63	29,170	7,755	3,025	1,441	334	529	583	718	306	220	173	1,623	2015
005 - SENTOLO - BTS. KAB. SLEMAN																			
A005	14,094	54,303	74.07	7.34	13.10	5.49	36,357	5,522	3,505	1,413	503	531	668	1,177	348	265	180	862	2015
006 - BTS. KAB. KULON PROGO - YOGYAKARTA																			
A006	20,806	74,247	79.29	4.50	14.59	2.61	52,660	3,930	9,746	2,613	403	534	741	2,285	352	90	102	781	2015
00611 K - JLN. BATAS KOTA - PELEM GURIH (GAMPING) (YOGYAKARTA)																			
A00611	14,688	103,945	92.30	3.00	4.40	0.30	88,467	4,480	7,657	1,420	330	110	176	471	33	0	11	790	2015
00711 K - JALAN ARTERI SELATAN (YOGYAKARTA)																			
A00711	24,862	82,962	70.12	9.44	18.24	2.20	57,410	5,467	7,994	3,852	1,060	1,272	889	3,614	346	85	113	860	2015
008 - YOGYAKARTA - PYUNGAN																			
A008	11,602	47,986	79.31	2.74	16.69	1.27	36,150	1,836	5,286	2,079	181	137	572	1,364	116	7	24	234	2015
009 - PYUNGAN - BTS. KAB. GUNUNG KIDUL																			
A009	11,919	47,650	80.02	2.74	16.02	1.22	35,467	1,826	5,701	2,010	180	146	575	1,335	115	7	24	234	2015
010 - BTS. KAB. BANTUL - GADING																			
A010	10,715	43,740	78.78	3.00	16.86	1.36	32,760	1,705	4,835	1,901	179	142	559	1,248	115	7	24	235	2015
011 - GADING - GLEDAG																			
A011	10,450	42,266	78.57	3.00	17.03	1.40	31,583	1,662	4,675	1,874	178	135	536	1,244	115	7	24	233	2015
012 - GLEDAG - WONOSARI (LINGKAR UTARA WONOSARI)																			

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENLAYER* untuk lapis perkerasan Eksisting

```

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Eksisting Tawang Ngalang Opsi 2.DAT
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1
TITLE -Eksisting Tawang Ngalang Opsi 2
MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)-- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 8 30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4 0.4 0.4 0.35 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 17.9997 18 48 48.0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 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
NO. COORDINATE DISP. STRESS PRINCIPAL PRINCIPAL P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (HORIZONTAL
P. STRAIN)
1 0.00000 0.03048 550.000 831.279 750.830 812.237
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 17.99970 0.02574 135.165 135.974 -327.409 -257.783
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 18.00000 0.02574 135.162 135.972 -327.429 -257.800
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 48.00000 0.01850 35.709 36.317 -30.152 -23.703
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 48.00030 0.01850 35.708 36.843 1.848 3.842
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 0.00000 0.02865 550.000 509.491 353.797 466.322
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 17.99970 0.02646 -3.321E-05 1.649E-04 -3.321E-05 1.100E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 18.00000 0.02646 120.872 120.981 -291.144 -147.376
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 48.00000 0.01914 1.851E-04 1.852E-04 -1.754E-04 -1.754E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 48.00030 0.01914 38.401 38.493 -32.415 -26.503
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 48.00030 0.01914 1.873E-04 1.877E-04 -1.162E-04 -1.162E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 0.00000 0.02782 2.366E-04 2.383E-04 -1.162E-04 -1.162E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 17.99970 0.02643 -5.850E-05 1.487E-04 -5.850E-05 9.986E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 18.00000 0.02643 110.553 110.553 -265.090 -87.500
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 18.00000 0.02643 1.572E-04 1.572E-04 -1.714E-04 -1.714E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 48.00000 0.01926 110.552 110.552 -265.104 -87.506
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 48.00000 0.01926 1.572E-04 1.572E-04 -1.715E-04 -1.715E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 48.00030 0.01926 38.881 38.881 -32.823 -26.970
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 48.00030 0.01926 1.899E-04 1.899E-04 -1.174E-04 -1.174E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 48.00030 0.01926 38.881 38.881 1.907 4.502
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 48.00030 0.01926 2.400E-04 2.400E-04 -1.174E-04 -1.174E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)

```

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENLAYER* untuk lapis perkerasan skenario 1

```

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Bina Marga 2017 Opsi 2.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Bina Marga 2017 Opsi 2

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

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 21 30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4 0.4 0.4 0.35 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 30.9997 31 61 61.0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 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
NO. COORDINATE DISP. STRESS PRINCIPAL PRINCIPAL P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (HORIZONTAL
P. STRAIN)
1 0.00000 0.02396 550.000 747.252 703.056 709.804
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 30.99970 0.01820 1.655E-04 1.656E-04 1.093E-04 1.092E-04
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 31.00000 0.01820 58.843 59.538 -176.756 -140.404
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 61.00000 0.01426 1.159E-04 1.165E-04 -9.026E-05 -9.026E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
1 61.00030 0.01426 58.843 59.537 -176.762 -140.409
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 0.00000 0.02182 21.361 21.637 -18.037 -15.351
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 30.99970 0.01878 1.046E-04 1.058E-04 -6.424E-05 -6.424E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 31.00000 0.01878 21.361 21.881 1.030 1.824
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 61.00000 0.01458 1.323E-04 1.373E-04 -6.425E-05 -6.425E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
2 61.00030 0.01458 550.000 390.416 346.860 373.375
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 0.00000 0.02113 3.760E-05 9.302E-05 3.759E-05 7.129E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 30.99970 0.01887 60.914 60.967 -184.209 -137.588
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 31.00000 0.01887 1.185E-04 1.186E-04 -9.598E-05 -9.598E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00000 0.01458 60.913 60.966 -184.215 -137.593
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00030 0.01458 1.185E-04 1.186E-04 -9.598E-05 -9.598E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 30.99970 0.01887 22.582 22.625 -19.095 -16.889
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 31.00000 0.01887 1.116E-04 1.118E-04 -6.699E-05 -6.699E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00000 0.01464 1.414E-04 1.422E-04 -6.699E-05 -6.699E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00030 0.01464 0.000 315.925 252.729 298.878
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 30.99970 0.01887 6.189E-06 8.662E-05 6.189E-06 6.492E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 31.00000 0.01887 60.512 60.512 -183.487 -132.532
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00000 0.01464 1.168E-04 1.168E-04 -9.667E-05 -9.667E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00030 0.01464 60.511 60.511 -183.493 -132.537
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00000 0.01464 1.129E-04 1.129E-04 -9.668E-05 -9.668E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00030 0.01464 22.808 22.808 -19.293 -17.175
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00000 0.01464 1.129E-04 1.129E-04 -6.751E-05 -6.751E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00030 0.01464 22.807 22.807 1.018 1.957
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)
3 61.00000 0.01464 1.431E-04 1.431E-04 -6.751E-05 -6.751E-05
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN)

```

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENLAYER* untuk lapis perkerasan skenario 2

```

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Bina Marga 2017 Opsi 3.DAT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -Bina Marga 2017 Opsi 3

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

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 18.5 15 15
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4 0.4 0.35 0.35 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 22.4997 22.5 52.5 52.5003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 5.000E+05 4 3.150E+05 5 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
NO. COORDINATE DISP. STRESS STRESS STRESS P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (HORIZONTAL)
P. STRAIN)
1 0.00000 0.02747 550.000 832.443 808.436 819.448
(STRAIN) 1.346E-04 1.648E-04 1.343E-04 1.476E-04
1 22.49970 0.02146 116.132 118.180 -129.696 -94.770
(STRAIN) 1.709E-04 1.733E-04 -1.159E-04 -1.159E-04
1 22.50000 0.02146 116.130 118.178 -129.703 -94.776
(STRAIN) 1.709E-04 1.733E-04 -1.159E-04 -1.159E-04
1 52.50000 0.01644 28.584 29.048 -25.747 -20.902
(STRAIN) 1.421E-04 1.440E-04 -9.079E-05 -9.079E-05
1 52.50030 0.01644 28.584 29.448 0.553 2.042
(STRAIN) 1.802E-04 1.885E-04 -9.079E-05 -9.079E-05
2 0.00000 0.02492 550.000 439.488 346.871 413.739
(STRAIN) 5.072E-06 1.229E-04 5.073E-06 9.018E-05
2 22.49970 0.02211 107.137 107.142 -124.921 -59.996
(STRAIN) 1.509E-04 1.509E-04 -1.198E-04 -1.198E-04
2 22.50000 0.02211 107.135 107.140 -124.927 -60.001
(STRAIN) 1.509E-04 1.509E-04 -1.198E-04 -1.198E-04
2 52.50000 0.01693 30.531 30.602 -27.566 -23.247
(STRAIN) 1.533E-04 1.536E-04 -9.568E-05 -9.568E-05
2 52.50030 0.01692 30.531 30.666 0.477 2.288
(STRAIN) 1.948E-04 1.961E-04 -9.568E-05 -9.568E-05
3 0.00000 0.02418 0.000 357.569 252.730 330.394
(STRAIN) -2.041E-05 1.130E-04 -2.041E-05 7.843E-05
3 22.49970 0.02217 100.327 100.327 -119.565 -42.649
(STRAIN) 1.377E-04 1.377E-04 -1.189E-04 -1.189E-04
3 22.50000 0.02217 100.326 100.326 -119.571 -42.653
(STRAIN) 1.377E-04 1.377E-04 -1.189E-04 -1.189E-04
3 52.50000 0.01701 30.883 30.883 -27.901 -23.658
(STRAIN) 1.553E-04 1.553E-04 -9.660E-05 -9.660E-05
3 52.50030 0.01701 30.882 30.882 0.461 2.342
(STRAIN) 1.975E-04 1.975E-04 -9.660E-05 -9.660E-05

```


Lampiran 2. Hasil Analisis *KENLAYER* untuk lapis perkerasan alternatif skenario 1

```

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Bina Marga 2017 Alternatif Model 1 (1).DAT
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1
TITLE -Bina Marga 2017 Alternatif Model 1
MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 6 12 30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4 0.4 0.4 0.35 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 21.9997 22 52 52.0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 1.600E+06 4 3.150E+05 5 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
NO. COORDINATE DISP. STRESS STRESS STRESS P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) P. STRAIN)
1 0.00000 0.02797 550.000 779.969 750.909 763.620
(STRAIN) 1.212E-04 1.583E-04 1.213E-04 1.377E-04
1 21.99970 0.02285 100.800 101.634 -266.034 -207.851
(STRAIN) 1.813E-04 1.820E-04 -1.397E-04 -1.397E-04
1 22.00000 0.02284 100.798 101.632 -266.047 -207.862
(STRAIN) 1.813E-04 1.820E-04 -1.397E-04 -1.397E-04
1 52.00000 0.01698 30.110 30.582 -25.368 -20.564
(STRAIN) 1.461E-04 1.481E-04 -9.166E-05 -9.166E-05
1 52.00030 0.01698 30.110 30.993 1.550 3.007
(STRAIN) 1.844E-04 1.929E-04 -9.166E-05 -9.166E-05
2 0.00000 0.02594 550.000 453.178 346.870 427.147
(STRAIN) -4.782E-06 1.305E-04 -4.782E-06 9.739E-05
2 21.99970 0.02359 96.256 96.256 -254.816 -154.544
(STRAIN) 1.625E-04 1.625E-04 -1.447E-04 -1.447E-04
2 22.00000 0.02359 96.255 96.255 -254.828 -154.552
(STRAIN) 1.625E-04 1.625E-04 -1.447E-04 -1.447E-04
2 52.00000 0.01750 32.199 32.272 -27.133 -22.912
(STRAIN) 1.577E-04 1.581E-04 -9.654E-05 -9.654E-05
2 52.00030 0.01750 32.199 32.338 1.574 3.339
(STRAIN) 1.995E-04 2.008E-04 -9.654E-05 -9.654E-05
3 0.00000 0.02529 0.000 377.280 252.729 348.445
(STRAIN) -3.415E-05 1.244E-04 -3.415E-05 8.767E-05
3 21.99970 0.02364 91.722 91.722 -243.089 -124.785
(STRAIN) 1.493E-04 1.493E-04 -1.437E-04 -1.437E-04
3 22.00000 0.02364 91.722 91.722 -243.099 -124.790
(STRAIN) 1.493E-04 1.493E-04 -1.437E-04 -1.437E-04
3 52.00000 0.01759 32.581 32.581 -27.459 -23.329
(STRAIN) 1.599E-04 1.599E-04 -9.745E-05 -9.745E-05
3 52.00030 0.01759 32.580 32.580 1.578 3.409
(STRAIN) 2.022E-04 2.022E-04 -9.745E-05 -9.745E-05

```

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENLAYER* untuk lapis perkerasan alternatif skenario 2

```

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Bina Marga 2017 Opsi 3.DAT
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1
TITLE -Bina Marga Opsi 3
MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 5
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80
COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 4 18 15 15
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4 0.4 0.35 0.35 0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 0 21.9997 22 52 52.0003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE : 1 1.100E+06 2 1.200E+06
3 5.000E+05 4 3.150E+05 5 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
NO. COORDINATE DISP. STRESS PRINCIPAL PRINCIPAL P. STRESS
(STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (STRAIN) (HORIZONTAL
P. STRAIN)
1 0.00000 0.02768 550.000 836.083 808.713 822.103
(STRAIN) 1.322E-04 1.671E-04 1.322E-04 1.492E-04
1 21.99970 0.02172 120.051 122.088 -132.064 -96.428
(STRAIN) 1.755E-04 1.779E-04 -1.186E-04 -1.186E-04
1 22.00000 0.02172 120.049 122.085 -132.071 -96.434
(STRAIN) 1.755E-04 1.779E-04 -1.186E-04 -1.186E-04
1 52.00000 0.01660 29.115 29.590 -26.204 -21.210
(STRAIN) 1.446E-04 1.466E-04 -9.250E-05 -9.250E-05
1 52.00030 0.01660 29.114 30.001 0.578 2.116
(STRAIN) 1.834E-04 1.919E-04 -9.250E-05 -9.250E-05
2 0.00000 0.02514 550.000 442.623 346.869 416.421
(STRAIN) 2.957E-06 1.248E-04 2.956E-06 9.147E-05
2 21.99970 0.02238 109.782 109.797 -126.196 -58.568
(STRAIN) 1.531E-04 1.531E-04 -1.222E-04 -1.222E-04
2 22.00000 0.02238 109.780 109.795 -126.202 -58.572
(STRAIN) 1.531E-04 1.531E-04 -1.222E-04 -1.222E-04
2 52.00000 0.01709 31.113 31.186 -28.069 -23.597
(STRAIN) 1.561E-04 1.564E-04 -9.754E-05 -9.754E-05
2 52.00030 0.01709 31.113 31.251 0.503 2.380
(STRAIN) 1.984E-04 1.997E-04 -9.754E-05 -9.754E-05
3 0.00000 0.02439 0.000 360.530 252.729 332.748
(STRAIN) -2.235E-05 1.149E-04 -2.235E-05 7.949E-05
3 21.99970 0.02242 102.272 102.272 -120.252 -39.690
(STRAIN) 1.385E-04 1.385E-04 -1.211E-04 -1.211E-04
3 22.00000 0.02242 102.271 102.271 -120.257 -39.693
(STRAIN) 1.385E-04 1.385E-04 -1.211E-04 -1.211E-04
3 52.00000 0.01718 31.474 31.474 -28.412 -24.013
(STRAIN) 1.582E-04 1.582E-04 -9.849E-05 -9.849E-05
3 52.00030 0.01718 31.472 31.472 0.487 2.438
(STRAIN) 2.010E-04 2.010E-04 -9.848E-05 -9.848E-05

```