TUGAS AKHIR

ESTIMASI BIAYA DARI DAMPAK PENINGKATAN REPETISI GANDAR STANDAR KUMULATIF (*CESA*) TERHADAP KEBUTUHAN TEBAL PERKERASAN LENTUR UNTUK MEMPERTAHANKAN UMUR RENCANA JALAN: STUDI KASUS JALAN YOGYAKARTA - SOLO KM 12-14 (*Estimating the Cost for the Impact of Increasing Cumulative Equivalent Standard Axle (CESA) on Flexible Pavement Thickness to Maintain the Design Life for Km 12-14 of Yogyakarta-Solo Road*)

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

Wilda Amalia Lestari
15511224

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

2021

TUGAS AKHIR

ESTIMASI DAMPAK PENINGKATAN REPETISI GANDAR STANDAR KUMULATIF (*CESA*) TERHADAP KEBUTUHAN TEBAL PERKERASAN LENTUR UNTUK MEMPERTAHANKAN UMUR RENCANA JALAN: STUDI KASUS JALAN YOGYAKARTA - SOLO KM 12-14

(Estimating the Impact of Increasing Cumulative Equivalent Standard Axle (CESA) on Flexible Pavement Thickness to Maintain the Design Life for KM 12-14 of Yogyakarta-Solo Road)

Disusun Oleh:

Wilda Amalia Lestari
15511224

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

Diuji pada tanggal : 8 Juli 2021

Oleh dewan penguji

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
Ir. Berlian Kushari, M.Eng.	Ir. Corry Ya'cub, M.T.	Miftahul F, S.T., M.T., Ph.D
NIK: 015110101	NIK: 815110102	NIK: 955110103

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 8 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



Wilda Amalia Lestari

15511224

DEDIKASI

Bismillahirrohmanirrohim

Segala puji hanya milik Allah Ta'ala sholawat serta salam kepada baginda Muhammad Sallahualihiwassalam,

Dengan ini saya dedikasikan tugas akhir ini kepada kedua orang tua dan keluarga serta sahabat-sahabat yang selalu mendukung dan mendoakan sehingga saya bersemangat dalam menyusun Tugas Akhir ini hingga selesai.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada teman- teman dan sahabat seperjuangan atas semua dukungan, bantuan serta kebersamaan yang luar biasa selama menempuh perkuliahan.

Semoga Allah SWT membalas jasa dan budi kalian suatu saat nanti baik di dunia ataupun di akhirat

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tentang *Estimasi Biaya dari Dampak Peningkatan Repetisi Gandar Standar Kumulatif (CESA) terhadap Kebutuhan Tebal Perkerasan Lentur untuk Mempertahankan Umur Rencana Jalan: Studi Kasus Jalan Yogyakarta - Solo Km 12-14* dengan sebaik-baiknya.

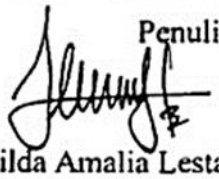
Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Atas kelancaran selama menyusun tugas akhir ini, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada.

1. Bapak Berlian Kushari, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan dan nasihat serta dukungan yang diberikan kepada penulis selama menyusun tugas akhir ini.
2. Prima Juanita Romadhona, S.T., M.Sc selaku Dosen Penguji pada Sidang Tugas Akhir.
3. Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. dan Corry Ya'cub, Ir.,M.T. selaku Dosen penguji pada Ujian Pendadaran
4. Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Orang tua serta keluarga yang selalu memberi dukungan, motivasi dan nasihat di setiap doa yang tiada henti hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
6. Sahabat dan orang-orang terdekat yang telah membantu dan memberi dukungan selama mengerjakan tugas akhir ini

7. Semua pihak dan juga teman-teman Teknik Sipil 2015 yang telah memberikan dukungan hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 8 Juli 2021

Penulis



Wilda Amalia Lestari

15511224

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii
DEDIKASI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xv
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Faktor - Faktor Penyebab Peningkatan Nilai *CESA* 6
2.2 Nilai *CESA* dan Kebutuhan Struktur Perkerasan 7
2.3 Mempertahankan Masa Layanan Perkerasan Jalan pada Kondisi Meningkatnya Nilai *CESA* 9
2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis 10
BAB III LANDASAN TEORI 16
3.1 Definisi Jalan 16
3.3.1 Klasifikasi Jalan 16
3.2 Kontrol Kapasitas Jalan Raya 19

3.2.1 Kapasitas Jalan 19
3.2.2 Satuan Mobil Penumpang 23
3.2.3 Rasio Volume per Kapasitas *(V/C ratio)* 25
3.3 Perkerasan Jalan 25
3.3.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) 26
3.4 Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga 2017) 27
3.4.1 Umur Rencana 27
3.4.2 Lalu Lintas 28
3.5 Metode Mekanistik-empiris 35
3.5.1 Pengertian Metode Mekanistik - Empiris 35
3.5.2 Karakteristik Material 39
3.5.3 Program *KENPAVE* 40
3.5.4 Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan 41
3.5.5 Program *KENLAYER* 44
3.5.6 Pemodelan Kerusakan 46
3.6 Analisis Kerusakan Dini pada Struktur Jalan dari Hasil Pemodelan Kerusakan dengan Program Bantu *KENPAVE* 48
3.7 Tebal Lapis Tambah (*Overlay)* 49
3.7.1 Analisis Tebal Lapis Tambah dengan Metode Mekanistik - Empiris 49
3.7.2 Desain Ketebalan Pengupasan dan Pelapisan Ulang (*Mill and Inlay*) dengan Metode Bina Marga 2017 49
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN 53
4.1 Lokasi Penelitian 53
4.2 Pengumpulan Data 53
4.3 Pengolahan dan Analisis Data 54
4.4 Bagan Alir Penelitian 56
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 58
5.1 Data Studi 58
5.1.1 Kondisi Lalu Lintas 58
5.1.2 Data Lalu Lintas Harian (LHR) 60

5.2 Kapasitas Jalan terhadap Volume Lalu Lintas 60
5.2.1 Kapasitas jalan 61
5.2.2 Volume Kendaraan (LHRT) 61
5.3 Perhitungan *CESA* dengan metode Bina Marga 2017 65
5.3.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas 65
5.3.2 Faktor Distribusi Arah (DD) dan Faktor Distribusi Lajur (DL) 66
5.3.3 Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif 67
5.3.4 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) 68
5.3.5 Perhitungan Beban Sumbu Standar Kumulatif (*CESA*) 69
5.4 Analisis Perkerasan Jalan Eksisting dengan Menggunakan Program *KENPAVE* 71
5.4.1 Analisis Material 71
5.4.2 Hasil Analisis *KENLAYER* 77
5.4.3 Analisis Kerusakan Dini pada Struktur Perkerasan Jalan berdasarkan Program *KENPAVE* 80
5.5 Prediksi Penambahan Tebal Lapisan 80
5.5.1 Analisis *Oveylay* Menggunakan Program *KENPAVE* 80
5.5.2 Desain Ketebalan Pengupasan dan Pelapisan Ulang *(Mill and Inlay)* 87
5.6 Prediksi Penambahan Biaya Investasi 90
5.7 Pembahasan 97
5.7.1 Kapasitas Jalan terhadap Volume Lalu Lintas 97
5.7.2 Hasil Perhitungan *CESA* dengan Metode Bina Marga 2017 97
5.7.3 Nilai Tegangan dan Regangan Menggunakan Metode Mekanistik Empiris dengan Program *KENPAVE* 97
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 100
6.1 Kesimpulan 100
6.2 Saran 101
DAFTAR PUSTAKA 102
LAMPIRAN 105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kondisi Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14 November 2019 2
Gambar 1.2 Ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14 5
Gambar 3.1 Distribusi Beban Kendaraan pada Struktur Perkerasan Jalan 26
Gambar 3.2 Tipikal Sistem Perkerasan 37
Gambar 3.3 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik 39
Gambar 3.4 Tampilan Awal Program *KENPAVE* 40
Gambar 3.5 Tampilan Awal Program *KENPAVE* 45
Gambar 3.6 Sumbu Standar Ekuivalen 45
Gambar 3.7 Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir untuk Mencegah Deformasi Permanen 51
Gambar 3.8 Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir untuk Mencegah *Fatigue Cracking* 51
Gambar 4.1 Ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 53
Gambar 4.2 *Flowchart* Penelitian 56
Gambar 5.1 Potongan Ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14 59
Gambar 5.2 Grafik Pertumbuhan Lalu Lintas 66
Gambar 5.3 Tebal Perkerasan Eksisting 71
Gambar 5.4 Tampilan Menu *Layernip* 72
Gambar 5.5 *Input* Data pada Menu *General* 73
Gambar 5.6 Titik Tinjauan Kerusakan 74
Gambar 5.7 *Input* data pada Menu *Zcoord* 74
Gambar 5.8 *Input* Parameter *Layer* 75
Gambar 5.9 *Input* data pada Menu Moduli 75
Gambar 5.10 *Input* Data pada Menu *Load* 76
Gambar 5.11 *Input* Data pada Kolom NPT 77
Gambar 5.12 Titik Tinjauan pada Tebal *Overlay* 6 cm 81
Gambar 5.13 titik tinjauan pada tebal *overlay* 8 cm 83

Gambar 5.14 Titik Tinjauan pada Tebal *Overlay* 10 cm 85
Gambar 5.16. Detail Pelaksanaan Lapis Tebal Pengelupasan dan Pelapisan Kembali 89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis 11
Tabel 3.1. Klasifikasi Jalan Menurut Kelasnya 19
Tabel 3.2 Kapasitas Dasar untuk Jalan Antar Kota dengan 4 Lajur 2 Arah (4/2) 20
Tabel 3.3 Kapasitas Dasar untuk Jalan Antar Kota dengan 2 lajur 2 arah (2/2 UD) 21
Tabel 3.4 Faktor Penyesuaian Pengaruh Lebar Lajur Lalu Lintas (FCw) terhadap Kapasitas 21
Tabel 3.5 Faktor Penyesuaian Kapasitas karena Pemisahan Arah (FCsp) 22
Tabel 3.6 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Pengaruh Hambatan Samping (FCsf) 22
Tabel 3.7 Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan 2/2 UD (Tidak Terbagi) 23
Tabel 3.8 Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan 4/2 D (Terbagi) dan 4/2 UD (Tidak Terbagi) 23
Tabel 3.9 EMP Jalan Enam Lajur – Dua Arah Terbagi (6/2 D) 24
Tabel 3.10 EMP Kendaraan Sedang Berat dan Truk Besar pada Tanjakan Khusus 25
Tabel 3.11 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru 28
Tabel 3.12 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*) (%) 29
Tabel 3.13 Faktor Distribusi Lajur (DL) 30
Tabel 3.14 Nilai *VDF* Standar 32
Tabel 3.15 Nilai *VDF* Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga 33
Tabel 3.16 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan 42
Tabel 3.17 Nilai *Poisson's Ratio* 42
Tabel 3.18 Analisis Struktur Perkerasan 44
Tabel 5.1 Data Ruas Jalan Yogyakarta-Solo 58
Tabel 5.2 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Kendaraan 60
Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Volume Lalu Lintas 63

Tabel 5.4 Kontrol Kapasitas Jalan 64
Tabel 5.5 Rekapitulasi Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas 66
Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif 67
Tabel 5.7 Nilai *VDF* 68
Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Nilai *CESA* 70
Tabel 5.9 Rekap Parameter Tiap Lapis Perkerasan 71
Tabel 5.10 Input General 72
Tabel 5.11 Nilai *Vertical Strain* dan *Tangential Strain* 77
Tabel 5.12 Analisis Beban Lalu Lintas 79
Tabel 5.13 Tegangan Regangan Penambahan Tebal 6 cm 81
Tabel 5.14 Analisis Beban Lalu Lintas dengan Penambahan Tebal 6 cm pada Perkerasan Eksisting 82
Tabel 5.15 Tegangan Regangan Penambahan Tebal 8 cm 83
Tabel 5.17 Tegangan Regangan Penambahan Tebal 10 cm 85
Tabel 5.18 Analisis Beban Lalu Lintas dengan Penambahan Tebal 10 cm pada Perkerasan Eksisting 86
Tabel 5.19 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Galian Perkerasan Beraspal dengan *Cold Milling Machine* 90
Tabel 5.20 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penyiapan Badan Jalan (Pemadatan dan Perataan) 91
Tabel 5.21 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat)* 91
Tabel 5.22 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Lapis Perekat (Tack Coat) 92
Tabel 5.23 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan AC Base 93
Tabel 5.24 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan *AC-BC* 94
Tabel 5.25 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan *AC-WC* 94
Tabel 5.26 Perhitungan Kebutuhan Volume Pekerjaan pada Pekerjaan *Overlay* 95
Tabel 5.26 Rencana Anggaran Biaya 96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Penelitian 106

Lampiran 2 Data Lalu Lintas Ruas Jogja -Solo 109

Lampiran 3 Data Tebal Perkerasan Eksisting 115

Lampiran 4 Data Potongan Melintang Perkerasan Eksisting 116

Lampiran 5 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting 117

Lampiran 6 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting Dengan Penambahan aspal Ac-Wc Tebal 6 cm. 119

Lampiran 7 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting Dengan Penambahan aspal Ac-Wc Tebal 8 cm. 121

Lampiran 8 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting Dengan Penambahan aspal Tebal 10 cm. 123

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a = jari-jari bidang kontak

AC-WC = *Asphalt Concrete-Wearing Course*

AC-BC = *Asphalt Concrete-Binder Course*

C = kapasitas jalan

CESA = *Cumulative Equivalent Standard Axle*

Co = kapasitas dasar

CP = *Contact Pressure on Circular Loaded Area*

CR = *Contact Radius of Circular Loaded Area*

CTB = *Cement Treated Base*

DD = faktor distribusi arah

DL = faktor distribusi lajur

| E* | = modulus dinamis dari campuran beton aspal

E = angka ekuivalen

E = modulus elastisitas

ESAL = *Equivalent Single Axle Load*

FCw = faktor penyesuaian lajur lalu lintas

FCsp = faktor penyesuaian arah lalu lintas

FCsf = faktor penyesuaian gesekan samping

f4, f5 = koefisien kriteria deformasi permanen

f_i = modulus geser lapis

HMA = *Hot Mix Asphalt*

i = Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

kPa = Kilo Pascal

LHR = Lalu lintas Harian Rata-rata

LHRT = Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan

N = umur rencana

Nd *deformation* = Jumlah repetisi beban gandar standar yang memicu terjadinya kerusakan *permanent deformation*

Nd *rutting*	= Jumlah repetisi beban gandar standar yang memicu terjadinya kerusakan *rutting*
Nf	= Jumlah repetisi beban gandar standar yang memicu terjadinya kerusakan *fatigue cracking*
P	= beban terpusat
Q	= tekanan beban
Psi	= *Pound Per Square Inch* (Pon per inci persegi)
R	= faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
UR	= umur Rencana
v	= volume
VDF	= angka ekuivalen kendaraan tertentu *(vehicle damage factor)*
XW	= *center to center spacing between two axles along the X axis*
YW	= *center to center spacing between two dual wheels along the Y axis*
ε	= regangan
εc	= regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar
εt	= regangan tarik horizontal di bagian bawah aspal
μ	= *Poisson's Ratio*
σ	= tegangan (N/m2) atau Pascal (Pa)
τ	= tegangan geser

ABSTRAK

Jalan Yogyakarta-Solo merupakan ruas jalan nasional dengan lalu lintas yang padat. Dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat, peningkatan volume lalu lintas tidak dapat dihindarkan. Struktur perkerasan jalan didesain untuk mampu memikul beban lalu lintas yang diperkirakan terjadi selama jangka waktu tertentu, yaitu sepanjang umur rencana. Apabila kumulatif repetisi gandar standar (*cumulative equivalent standard axle load, CESA*) melebihi angka estimasi yang direncanakan secara signifikan, maka perkerasan jalan berisiko mengalami kerusakan struktural sebelum tercapainya umur rencana. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi biaya yang diperlukan akibat dari peningkatan *CESA* terhadap kebutuhan tebal perkerasan guna mempertahankan umur rencana.

Perhitungan dilakukan menggunakan metode MKJI 1997, Bina Marga 2017 dan metode mekanistik empiris dengan Program *KENPAVE*. Kemudian dilakukan perhitungan estimasi biaya yang diperlukan untuk mempertahankan umur rencana pada perkerasan. Data yang digunakan berupa data sekunder yaitu lalu lintas harian (LHR) yang diperoleh dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang..

Hasil perhitungan sisa umur perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dan metode mekanistik empiris dengan Program *KENPAVE* menunjukkan bahwa perkerasan mampu menahan kerusakan *fatique cracking* hingga habis umur rencana. Kemudian, Nr<Nd *rutting terjadi pada tahun ke-6* dan Nr<Nd *Deformatio*n pada tahun ke-8, Guna mempertahankan umur rencana pada perkerasan disarankan dengan penambahan *overlay* dengan metode *Mill and Inlay*, yaitu dengan pengupasan (*mill)* dengan tebal 16 cm (10 cm lapis aspal dan 6 cm lapis fondasi), kemudian dilakukan pelapisan kembali dengan lapis fondasi 6 cm dan lapis aspal eksisting yang ditambah dengan tebal *overlay* yaitu 16 cm (10 cm *AC-BC* dan 6 cm *AC-WC*) dengan estimasi biaya perbaikan per ruas 1 km sebesar Rp7.621.268.446,19 dan biaya keseluruhan untuk ruas jalan Yogyakarta-Solo km 12-14 yaitu Rp 15.645.123.635,38. *Overlay* dilakukan pada tahun 2019 namun dapat dilakukan pada tahun 2021 dengan syarat tidak terjadi peningkatan laju pertumbuhan lalu lintas dan analisis satuan harga yang signifikan.

Kata kunci: *cummulative equivalent standard axle load, CESA*, umur rencana, umur sisa, perkerasan lentur, *overlay*, estimasi biaya.

ABSTRACT

Yogyakarta-Solo Street is a national road with heavy traffic. With rapid economic growth, an increase in traffic volume was inevitable. The pavement structure was designed to be able to carry traffic loads that were expected to occur during a certain period, namely throughout the life of the plan. If the cumulative equivalent standard axle load (CESA) significantly exceeds the estimated planned value, the pavement was at risk of structural damage before the design life was reached. Based on this, this study aimed to estimate the cost for the impact of increasing CESA on pavement thickness requirements to maintain the design life.

Analisys used MKJI 1997, Bina Marga 2017, and KENPAVE Program. Then calculate the estimated cost needed to maintain the design life of the pavement. The data used was secondary data, namely daily traffic (LHR) obtained from the VII National Road Implementation Center, Semarang.

The results of calculating the remaining life of the pavement using the 2017 Bina Marga method and the empirical mechanistic method with the KENPAVE Program showed that the pavement is able to withstand fatigue cracking damage until the end of the design life. The pavement will experience rutting damage in 8^{th} age of design life and permanent deformation in 6^{th} age of design life. To maintain the design life of the pavement, it was recommended to stripping with a thickness 16 cm (10 cm of asphalt layer and 6 cm of foundation layer), then resurfacing with a foundation layer of 6 cm and the re-layering the thickness with 16 cm asphalt (10 cm AC-BC and 6 cm AC-WC) with an estimated cost for1 segment was Rp7.621.268.446,19 and total of cost of Yogyakarta-Solo Road was Rp. 15.645.123.635,38. The overlay will be carried out in 2019 but can be do in 2021, on the conditon there is no significant increase in traffic growth rate and unit price.

***Keywords**: cumulative equivalent standard axle load, CESA, design age, residual life, flexible pavement, overlay, cost estimate*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan Yogyakarta - Solo merupakan ruas jalan nasional yang menghubungkan Provinsi D.I.Yogyakarta dengan Provinsi Jawa Tengah, khususnya menghubungkan dua kota besar yaitu Kota Yogyakarta dan Kota Solo. Ruas Jalan Yogyakarta - Solo memiliki lebar 15 meter, terdiri dari 4 lajur dan pada saat ini difungsikan untuk melayani lalu lintas 2 arah. Jalan tersebut merupakan bagian dari jaringan jalan primer dengan fungsi arteri yang sering dilalui oleh kendaraan roda dua, kendaraan ringan, dan juga kendaraan berat. Seiring meningkatnya pertumbuhan ekonomi, peningkatan volume lalu lintas pada ruas Jalan Yogyakarta – Solo dari waktu ke waktu tidak dapat dihindarkan. Berdasarkan data Lalu Lintas Harian Rerata (LHR) dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII tahun 2013 hingga 2017, terjadi peningkatan laju pertumbuhan lalu lintas dengan rata-rata sebesar 8,122%.

Struktur perkerasan jalan didesain untuk mampu memikul beban lalu lintas yang diperkirakan terjadi selama jangka waktu tertentu, yaitu sepanjang umur rencana. Apabila kumulatif repetisi gandar standar (*cummulative equivalent standard axle load, CESA*) aktual melebihi angka estimasi yang direncanakan secara signifikan, maka perkerasan jalan berisiko mengalami kerusakan struktural sebelum tercapainya umur rencana.

Kerusakan lapis struktural pada perkerasan lentur umumnya ditandai secara visual dengan adanya kerusakan-kerusakan yang khas pada lapis permukaan jalan, seperti retak kulit buaya dan alur. Pada saat dilakukan survei pendahuluan di ruas Jalan Yogyakarta - Solo Km 12 hingga 14 pada 26 November 2019, dijumpai kerusakan jalan berupa kerusakan *alligator cracking* (retak kulit buaya), *longitudinal/transverse cracking* (retak memanjang dan melintang) dan deformasi yang menandakan adanya kerusakan struktural (lihat Gambar 1.1).



(a) **(b)**

Gambar 1.1 Kondisi Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14 November 2019

Sebagaimana diulas di atas, angka pertumbuhan lalu lintas yang tinggi berpotensi menimbulkan kerusakan struktural perkerasan sebelum umur rencananya tercapai. Di sisi lain, ruas jalan sebagai urat nadi perekonomian dituntut untuk selalu memberikan pelayanan yang baik sepanjang waktu. Oleh karenanya sebagai pertimbangan bagi para pengambil keputusan, perlu dikaji solusi diperlukan untuk mempertahankan umur rencana jalan dalam berbagai skenario peningkatan nilai *CESA.*

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini dimaksudkan untuk memperkirakan besarnya biaya investasi yang diperlukan untuk penambahan tebal perkerasan akibat pertumbuhan lalu lintas. Lokasi penelitian dibatasi pada ruas Jalan Nasional Yogyakarta-Solo Km 12-14.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana kerusakan dini yang terjadi pada struktur perkerasan jalan akibat kendaraan yang mengalami peningkatan nilai *CESA* akibat faktor pertumbuhan lalu lintas yang melebihi angka pertumbuhan yang digunakan pada tahap perencanaan?
2. Berapa tebal lapis perkerasan yang perlu ditambahkan pada perkerasan eksisting sehingga dapat tetap mempertahankan umur rencana meskipun terjadi penambahan nilai *CESA* akibat peningkatan angka pertumbuhan lalu lintas?
3. Berapa besarnya biaya investasi tambahan yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas struktural jalan sehingga dapat tetap mempertahankan umur rencana meskipun terjadi penambahan nilai *CESA* akibat peningkatan angka pertumbuhan lalu lintas?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Memperkirakan kerusakan dini yang terjadi pada struktur perkerasan jalan akibat kendaraan yang mengalami peningkatan nilai *CESA* akibat faktor pertumbuhan lalu lintas yang melebihi angka pertumbuhan yang digunakan pada tahap perencanaan.
2. Memperkirakan tebal lapis perkerasan yang perlu ditambahkan pada perkerasan eksisting sehingga dapat tetap mempertahankan umur rencana meskipun terjadi penambahan nilai *CESA* akibat peningkatan angka pertumbuhan lalu lintas.
3. Memperkirakan biaya investasi tambahan yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas struktural jalan sehingga dapat tetap mempertahankan umur rencana meskipun terjadi penambahan nilai *CESA* akibat peningkatan angka pertumbuhan lalu lintas.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan perkembangan teknologi. Manfaat yang dapat diambil dari penelitian sebagai berikut.

1. Sebagai evaluasi terhadap instansi terkait untuk mengantisipasi kerusakan yang berkelanjutan.
2. Mengetahui dampak dari pertumbuhan lalu lintas yang melebihi perencanaan.

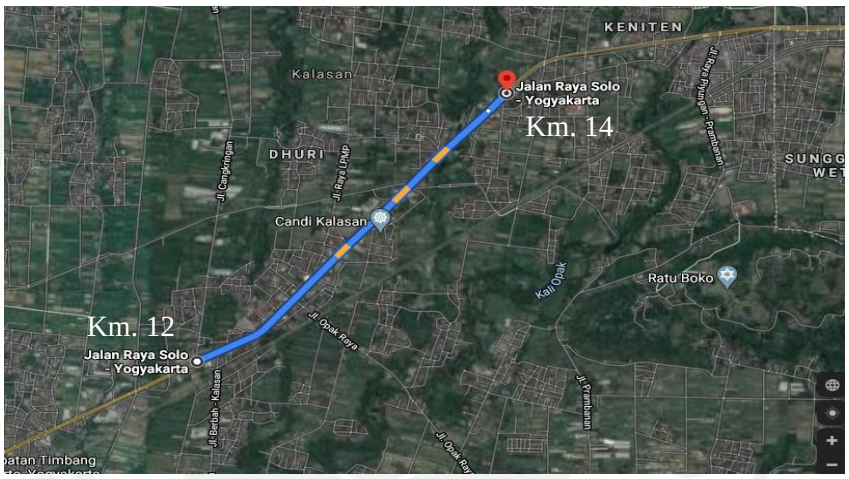
1.5 Batasan Penelitian

Dengan terbatasnya waktu dan ruang dalam penelitian ini maka diperlukan batasan. Adapun batasan yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian berada pada ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km. 12-14.
2. Beban berlebih yang dimaksud adalah nilai *CESA* akibat faktor pertumbuhan lalu lintas yang melebihi angka pertumbuhan pada tahap perencanaan.
3. Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 digunakan untuk menghitung kontrol kapasitas jalan.
4. Metode Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 digunakan untuk menghitung *CESA*.
5. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan mekanistik empiris menggunakan program bantu *KENPAVE*.
6. Data sekunder yang digunakan merupakan data lalu lintas harian rata - rata dari lintasan, dan data perencanaan perkerasan jalan.
7. Data diperoleh dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di ruas jalan Yogyakarta – Solo Km. 12 – 14. Lokasi dapat dilihat pada Gambar 1.2



Gambar 1.2 Ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Faktor - Faktor Penyebab Peningkatan Nilai *CESA*

Rahmawati dkk. (2019) telah melakukan penelitian di ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 9-15. Dalam penelitiannya mengatakan, kendaraan akan memiliki beban gandar yang berbeda karena perbedaan beban. Karena itu, di trotoar jalan perencanaan, perlu ada variasi dalam beban gandar sehingga jumlah yang setara dapat ditentukan untuk perencanaan yang tepat. Jumlah beban yang diterima oleh trotoar tergantung pada beberapa hal, yaitu, berat total kendaraan, konfigurasi gandar, area kontak antara roda dan trotoar dan kecepatan kendaraan. *Overloading* adalah suatu kondisi ketika jalan menerima muatan kendaraan yang tidak mengikuti beban standar yang direncanakan. Peneliti menjelaskan bahwa penyebab kerusakan jalan adalah kelebihan beban itu berulang kali terjadi, air hujan, suhu udara, dan trotoar berkualitas buruk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek kelebihan beban pada umur desain dan tebal perkerasan.

Penelitian ini menggunakan metode Bina Marga untuk menganalisis pengaruh ketebalan perkerasan yang disebabkan oleh kelebihan beban. Analisis dilakukan dengan menggunakan rumus umur desain menurun dengan nilai Gandar Standar Ekuivalen Kumulatif (*CESA*) untuk beban berlebih dan beban standar. Berdasarkan metode Bina Marga 2013, umur desain berkurang sekitar delapan tahun, dari sebelumnya ditentukan 20 tahun. Apalagi berdasarkan analisis ketebalan trotoar 20 tahun umur desain untuk beban standar, ini menunjukkan bahwa ketebalan perkerasan diperlukan untuk lapisan permukaan total adalah 100 mm terdiri dari *AC-WC* 40 mm dan *AC-BC* 60 mm. Selain itu, lapisan kursus dasar adalah 145 mm (*AC Base*), dan lapisan kursus dasar adalah 300 mm (LPA Kelas A). Pada waktu bersamaan, untuk *overloading*, hasil analisis menunjukkan bahwa diperlukan tebal perkerasan untuk lapisan permukaan adalah 100 mm, lapisan bidang dasar adalah 180 mm, dan lapisan bidang dasar adalah 300 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa kelebihan beban menyebabkan pengurangan umur desain perkerasan.

Emor dkk. (2018) melakukan penelitian di ruas Jalan Manado-Bitung dan Ruas jalan Bethesda. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa jalan akan mengalami kerusakan apabila pengulangan beban yang melintas di atasnya lebih besar dari yang direncanakan sehingga dapat mengalami kerusakan dalam jangka waktu yang relatif pendek, maka harus dilakukan perbaikan dengan melapis ulang jalan (*overlay*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar beban lalu lintas, besar penurunan kinerja jalan, serta membandingkan tingkat kerusakan kedua ruas jalan tersebut dengan menghubungkan besarnya beban lalu lintas masing-masing jalan. Dalam penelitian ini data yang diambil dari lokasi penelitian adalah volume lalu lintas, data lendutan *Benkelman Beam*, serta data *International Roughness Index* (IRI) jalan. Analisis data dimulai dengan menghitung *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (*CESA*) berdasarkan Bina Marga 2013, kemudian menghitung lendutan balik dari hasil pengujian dengan alat *Benkelman Beam* (BB) menggunakan metode Pd T-05-2005-B, serta menentukan Indeks Permukaan berdasarkan nilai IRI dengan menggunakan grafik hubungan Indeks Permukaan (IP) dan IRI yang bersumber dari *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).*

Hasil penelitian menunjukkan penurunan kinerja untuk ruas Jalan Manado-Bitung dan ruas Jalan Bethesda hampir sama dilihat dari besarnya lendutan dan Indeks Permukaan kedua ruas jalan tersebut, walaupun ruas Jalan Manado-Bitung memiliki lalu lintas yang lebih besar dengan persentase 19,2% kendaraan berat yang melintas dan sudah 2 tahun di *overlay* dibandingkan dengan ruas Jalan Bethesda yang lalu lintasnya lebih kecil dengan persentase 3,7 % kendaraan berat yang melintas dan baru tahun pertama di *overlay*. Hal ini membuktikan bahwa kerusakan jalan tidak hanya dipengaruhi besar beban lalu lintas, melainkan juga kualitas struktur perkerasan jalan.

2.2 Nilai *CESA* dan Kebutuhan Struktur Perkerasan

Firdaus dkk. (2018) melakukan penelitian di ruas Jalan Lembaro – Batas Pidie, Aceh) untuk mengetahui pengaruh beban kendaraan terhadap umur desain perkerasan. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa kemampuan kendaraan yang lebih baik (kecepatan lebih tinggi, muatan lebih besar) memungkinkan operator

angkutan untuk melakukan "efisiensi transportasi" (membawa barang sebagai sebisa mungkin dengan satu cara yang akan memberikan manfaat). Masalah ini memengaruhi rencana gandar kumulatif standar ekuivalen (*CESA*), yang akan mengalami pergeseran (Rencana *CESA* tercapai sebelum Periode layanan dari ujung konstruksi). Tujuan dari ini Penelitian ini untuk mengetahui hubungan beban kendaraan dengan waktu, bagaimana caranya desain umur perkerasan dan nilai residu *CESA*, dalam umur layanan (waktu) konstruksi (10 tahun).

Dari hasil studi, diketahui simulasi beban kendaraan dengan waktu, Skenario 1 adalah y = 1.0794x - 2171,3, Skenario 2 y = 0,4935x2 - 1987,9x + 2E + 06, dan Skenario 3 y = 0,8605x2 - 3466,3x + 3E + 06. Hasil simulasi umur desain trotoar dan nilai *CESA*, diketahui trotoar itu umur desain telah menurun rata-rata sebesar 3,5 tahun, dan *CESA* nilai residu adalah 42.138.92 ribu ESA.

Nurkholis (2018) melakukan penelitian di ruas Jalan raya Jogja - Purworejo. Dalam penelitiannya dijelaskan, salah satu faktor penyebab kerusakan perkerasan jalan yaitu beban berlebih kendaraan. Beban berlebih berpotensi berpengaruh terhadap kondisi perkerasan jalan yang telah direncanakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh muatan berlebih pada kendaraan berat terhadap kondisi jalan, yaitu mencakup *vehicle damage factor* dan umur rencana perkerasan. Survei dilakukan di jalan Jogja - Purworejo pada tahun 2018. Data diperoleh dari UPPKB Kulwaru Kulon Progo menggunakan survei data langsung di lapangan pada tahun 2018. Data LHR diperoleh dari kantor Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data dari 2014 hingga 2017.

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2013 pada tahun ke-10 diperoleh rencana Beban Gandar Tunggal Setara (*CESA*) kumulatif 77830685 ESAL dan kelebihan beban Kumulatif Setara Tunggal (*CESA*) pada tahun ke-10 183879503 ESAL. Penurunan umur rencana karena kelebihan 1,86 tahun. Kehidupan servis yang tersisa dari trotoar ruas Jalan Jogja - Purworejo menurun sebesar 18,6% dengan sisa umur rencana.

2.3 Mempertahankan Masa Layanan Perkerasan Jalan pada Kondisi Meningkatnya Nilai *CESA*

Wulandari (2017) menjelaskan jalan akan mengalami kerusakan apabila pengulangan beban yang melintas di atasnya lebih besar dari yang direncanakan sehingga dapat mengalami kerusakan dalam jangka waktu yang relatif pendek, maka harus dilakukan perbaikan dengan melapis ulang jalan (*overlay*). Lokasi penelitian mengambil studi kasus di ruas Jalan nasional Yogyakarta-Solo Km 10-14 lajur barat ke timur. Pengolahan data menggunakan metode Bina Marga (2013) dan Program *KENPAVE.* Adapun hasil dari penelitiannya sebagai berikut.

1. Respon tegangan dan regangan maksimum penyebab terjadinya *permanent deformation* terjadi di titik kritis pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) sebesar 0,0001658 kPa. Tegangan yang terjadi penyebab kerusakan *rutting* sebesar 0,00003319 kPa (titik kritis pada titik bawah lapis permukaan). Kemudian untuk *fatigue cracking*, regangan total yang terjadi sebesar 0,00002447 (titik kritis pada titik bawah lapis permukaan).
2. Kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur setelah dibebani akan mengalami *fatigue cracking* sebesar 861.227.048.454 ESAL, *rutting* setelah 17.856.364.825 ESAL, dan mengalami *permanent deformation* sebesar 27.589.486,74 ESAL.
3. Jalan Yogyakarta-Solo masih mampu menahan dengan baik beban lalu lintas sesuai dengan perencanaan sebelumnya. Akan tetapi akan mengalami penurunan umur pelayanan jalan ketika dibebani dengan beban gandar sebesar 10.000 kg dari beban lalu lintas, sehingga akan mengalami penurunan menjadi 9 tahun.
4. Penambahan tebal aspal *AC-WC* sebesar 3 cm sesuai dengan asumsi Program *KENPAVE* sehingga memenuhi pelayanan jalan pada umur 15 tahun.
5. Berdasarkan hasil asumsi penambahan tebal lapis *AC-WC* pada beban 10.000 kg, maka didapatkan penambahan biaya investasi sebesar 2.373.925.680,-

Yulianto (2019) melakukan penelitian tentang analisis nilai sisa perkerasan akibat beban berlebih kendaraan dengan metode *AASHTO* 1993, Bina Marga 2017 dan Program *KENPAVE*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sisa

umur perkerasan akibat pengaruh beban berlebih, mengetahui respon tegangan – regangan struktur perkerasan eksisting yang terjadi akibat beban lalu lintas dan mengetahui tebal lapis perkerasan yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah repetisi beban gandar dengan kontrol Program *KENPAVE*. Lokasi penelitian dilakukan di ruas Jalan Jogja – Purworejo. Pada penelitiannya didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Muatan berlebih di lapangan menyebabkan peningkatan angka V*DF*.
2. Sisa masa layan dari perkerasan ruas Jalan Purworejo – Jogja berdasarkan metode Bina Marga 2017 saat ini tahun ke – 5 (2019) pada kondisi normal adalah 80,13 % dan pada kondisi *overload* adalah 74,56%. Sisa masa layan berdasarkan metode *AASHTO 1993* saat ini tahun ke – 5 (2019) pada kondisi normal adalah 80,11% dan kondisi *overload* adalah 74,94%.
3. Nilai tegangan dan regangan penyebab kerusakan berupa *fatigue cracking* sebesar 0,00004827, regangan penyebab kerusakan *rutting* sebesar 0,0001164 dan regangan *fatigue cracking* sebesar 0,0001056. Perkerasan eksisting dengan kondisi normal mampu mengakomodasi kerusakan hingga melebihi tahun ke – 20, sedangkan perkerasan eksisting dengan beban *overload* mampu mengakomodasi sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* hingga melebihi tahun ke – 20. Tidak mampu mengakomodasi beban repetisi sebesar 166.478.825,91 ESAL sampai terjadi kerusakan *rutting* pada tahun ke – 11, dan tidak mampu mengakomodasi 257.790.183,65 ESAL sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke – 7.
4. Tebal perkerasan alternatif untuk memenuhi kondisi normal yaitu 26 cm dengan tebal fondasi atas 15 cm, dan fondasi bawah 30 cm. Selanjutnya, pada kondisi *overload* diperoleh tebal perkerasan dengan tebal permukaan 31 cm, tebal fondasi atas sebesar 15 cm dan tebal fondasi bawah 32 cm.

2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

Perbedaan permasalahan pada penelitian sebelumnya dijadikan pembanding dalam menyusun penelitian ini. Adapun perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian penulis dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
1	Rahmawati dkk. (2019)	Pengaruh Kelebihan Beban pada Desain Kehidupan Jalan dan Ketebalan Lapisan Perkerasan.	Ruas Jalan Jogja - Solo Km 9-15.	Mengetahui efek kelebihan beban pada umur desain dan tebal perkerasan.	Umur desain berkurang sekitar delapan tahun, dari sebelumnya ditentukan 20 tahun. Ketebalan perkerasan diperlukan untuk lapisan permukaan total adalah 100 mm terdiri dari AC WC 40 mm dan AC BC 60 mm. Selain itu, lapisan kursus dasar adalah 145 mm (*AC Base*), dan lapisan kursus dasar adalah 300 mm (LPA Kelas A). Pada waktu bersamaan, untuk *overloading*, hasil analisis menunjukkan bahwa diperlukan tebal perkerasan untuk lapisan permukaan adalah 100 mm, lapisan bidang dasar adalah 180 mm, dan lapisan bidang dasar adalah 300 mm.
2	Emor dkk. (2018)	Pengaruh Beban Gandar Kumulatif terhadap Penurunan Kinerja Jalan.	Ruas Jalan Manado-Bitung dan Ruas Jalan Bethesda.	Mengetahui besarnya beban lalu lintas pada ruas Jalan Manado-Bitung dan ruas Jalan Bethesda. Mengetahui besarnya penurunan kinerja jalan. Membandingkan tingkat kerusakan dari kedua ruas jalan tersebut dengan menghubungkan besarnya beban lalu.	Penurunan kinerja untuk ruas jalan Manado-Bitung dan ruas Jalan Bethesda hampir sama dilihat dari besarnya lendutan dan Indeks. Ruas Jalan Manado-Bitung memiliki lalu lintas yang lebih besar dengan persentase 19,2% dan sudah 2 tahun di *overlay* dibandingkan dengan Ruas Jalan Bethesda yang lalu lintasnya lebih kecil dengan persentase 3,7 % kendaraan berat yang melintas dengan satu tahun di *overlay*. Hal ini membuktikan bahwa kerusakan jalan tidak hanya dipengaruhi besar beban lalu lintas, melainkan juga kualitas struktur perkerasan jalan.

Sumber : Rahmawati dkk.(2019),Emor dkk.(2018)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
3	Firdaus dkk (2018)	Pengaruh Beban Kendaraan terhadap Umur Desain Perkerasan.	Jalan Nasional Lambaro – Batas Pidie, Provinsi Aceh).	Mengetahui hubungan beban kendaraan dengan waktu, bagaimana umur perkerasan desain dan nilai *CESA* sisa, dalam rentang umur layan (waktu) konstruksi (10 tahun).	Hubungan beban kendaraan dengan waktu, berdasarkan volume kendaraan dalam masa layan umur konstruksi perkerasan (10 tahun), untuk Skenario 1 adalah y = 1E+06x - 2E+09, Skenario 2 dengan y = 2E+06x - 5E+09, dan Skenario 3 dengan y = 4E+06x - 8E+09. Umur perkerasan mengalami penurunan 3 tahun, serta nilai *CESA* sisa sebesar 16,322 juta ESA (Skenario 2), dan penurunan 4 tahun, serta nilai *CESA* sisa sebesar 67,955 juta ESA (Skenario 3).
4	Nurkholis (2018)	Analisis Beban Berlebih Kendaraan pada Perkerasan Lentur Terhadap Penurunan Umur Rencana Perkerasan Jalan.	Jalan Raya Jogja – Purworejo Km 37 – Km 41 .	Mengidentifikasi dan memperkirakan besarnya beban berlebih (*overloading*). Mengetahui sisa umur (*remaining life*) atau tingkat penurunan umur perkerasan.	Dari hasil perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2013 pada tahun ke-10 diperoleh rencana Beban Gandar Tunggal Setara (*CESA*) kumulatif 77830685 ESAL dan kelebihan beban Kumulatif Setara Tunggal (*CESA*) pada tahun ke-10 183879503 ESAL. Penurunan umur rencana karena kelebihan 1,86 tahun. Kehidupan servis yang tersisa dari trotoar ruas Jalan Jogja - Purworejo menurun sebesar 18,6% dengan sisa umur rencana.

Sumber : Firdaus dkk.(2018), Nurkholis (2018)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
5	Wulandari (2017)	Pengaruh Beban Berlebih (*Overload*) Terhadap Umur Pelayanan Jalan Dengan Menggunakan Metode Program *KENPAVE* dan AASHTO 1986.	Ruas Jalan Jogja - Solo Km 10-12.	Mengetahui penambahan tebal perkerasan yang terjadi di lapangan akibat peningkatan kapasitas struktural jalan dari 8.000 kg menjadi 10.000 kg, dan Menghitung besarnya kenaikan biaya investasi yang dibutuhkan akibat penambahan tebal perkerasan jalan pada jalan Yogyakarta-Solo Km 10-14.	Jalan Yogyakarta-Solo masih mampu menahan dengan baik beban lalulintas sesuai perencanan. Terjadi penurunan umur menjadi 9 tahun pelayanan jalan ketika dibebani dengan beban gandar sebesar 10.000 kg dari beban lalulintas. Penambahan tebal aspal *AC-WC* sebesar 3 cm sehingga memenuhi pelayanan jalan pada umur 15 tahun dengan biaya investasi sebesar 2.373.925.680,-
6	Yulianto (2019)	Analisis Nilai Sisa Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Kendaraan dengan Metode Empiris dan Metode Mekanistik-empiris dengan Program *KENPAVE*	Ruas Jalan Purworejo – Jogja	Mengetahui sisa umur perkerasan akibat pengaruh beban berlebih, mengetahui respon tegangan – regangan struktur perkerasan eksisting yang terjadi akibat beban lalulintas dan mengetahui tebal lapis perkerasan yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah repetisi beban gandar dengan kontrol Program *KENPAVE*	Perkerasan eksisting dengan kondisi normal mampu mengakomodasi kerusakan hingga melebihi tahun ke – 20. Perkerasan dengan beban *overload* mampu mengakomodasi sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* hingga melebihi tahun ke – 20,namun terjadi kerusakan *rutting* pada tahun ke – 11 dan kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke – 7. Tebal perkerasan alternatif untuk memenuhi kondisi normal yaitu permukaan 26 cm, fondasi atas 15 cm, dan fondasi bawah 30 cm. Perkerasan pada kondisi *overload* diperoleh tebal perkerasan dengan tebal permukaan 31 cm, tebal fondasi atas sebesar 15 cm dan tebal fondasi bawah 32 cm.

Sumber : Wulandari (2017), Yulianto (2019)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
7	Penulis (2021)	Estimasi Biaya dari Dampak Peningkatan Repetisi Gandar Standar Kumulatif (*CESA*) Terhadap Kebutuhan Tebal Perkerasan Lentur untuk Mempertahankan Umur Rencana Jalan: Studi Kasus Jalan Yogyakarta - Solo Km 12-14.	Ruas Jalan Jogja - Solo Km 12-14.	Memperkirakan kerusakan dini yang terjadi akibat kendaraan yang mengalami peningkatan nilai CESA akibat faktor pertumbuhan lalu lintas yang melebihi angka pertumbuhan yang digunakan pada tahap perencanaan Memperkirakan tebal lapis tambah diperlukan untuk meningkatkan kapasitas struktural jalan sehingga dapat tetap mempertahankan umur rencana Memperkirakan biaya investasi tambahan yang diperlukan untuk meningkatkan kapasitas struktural jalan sehingga dapat tetap mempertahankan umur rencana meskipun terjadi penambahan nilai *CESA* akibat peningkatan angka pertumbuhan lalu lintas.	Hasil penelitian dengan metode mekanistik empiris dengan Program *KENPAVE* menunjukkan perkerasan mengalami kerusakan *rutting* pada umur ke – 8 perkerasan setelah 1,22 x 10^8 ESA dan kerusakan *permanen deformation* pada umur ke -6 perkerasan setelah 3,87 x 10^7 ESA. Untuk mempertahankan umur rencana pada perkerasan disarankan dengan *overlay* yang dilakukan dengan metode pengupasan dan pelapisan kembali. Hasil desain tebal pengupasan didapatkan tebal yaitu 16 cm (10 cm lapis aspal dan 6 cm lapis fondasi), kemudian dilakukan pelapisan kembali dengan lapis fondasi 6 cm dan lapis aspal eksisting yang ditambah dengan tebal *overlay* yaitu 16 cm (10 cm *AC-BC* dan 6 cm A*C-WC*). Biaya *overlay* berdasarkan AHS di Lingkungan Pemerintah Yogyakarta 2019 yang diperlukan untuk perbaikan per ruas per 1 km yaitu sebesar Rp7.621.268.446,19, dan biaya total keseluruhan Rp15.645.123.635,38. Penambahan tebal perkerasan dilakukan pada tahun ke-6 pada saat kerusakan paling dini terjadi yaitu pada tahun 2019. Namun dapat dilakukan pada tahun 2021 dengan desain pada penelitian ini dengan catatan tidak adanya peningkatan angka laju pertumbuhan lalu lintas dan analisis satuan harga.

Dari Tabel 2.1 rangkuman penelitian terdahulu, dapat dirangkum persamaan dan perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian ini sebagai berikut.

1. Persamaan penelitian ini dengan penelitian Rahmawati dkk.(2019) dan Emor dkk. (2018) yaitu membahas tentang penurunan umur rencana perkerasan jalan yang disebabkan oleh beban gandar kumulatif (*CESA*). Perbedaan penelitian ini dan terdahulu terletak pada metode yang digunakan. Rahmawati dkk. (2019) menggunakan metode Bina Marga 2013. Emor dkk. (2018) menggunakan metode Bina Marga 2013 dan menghitung lendutan balik dari hasil pengujian dengan alat *Benkelman Beam* (BB) menggunakan metode Pd T-05-2005-B, serta menentukan Indeks Permukaan berdasarkan nilai IRI dengan menggunakan grafik hubungan Indeks Permukaan (IP). Pada penelitian ini menggunakan metode Bina Marga 2017 dan metode mekanistik-empiris . Penelitian Rahmawati dkk.(2019) dan Emor dkk. (2018) juga tidak membahas tentang estimasi biaya yang diperlukan sebagai dampak dari adanya penurunan umur rencana.
2. Persamaan penelitian ini dengan penelitian Firdaus dkk. (2018) dan Nurkholis (2018) adalah membahas tentang pengurangan umur rencana. Perbedaan penelitian Perbedaan penelitian ini dan terdahulu terletak pada metode yang digunakan. Firdaus dkk. (2018) menggunakan metode Bina Marga 2005 dan didapatkan hasil hubungan antara beban dan waktu dengan volume lalu lintas. Penelitian Nurkholis (2018) menggunakan metode Bina Marga 2013 dan didapatkan hasil berupa angka penurunan umur rencana perkerasan. Penelitian ini menggunakan metode Bina Marga 2017 dan metode Mekanistik- Empiris.
3. Persamaan penelitian ini dengan penelitian Wulandari (2017) dan Yulianto (2019) adalah terletak pada metode yang digunakan dan membahas tentang pengaruh beban lalu lintas terhadap umur rencana. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian Wulandari (2017) adalah menggunakan metode Bina Marga 2013. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian Yulianto (2019) adalah menggunakan metode *AASHTO 1993.*

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Definisi Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang menghubungkan daerah ke daerah lainnya untuk memudahkan pergerakan manusia dan barang. Menurut Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan, jalan didefinisikan sebagai prasarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan, termasuk tanah, tanah, bangunan tambahan di bawah tanah, dan peralatan yang diperuntukkan bagi transportasi. Tanah dan / atau air, dan di atas permukaan air, kecuali kereta api, truk, dan jalan kabel.

3.3.1 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan merupakan salah satu aspek penting dalam mendesain perkerasan jalan, karena akan menentukan standar desain yang akan dirancang. Menurut Undang - Undang Nomor 38 2004 Tentang Jalan, jalan umum merupakan jalan yang difungsikan untuk lalu lintas umum. Jalan umum diklasifikasi berdasarkan sistem, fungsi, jaringan, status dan kelas jalan.

1. Klasifikasi Jalan Menurut Sistem Jaringannya

   Klasifikasi jalan umum sistem jaringannya berdasarkan Undang - Undang Nomor 38 2004 sebagai berikut.

   1) Sistem jaringan primer jalan merupakan jaringan jalan yang melayani distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat - pusat kegiatan.
   2) Sistem jaringan jalan sekunder merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan.

2. Klasifikasi Jalan Menurut Fungsinya

   Klasifikasi jalan umum sistem fungsinya berdasarkan Undang - Undang Nomor 38 2004 sebagai berikut.

   1) Jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata - rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
   2) Jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata - rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
   3) Jalan lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata - rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
   4) Jalan lingkungan merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah.

3. Klasifikasi Jalan Menurut Statusnya

   Klasifikasi jalan umum sistem jaringannya berdasarkan Undang - Undang Nomor 38 2004 sebagai berikut.

   1) Jalan nasional merupakan jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi, dan jalan strategis nasional, serta jalan tol.
   2) Jalan provinsi merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/ kota, atau antar ibukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi.
   3) Jalan kabupaten merupakan jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.
   4) Jalan kota adalah jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat

pelayanan dengan persil, menghubungkan antar persil, serta menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam kota.

5) Jalan desa merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan /atau antar pemukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.

4. Klasifikasi Jalan Menurut Kelasnya

Klasifikasi jalan menurut kelasnya berdasarkan Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2009 kelasnya dikelompokkan berdasarkan berikut.

1) Jalan kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 10 (sepuluh) ton.
2) Jalan kelas II, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 (dua belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 8 (delapan) ton.
3) Jalan kelas III, yaitu jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui Kendaraan Bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 (dua ribu seratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 (sembilan ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 3.500 (tiga ribu lima ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat 8 (delapan) ton.
4) Jalan kelas khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu terberat lebih dari 10 (sepuluh) ton.

Klasifikasi jalan menurut kelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1. Klasifikasi Jalan Menurut Kelasnya

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum			Muatan Sumbu Terberat (ton)
		Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	
Kelas I	Arteri dan kolektor	18	2,5	4,2	10
Kelas II	Arteri, kolektor, lokal dan lingkungan	12	2,5	4,2	8
Kelas III	Arteri, kolektor, lokal dan lingkungan	9	2,1	3,5	8
Kelas Khusus	Jalan arteri	18	2,5	4,5	10

Sumber : UU Nomor 22 tahun 2002

3.2 Kontrol Kapasitas Jalan Raya

3.2.1 Kapasitas Jalan

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang melalui suatu titik di jalur yang dapat ditampung yang dinyatakan dalam satuan per jam pada kondisi tertentu. Dalam perhitungan kapasitas jalan dibagi menjadi segmen jalan yaitu.

1. Jalan perkotaan/semi perkotaan atau luar dengan ciri mempunyai perkembangan secara permanen dan menerus sepanjang seluruh atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, apakah berupa perkembangan lahan atau bukan. Jalan di atau dekat pusat perkotaan dengan penduduk lebih dari 100.000 selalu digolongkan dalam kelompok ini. Jalan di daerah perkotaan dengan penduduk kurang dari 100.000 juga digolongkan dalam kelompok ini jika mempunyai perkembangan samping jalan yang permanen dan menerus.
2. Segmen jalan luar kota dengan ciri tidak ada perkembangan yang menerus pada setiap sisi jalan, walaupun terdapat beberapa perkembangan permanen seperti rumah makan, pabrik, atau perkampungan. (Catatan: Kios kecil dan kedai di sisi jalan bukan merupakan perkembangan permanen).

Kapasitas suatu ruas jalan dihitung menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI 1997). Pernitungan kapasitas jalan untuk jalan perkotaaan dihitung dengan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

C = Co x FCw x FCsp x FCsf (smp/j) (3.1)

dengan,

C = kapasitas *(Capacity),*
Co = kapasitas dasar *(Basic capacity),*
FCw = faktor penyesuaian lajur lalu lintas *(Traffic lane adjustment factor),*
FCsp = faktor penyesuaian arah lalu lintas *(Traffic direction adjustment factor),dan*
FCsf = faktor penyesuaian gesekan samping *(Side friction adjustment factor).*

1. Kapasitas dasar (Co)

   Kapasitas dasar jalan ditentukan berdasarkan pada MKJI 1997. Untuk tipe jalan 2/2TT, kapasitas ditentukan untuk total arus dua arah. Untuk jalan dengan tipe 4/2T, 6/2T, dan 8/2T, arus ditentukan secara terpisah per arah dan kapasitas ditentukan per lajur. Berikut kapasitas dasar jalan antar kota dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3

Tabel 3.2 Kapasitas Dasar untuk Jalan Antar Kota dengan 4 Lajur 2 Arah (4/2)

Jenis dan Alinyemen Jalan	Kapasitas Dasar Total Dua Arah (SMP/Jam/Lajur)
Empat lajur terbagi	
Datar	1900
Bukit	1850
Gunung	1800
Empat lajur tak terbagi	
Datar	1700
Bukit	1650
Gunung	1600

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Tabel 3.3 Kapasitas Dasar untuk Jalan Antar Kota dengan 2 lajur 2 arah (2/2 UD)

Jenis dan Alinyemen Jalan	Kapasitas Dasar Total Dua Arah (SMP/Jam/Lajur)
Empat lajur terbagi	
Datar	3100
Bukit	3000
Gunung	2900

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

2. Faktor penyesuaian lajur lalu lintas *(Traffic lane adjustment factor)*

   Faktor penyesuaian lalu lintas (FCw) dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Faktor Penyesuaian Pengaruh Lebar Lajur Lalu Lintas (FCw) terhadap Kapasitas

Jenis Jalan	Lebar Efektif Lajur Lalu Lintas (W_c) (m)	FC_W
Empat lajur terbagi atau Enam lajur terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua lajur tak terbagi	Total dua arah	
	5	0,69
	6	0,91
	7	1,00
	8	1,08
	9	1,15
	10	1,21
	11	1,27

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

3. Faktor penyesuaian arah lalu lintas *(Traffic direction adjustment factor)*

   Faktor penyesuaian kapasitas karena pemisahan arah (FCsp) dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Faktor Penyesuaian Kapasitas karena Pemisahan Arah (FCsp)

Pemisahan Arah SP %-%		**50 - 50**	**55 - 45**	**60 - 40**	**65 - 35**	**70 - 30**
FCsp	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,975	0,95	0,925	0,90

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

4. Faktor penyesuaian gesekan samping *(Side friction adjustment factor)*

   Faktor penyesuaian kapasitas akibat pengaruh hambatan samping (FCsf) dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Pengaruh Hambatan Samping (FCsf)

Jenis jalan	**Kelas hambatan**	**Faktor Penyesuaian akibat Pengaruh Gesekan Samping (FCsf)**			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥2,0
4/2 D	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,95	1,01
2/2 UD 4/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,64	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

3.2.2 Satuan Mobil Penumpang

Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang, sehingga perlu adanya faktor koreksi untuk jenis kendaraan dil luar kendaraan mobil penumpang. Faktor ekuivalen untuk mobil penumpang (EMP) berdasarkan MKJI 1997 dapat dilihat pada Tabel 3.7, Tabel 3.8, Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.7 Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan 2/2 UD (Tidak Terbagi)

Tipe Alinyemen	Arus Lalu Lintas Per Arah (kend/j)	Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar Jalur (m)		
					< 6	6 - 8	> 8
Datar	0	1,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,4
	800	1,8	1,8	2,7	1,2	0,9	0,6
	1350	1,5	1,6	2,5	0,9	0,7	0,5
	≥1900	1,3	1,3	2,5	0,6	0,5	0,4
Bukit	0	0	1,6	1,8	0,7	0,5	0,3
	650	2,4	2,5	5,0	1,0	0,8	0,5
	1100	2,0	2,0	4,0	0,8	0,6	0,4
	≥ 1600	1,7	1,7	3,2	0,5	0,4	0,3
Gunung	0	0	3,5	2,5	0,6	0,4	0,2
	450	3,0	3,2	5,5	0,9	0,7	0,4
	900	2,5	2,5	5,0	0,7	0,5	0,3
	≥ 1350	1,9	2,2	4,0	0,5	0,4	0,3

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Tabel 3.8 Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan 4/2 D (Terbagi) dan 4/2 UD (Tidak Terbagi)

Tipe alinyemen	Arus lalu lintas (kend/jam)		Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)			
	Jalan Terbagi (Per Arah) (kend/j)	Jalan Tak Terbagi (Total) (kend/j)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1000	1700	1,4	1,4	2,0	0,6
	1800	3500	1,6	1,7	2,5	0,8
	> 2150	> 3950	1,3	1,5	2,0	0,5

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Lanjutan Tabel 3.8 Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan 4/2 D (Terbagi) dan 4/2 UD (Tidak Terbagi)

Tipe Alinyemen	Arus Lalu Lintas (kend/jam)		Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)			
	Jalan Terbagi (Per Arah) (kend/j)	Jalan Tak Terbagi (Total) (kend/j)	MHV	LB	LT	MC
Bukit	0	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	750	1350	2,0	2,0	4,6	0,5
	1400	2500	2,2	2,3	4,3	0,7
	> 1750	>3150	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	0	3,2	2,2	5,5	0,3
	550	1000	2,9	2,6	5,1	0,4
	1100	2000	2,6	2,9	4,8	0,6
	> 1500	> 2700	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Tabel 3.9 EMP Jalan Enam Lajur – Dua Arah Terbagi (6/2 D)

Tipe Alinyemen	Arus Lalu Lintas Per Arah (kend/j)	Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP)			
		MHV	LB	LT	MC
Flat Datar	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1500	1,4	1,4	2,0	0,6
	2750	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 3250	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukti	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	1100	2,0	2,0	4,6	0,5
	2100	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥ 2650	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	3,2	2,2	5,5	0,3
	800	2,9	2,6	5,1	0,4
	1700	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥ 2300	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

Tabel 3.10 EMP Kendaraan Sedang Berat dan Truk Besar pada Tanjakan Khusus

Panjang (km)	EMP									
	Gradien (%)									
	3		4		5		6		7	
	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT
0,5	2,0	4,0	3,0	5,0	3,8	6,4	4,5	7,3	5,0	8,0
0,75	2,5	4,6	3,0	6,0	4,2	7,5	4,8	8,6	5,3	9,3
1,0	2,8	5,0	3,5	3,6	4,4	7,6	5,0	8,6	5,4	9,3
1,5	2,8	5,0	3,6	3,6	4,4	7,6	5,0	8,5	5,4	9,1
2,0	2,8	5,0	3,6	3,6	4,4	7,5	4,9	8,3	5,2	8,9
3,0	2,8	5,0	3,6	3,6	4,2	7,5	4,6	8,3	5,0	8,9
4,0	2,8	5,0	3,6	3,6	4,2	7,5	4,6	8,3	5,0	8,9
5,0	2,8	5,0	3,6	3,6	4,2	7,5	4,6	8,3	5,0	8,9

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (1997)

3.2.3 Rasio Volume per Kapasitas *(V/C ratio)*

Rasio volume per kapasitas merupakan perbandingan antara volume yang melintas (smp/jam) pada jam sibuk dengan kapasitas pada suatu ruas jalan tertentu (smp/jam). Semakin tinggi perbandingan *V/C ratio*, semakin rendah kualitas jalan tersebut. Sebaliknya semakin tinggi kecepatan perjalanannya, semakin tinggi kualitas ruas jalan tersebut. Kapasitas jalan mengacu Permen PU No.19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan untuk suatu ruas jalan dinyatakan oleh tingkat pelayanan yang merupakan rasio antara volume lalu lintas terhadap kapasitas jalan (selanjutnya disebut *V/C ratio*) ditetapkan sebagai berikut.

a. *V/C ratio* untuk jalan arteri dan kolektor paling tinggi 0,85 (nol koma delapan lima),dan

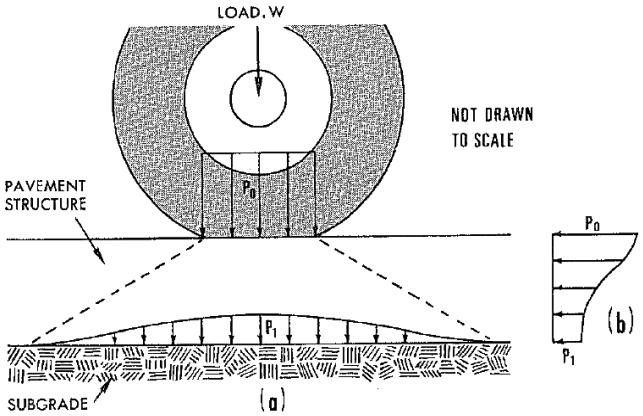
b. *V/C ratio* untuk jalan lokal dan lingkungan ≤ 0,9 (nol koma sembilan).

Periode jam puncak untuk jalan perkotaan ditentukan berdasarkan MKJI 1997 yang umumnya digunakan di Indonesia adalah 9 % dari volume yang melintas.

3.3 Perkerasan Jalan

Berdasarkan *Asphalt Institute* (1970), struktur perkerasan aspal terdiri dari permukaan aspal dengan satu atau lebih lapisan serta lapis fondasi yang dibangun di atas tanah asli/tanah dasar (*base course*) atau tanah dasar yang diperkuat. Struktur ini dirancang untuk mendukung beban lalu lintas. Struktur perkerasan jalan

didesain dengan ketebalan tertentu, sehingga dapat menyalurkan beban secara merata ke tanah dasar. Dengan adanya struktur perkerasan jalan dapat mengurangi intensitas beban roda dan mendukung beban lalu lintas tanpa adanya kerusakan pada tanah dasar. Penyaluran beban kendaraan pada struktur perkerasan jalan dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



(Sumber : *Asphalt Institute*. 1970)

Gambar 3.1 Distribusi Beban Kendaraan pada Struktur Perkerasan Jalan

Berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan jalan dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan komposit.

3.3.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang paling umum yang digunakan dalam konstruksi jalan. Perkerasan lentur atau perkerasan aspal *(asphalt pavement*). umumnya terdiri dari lapis permukaan aspal yang berada di atas tanah dasar. Secara umum lapisan perkerasan lentur pada pembuatan jalan baru biasanya umumnya terdiri dari 3 lapisan utama, yaitu.

1. Lapis permukaan (*surface course*)

   Lapis permukaan merupakan lapis perkerasan yang terletak paling atas dari konstruksi lapis perkerasan berfungsi untuk menahan beban roda kendaraan sebagai lapis aus yang menerima gesekan akibat rem kendaraan, sebagai lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca dan sebagai lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung rendah. Lapisan

permukaan terdiri dari beberapa komponen yaitu *seal coat*, lapisan aus, *track coat*, lapisan pengikat, *prime coat.*

2. Lapis fondasi atas (*base course*)

   Lapis fondasi atas merupakan lapis perkerasan jalan yang terletak antara lapis fondasi atas dan lapis permukaan. Lapis fondasi berfungsi untuk menahan gaya lintang dari beban roda kendaraan yang menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya, lapis peresapan untuk lapisan fondasi bawah dan sebagai letak lapis permukaan.

3. Lapis fondasi bawah (*sub base course*)

   Lapis fondasi bawah adalah bagian perkerasan jalan yang terletak antara lapis fondasi atas dan tanah dasar yang berfungsi meneruskan beban di atasnya dan selanjutnya meneruskan tegangan yang diterima ke tanah dasar. Lapisan fondasi bawah juga berfungsi sebagai penahan partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan fondasi atas.

3.4 Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga 2017)

Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga 2017) merupakan dasar dalam menentukan tebal perkerasan yang dibutuhkan mendesain tebal perkerasan untuk suatu jalan raya di Indonesia. Bina Marga 2017 merupakan revisi terbaru dari pedoman dasar desain perkerasan yang sebelumnya Metode Analisis Komponen 1987, kemudian berkembang menjadi Pt T-01-2002-B dan selanjutnya menjadi Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga 2013). Dengan adanya perubahan dalam Bina Marga 2017 dapat mempermudah pemahaman pengguna. Adapun parameter yang dijadikan sebagai perhitungannya sebagai berikut.

3.4.1 Umur Rencana

Berdasarkan Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisis Komponen (1987), umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru. Penentuan umur rencana jalan dipertimbangkan terhadap nilai ekonomi jalan yang bersangkutan dan kinerja perkerasan harus maksimum dalam periode yang ditentukan. Ketentuan

umur rencana diatur dalam Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017 nomor 04/SE/Db/2017, dengan mempertimbangkan elemen perkerasan. Peraturan dalam menentukan umur rencana dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (*overlay*), seperti: jalan perkotaan, *underpass*, jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based (CTB)	
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)

3.4.2 Lalu Lintas

1. Volume lalu lintas

   Volume lalu lintas didefinisikan sebagai sejumlah kendaraan yang melewati satu jalan selama satu satuan waktu. Dalam perhitungan desain perkerasan dibutuhkan nilai Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) yang didapat diperoleh dari nilai rata-rata jumlah kendaraan selama setahun penuh.

2. Pertumbuhan lalu lintas

   Pertumbuhan lalu lintas pada suatu jalan akan bertambah dari tahun ke tahun seiring pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Lalu lintas dapat dihitung menggunakan metode eksponensial dengan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

   $$LHRT = LHRo\ (1 + i)^n \quad (3.2)$$

   dengan,

   LHRT = lalu Lintas Rata-rata akhir umur rencana,

   LHRo = lalu Lintas Rata-rata awal umur rencana,

   n = umur rencana (tahun), dan

i = angka pertumbuhan.

3. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Penentuan faktor pertumbuhan lalu lintas ditentukan berdasarkan data-data pertumbuhan *series* (*historical growth* data) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka dapat menggunakan nilai-nilai yang disarankan dari Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 04/SE/Db/2017 (Bina Marga 2017) untuk tahun 2015 hingga 2035. Nilai-nilai yang disarankan faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dilihat Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*) (%)

	Jawa	**Sumatera**	**Kalimantan**	**Rata-rata Indonesia**
Arteri 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)

Untuk menghitung angka faktor pertumbuhan lalu lintas dapat menggunakan metode *AASHTO 1993* dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut

$$i = (\frac{LHRn}{LHR1})^{\frac{1}{n}}\text{-}1 \quad (3.3)$$

dengan,

i = angka pertumbuhan lalu lintas,

LHRn = jumlah LHR pada tahun terbaru,

LHR_1 = jumlah LHR pada tahun sebelumnya, dan

n = selisih jumlah tahun data yang diambil.

4. Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R)

Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif selama umur rencana dihitung dengan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$R = \frac{(1+0{,}01i)^{UR}-1}{0{,}01i} \quad (3.4)$$

dengan,

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%), dan

UR = umur rencana.

Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut.

$$R = \frac{(1+0{,}01i)^{UR}-1}{0{,}01i} + (UR\text{-}Q)\ (1 + 0{,}01\ i)(Q-1) \quad (3.5)$$

dengan,

Q = tahun tercapainya kapasitas lalu lintas.

5. Lalu lintas pada lajur rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (*CESA*) pada jalan dengan dua lanjut atau lebih dalam satu arah. Faktor distribusi jalan dapat dilihat pada Tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.13 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)

Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu Permen PU No.19/PRT/M/2011

tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan rasio antara volume dan kapasitas jalan yang harus dipenuhi.

6. Faktor ekuivalen beban (*Vehicle Damage Factor*)

   Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Untuk mengetahui perhitungan beban lalu lintas maka harus dilakukan survei beban gandar secara manual. Namun apabila tidak memungkinkan dapat menggunakan nilai *VDF* pada tabel yang disediakan di Manual Bina Marga 2017. Adapun nilai *VDF* dapat dilihat pada Tabel 3.14 dan Tabel 3.15 di halaman berikut.

Tabel 3.14 Nilai *VDF* Standar

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara,			
	Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal	
	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF	4VDF	5VDF
5B	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1	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	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	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	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
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 3.15 Nilai *VDF* Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan Yang Diangkut	Distribusi Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		(VDF) (ESA / kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan Kecuali Sepeda Motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1,1		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	
5b	5b	Bus besar	1,2		2	0,1	0,20	1,0	0,2
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu – kargo ringan	1,1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	1,0
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1,2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,2
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu – kargo sedang	1,2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,8
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu – sedang	1,2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	0,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1,2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	1,7
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1,2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	0,8
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – berat	1,1,2	muatan umum	3	0,1	5,60	28,9	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – ringan	1,22	tanah, pasir, besi, semen	3	3,9		7,6	62,2

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Lanjutan Tabel 3.15 Nilai *VDF* Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan Yang Diangkut	Distribusi Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		(VDF) (ESA / kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan Kecuali Sepeda Motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – sedang	1.22		3		0,10	28,1	11,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 trailer	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	64,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	90,4
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		5	0,7	1,00	19,0	24,0
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		5			30,3	33,2
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	69,7

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Catatan: Data didasarkan pada survei beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa – 2011,

7. Beban Sumbu Standar Kumulatif

   Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (*CESA*) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 berikut.

$$CESA = (\sum LHRT \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.6)$$

   dengan,

   CESA = kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen (*equivalent standard axle*),

   LHRT = lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),

   VDF = faktor ekuivalen beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga,

   DD = faktor distribusi arah,

   DL = faktor distribusi lajur, dan

   R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.5 Metode Mekanistik-empiris

3.5.1 Pengertian Metode Mekanistik - Empiris

Metode mekanistik - empiris merupakan metode pada prinsip perencanaan perkerasan jalan yang dikembangkan dari kombinasi metode mekanistik dan empiris. Metode desain mekanistik-empiris didasarkan pada mekanika bahan masukan berupa beban roda, struktur perkerasan dan sifat mekanik material, dengan keluaran berupa respons perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan atau lendutan. Respons struktural tersebut digunakan untuk memprediksi kinerja struktur perkerasan dalam hal deformasi permanen dan retak lelah. Karena prediksi tersebut didasarkan pada kinerja material di laboratorium dan pengamatan di lapangan. (Bina Marga, 2017).

Keunggulan utama metode desain mekanistik - empiris adalah dimungkinkannya analisis pengaruh perubahan masukan desain, seperti perubahan

material dan beban lalu lintas, secara cepat dan rasional. Sejumlah kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode empiris murni sebagai berikut.

1. Dapat digunakan secara analitis untuk mengevaluasi perubahan atau variasi beban kendaraan terhadap kinerja perkerasan.
2. Kinerja perkerasan dengan bahan-bahan baru dapat dievaluasi berdasarkan sifat-sifat mekanik bahan bersangkutan.
3. Dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan sifat material akibat lingkungan dan iklim terhadap kinerja perkerasan.
4. Mengevaluasi respons perkerasan terkait dengan model kerusakan perkerasan secara spesifik (retak lelah dan deformasi permanen).

Secara umum, model struktur perkerasan yang digunakan dalam manual ini adalah struktur *multilayers* yang bersifat elastik linier, isotropik (untuk material berpengikat, *bounded material*) dan anisotropik untuk material tanpa pengikat (*unbounded material*), lapis CTB dianggap telah mengalami retak (kondisi *post cracking*).

Untuk material isotropik dua parameter elastik yang digunakan adalah modulus elastik E dan rasio *Poisson* (μ). Untuk material *cross-anisotropic* diperlukan 5 elastik parameter yaitu E_v, E_h, μ_{vh}, μ_{jh} dan modulus geser f. Dengan E_v,dan $E_h$masing-masing adalah modulus dalam arah vertikal dan horizontal. Parameter μ_{vh},dan μ_{hh} masing-masing adalah rasio *Poisson* dalam arah vertikal akibat horizontal. Atas pertimbangan praktis, rasio *Poisson* pada kedua arah tersebut di anggap identik. Karakteristik material *granular* yang *non-linear* didekati dengan membagi lapis *granular* dalam beberapa lapisan dengan modulus E yang berbeda. Prosedur yang digunakan didasarkan pada asumsi bahwa dua regangan yang kritikal terkait dengan kinerja perkerasan sebagai berikut.

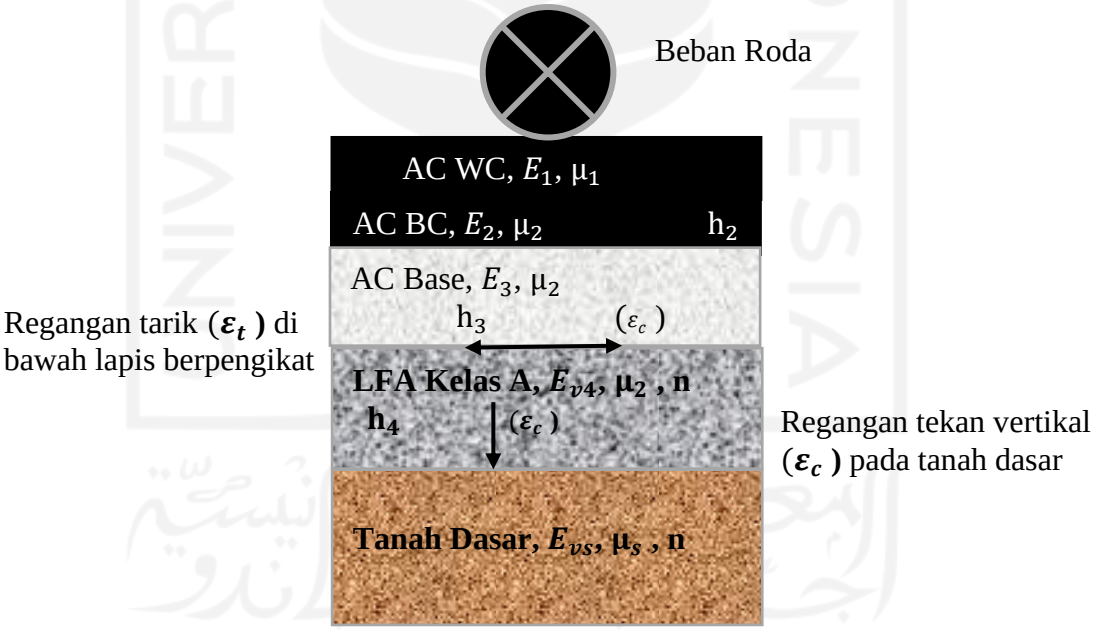
1. Regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar.
2. Regangan tarik horizontal pada serat terbawah lapis berpengikat (aspal atau pengikat lain seperti semen).

Regangan tekan vertikal yang terjadi pada permukaan tanah dasar digunakan sebagai kriteria desain untuk mengendalikan akumulasi deformasi permanen. Regangan tarik horizontal pada bagian bawah lapis berpengikat digunakan sebagai

kriteria untuk mengendalikan kerusakan akibat lelah pada lapis bersangkutan. Kedua regangan kritikal tersebut merupakan fungsi dari sifat-sifat mekanik tanah dasar dan bahan perkerasan, struktur perkerasan (tebal dan karakteristik material lapisan) dan beban lalu lintas. Model yang menghubungkan nilai regangan dengan jumlah kumulatif izin beban rencana disebut sebagai model kinerja struktural (retak lelah dan deformasi permanen) atau fungsi transfer (*transfer function*).

Walaupun metode mekanistik dan data beban lalu lintas yang rinci (dari studi WIM) memungkinkan analisis beban berdasarkan spektrum beban aktual, namun dengan pertimbangan kepraktisan, pada manual ini beban lalu lintas dinyatakan dalam beban ekuivalen standar (ESA). Dengan demikian, regangan-regangan kritikal yang terjadi dihitung berdasarkan beban sumbu standar (Bina Marga 2017).

Tipikal sistem perkerasan lentur berdasarkan pendekatan mekanistik-empiris ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tipikal Sistem Perkerasan

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Parameter elastik material yang digunakan adalah sebagai berikut.

Untuk material isotropik,

E_i = modulus elastik lapisan I,dan

μ_i = *rasio Poisson* lapis i.

Untuk material anisotropik,

E_{vi} = modulus elastik arah vertikal lapis I,

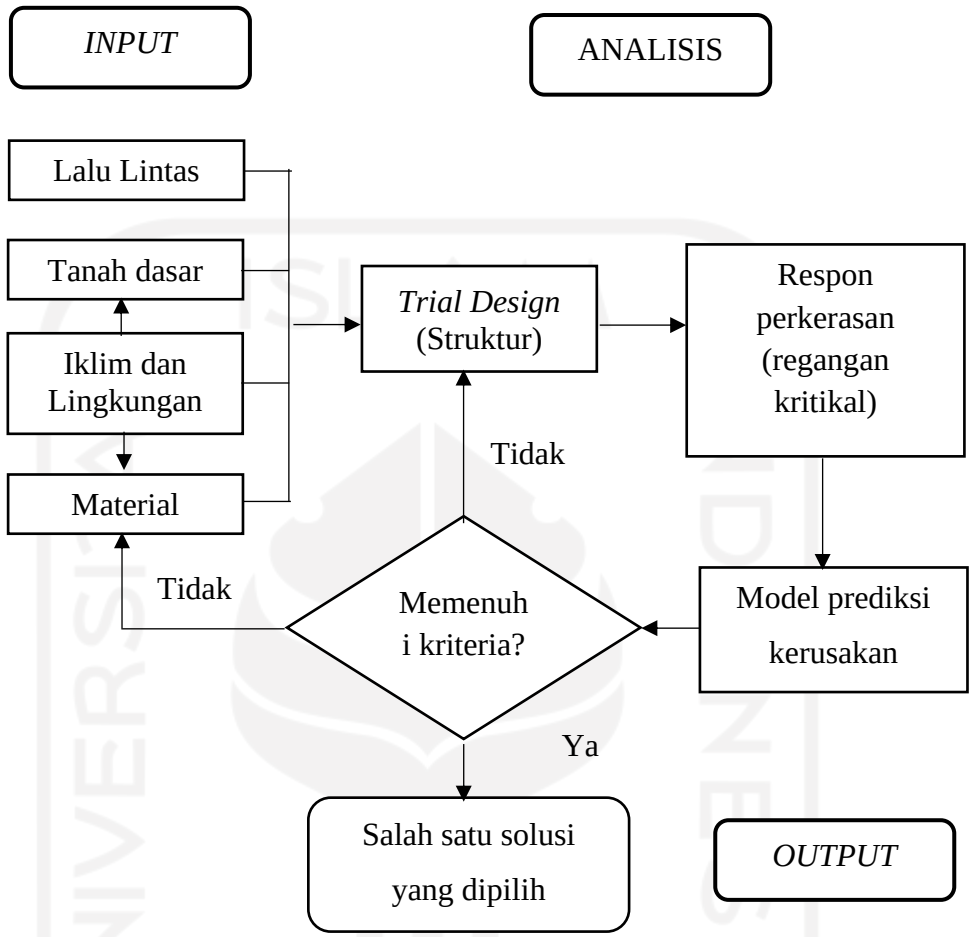
E_{hi} = modulus elastik arah horizontal lapis I,

n = derajat anisotropik (E_v/ E_h),

μ_i = rasio Poisson (dalam semua arah), dan

f_i = modulus geser lapis i = $\frac{E_v}{1+\mu_i}$.

Proses desain bersifat iteratif (*trial and error*). Dimulai dengan memilih suatu struktur yang diperkirakan akan mampu menerima beban rencana. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai regangan untuk melihat apakah struktur tersebut dapat menerima beban rencana. Apabila ternyata seluruh atau salah satu regangan tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak dapat menerima beban rencana maka dilakukan perubahan struktur (dapat berupa perubahan dimensi atau material, atau kedua-duanya). Analisis diulangi untuk menghitung regangan-regangan dan seterusnya hingga diperoleh struktur yang memenuhi kriteria desain. Alur desain perkerasan lentur menggunakan pendekatan mekanistik - empiris dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Menggunakan Pendekatan Mekanistik

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

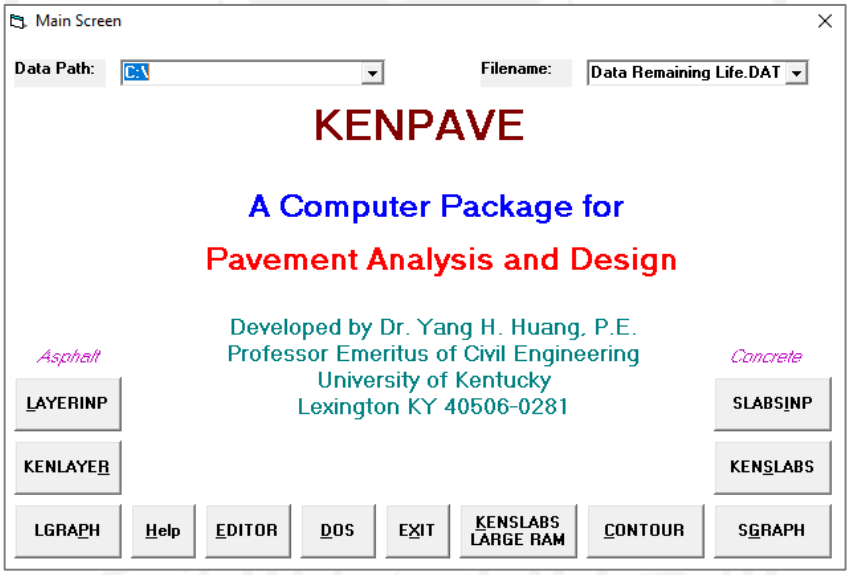
3.5.2 Karakteristik Material

Terdapat tiga karakteristik material perkerasan lentur yaitu *layer* viskoelastis, *layer* non linear elastis dan *layer* linear elastis. Penjelasan *layer* linear elastis yaitu pemodelan *layer* secara linear elastis dapat menghitung tegangan, regangan, dan defleksi di struktur perkerasan yang permukaannya telah dibebani. *Layer* linear elastis dianggap bahwa setiap *layer* struktur perkerasan homogen, isotropis, dan elastis secara linear.

3.5.3 Program *KENPAVE*

Program *KENPAVE* merupakan *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang. Program *KENPAVE* dapat menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan fleksibel dan lebih mudah. Data - data yang diperlukan untuk menganalisis yaitu sifat karakteristik perkerasan dan material seperti modulus elastisitas, *poisson ratio* setiap lapisan, beban roda, tekanan ban, dan koordinat.

Program *KENPAVE* dapat menghitung dengan sistem banyak lapis (*multi layers*) pada perkerasan lentur. Program ini dapat digunakan untuk menghitung regangan-tegangan serta lendutan pada perkerasan akibat beban tertentu. . Tampilan awal Program *KENPAVE* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Tampilan Awal Program *KENPAVE*

(Sumber : *Screen capture* Program *KENPAVE*, diakses Tahun 2020)

Tampilan Program *KENPAVE* terdiri dari dua menu pada bagian atas dan 11 menu bagian bawah. Tiga menu pada bagian kiri ke bawah digunakan untuk perkerasan lentur, dan lima menu pada bagian kanan digunakan untuk perkerasan kaku, dan lainnya untuk tinjauan umum.

Dalam pemodelan lapis perkerasan jalan dengan model lapis elastis ini diperlukan data *input* untuk tegangan dan regangan pada struktur perkerasan dan respon terhadap beban. parameter yang digunakan sebagai berikut.

1. Parameter setiap lapis perkerasan.
   a. Modulus elastisitas.
   b. Poisson's ratio.
2. Ketebalan tiap lapis perkerasan.
3. Kondisi beban.

3.5.4 Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan

Parameter tiap lapis perkerasan yang diperlukan dalam analisis menggunakan Program *KENPAVE* adalah sebagai berikut.

1. Modulus elastisitas

   Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda. Modulus elastisitas atau biasa disebut *Modulus Young* (E). Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas dapat menggunakan persamaan 3.7 berikut.

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

   dengan,

   E = modulus elastisitas (kPa atau Psi),

   τ = tegangan (kPa), dan

   ε = regangan.

   Modulus elastisitas untuk suatu benda mempunyai batas regangan dan tegangan elastisitasnya. Batas elastisitas suatu bahan bukan sama dengan kekuatan bahan tersebut menanggung tegangan atau regangan, melainkan satu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya. Untuk nilai modulus elastisitas untuk beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

Tabel 3.16 Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	kPa
Cement Treated Granular Base	$1x10^6 – 2x10^6$	$7x10^6 – 14x10^6$
Campuran agregat semen	$5x10^5 – 1x10^6$	$35x10^5 – 7x10^6$
Asphalt Treated Base	$7x10^4 – 45x10^4$	$49x10^4 – 3x10^6$
Aspal beton	$2x10^4 – 2x10^6$	$14x10^4 – 14x10^6$
Campuran bitumen yang distabilisasi	$4x10^4 – 3x10^5$	$28x10^4 – 21x10^5$
Campuran kapur yang distabilisasi	$2x10^4 – 7x10^4$	$14x10^4 – 49x10^4$
Material berbutir tidak terikat	$15x10^3 – 45x10^3$	$105x10^3 – 315x10^3$
Material tanah dasar/alami berbutir halus	$3x10^3 – 4x10^4$	$21x10^3 – 28x10^4$

Sumber : Huang (2004)

2. *Poisson's Rasio*

   Poisson's ratio merupakan angka perbandingan antara regang horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial starin*) yang disebabkan oleh beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Nilai *poisson's ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.17 berikut.

Tabel 3.17 Nilai *Poisson's Ratio*

Materials	Nilai v	V tipikal
Hot mix asphalt	0,30 – 0,40	0,35
Portland cement concrete	0,15 – 0,20	0,15
Untreated granular material	0,30 – 0,40	0,35
Cement-treated fine-granular Material	0,10 – 0,20	0,15
Hot mix asphalt	0,30 – 0,40	0,35
Portland cement concrete	0,15 – 0,20	0,15
Untreated granular material	0,30 – 0,40	0,35

Sumber : Huang (2004)

Lanjutan Tabel 3.17 Nilai *Poisson's Ratio*

Materials	Nilai v	V tipikal
Cement-treated fine-granular Material	0,10 – 0,20	0,15
Cement-treated fine-grained Material	0,15 – 0,35	0,25
Lime-stabilized material	0,10 – 0,25	0,20
Lime-flyash material	0,10 – 0,15	0,15
Loose sand/silty sand	0,20 – 0,40	0,30
Dense sand	0,30 – 0,45	0,35
Fine-grained soil	0,30 – 0,50	0,40
Saturated soft clay	0,40 – 0,40	0,45

Sumber : Huang (2004)

3. Ketebalan setiap lapis perkerasan

   Ketebalan setiap lapis perkerasan diperlukan dalam teori elastis *multilayers* sebagai *input* dalam penyelesaian menggunakan program. Ketebalan setiap lapis dalam satuan mm atau *inch*..

4. Kondisi Beban

   Data ini terdiri dari data beban roda, P (kN/Lbs), tekanan ban, q (Kpa/Psi) dan khusus untuk sumbu roda belakang, jarak antara roda ganda, d (mm/*inch*). Nilai q dan d dapat ditentukan sesuai dengan data spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan. Adapun nilai P dipengaruhi oleh jenis barang atau beban yang diangkut oleh kendaraan sehingga pada sumbu roda belakang dan sumbu depan berbeda. Analisis struktural perkerasan selanjutnya dilakukan dengan menentukan jari-jari bidang kontak, a (mm/*inch*) antara roda bus dan permukaan perkerasan yang dianggap berbentuk lingkaran. Radius kontak dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 berikut.

$$a = \sqrt{\frac{p}{\pi x q}} \qquad (3.8)$$

dengan,

a = jari-jari bidang kontak (mm),

p = beban kendaraan (KN/lbs), dan

q = tekanan beban (Kpa/Psi).

Nilai yang akan dihasilkan dari permodelan lapis perkerasan dengan sistem multi lapis adalah nilai tegangan, regangan dan lendutan.

a. Tegangan, yaitu berupa intensitas internal di dalam struktur perkerasan pada berbagai titik dengan satuan (N/m2, Pa, atau Psi).
b. Regangan, menyatakan sebagai rasio perubahan bentuk dari bentuk asli (mm/mm atau in/in), karena regangan di dalam perkerasan nilainya sangat kecil maka dinyatakan dalam *microstrain* (10-6).
c. Defleksi/lendutan, adalah perubahan linier dalam suatu bentuk dinyatakan dalam satuan panjang (μm atau *inch* atau mm).

Dengan menggunakan Program *KENPAVE* akan mempermudah perhitungan tegangan, regangan, dan lendutan di berbagai titik pada struktur perkerasan. Namun, ada beberapa titik atau lokasi penting yang biasa digunakan dalam analisis perkerasan yang disajikan pada Tabel 3.18 berikut.

Tabel 3.18 Analisis Struktur Perkerasan

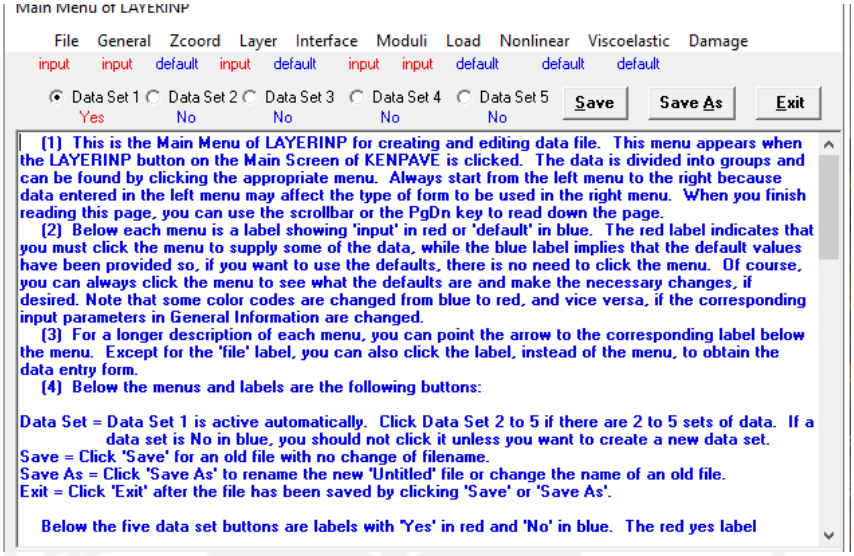
Lokasi	Respon	Analisis Struktur Perkerasan
Lapisan permukaan perkerasan	Defleksi	Digunakan dalam desain lapis tambah
Bagian bawah lapis perkerasan	Regangan tarik *horizontal*	Digunakan untuk memprediksi retak *fatigue* pada lapis permukaan
Bagian atas tanah dasar atau bawah lapis fondasi bawah	Regangan tekan vertikal	Digunakan untuk memprediksi kegagalan *rutting* yang terjadi

Sumber : Fadhlan (2013)

3.5.5 Program *KENLAYER*

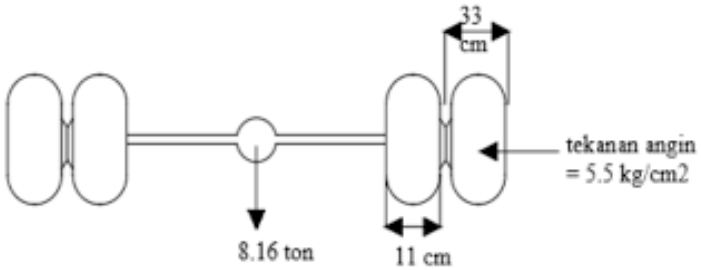
Program komputer *KENLAYER* ini hanya dapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan dan lapisan kaku. Dasar dari Program *KENLAYER* ini adalah teori sistem *multilayer*. *KENLAYER* dapat diaplikasikan pada perilaku lapis yang berbeda, seperti linier, *non* linier, atau *viskoelastis* dan juga

empat jenis sumbu roda, yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu *triple*. Tampilan Menu *LAYERNIP* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tampilan Awal Program *KENPAVE*
(Sumber : *Screen capture* Program *KENPAVE*, diakses Tahun 2020)

Data yang dibutuhkan dalam Program *KENLAYER* adalah data struktur perkerasan yang berkaitan dengan perencanaan tebal perkerasan metode mekanistik teori sistem *multilayer*. Data tersebut antara lain modulus elastisitas, *poisson's ratio*, tebal lapis perkerasan, dan kondisi medan. Modulus elastisitas dari lapisan permukaan sampai tanah dasar diperlukan adalah dari modulus elastisitas yang telah ditentukan dalam perencanaan metode Bina Marga 2017. Nilai kondisi beban dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Sumbu Standar Ekuivalen
(Sumber : Sukirman, 1999)

Data kondisi terdiri dari data beban roda P (kN/lbs), data tekanan ban q (kPa/psi), data jarak antara roda ganda d (cm/*inch*), dan data jari-jari bidang kontak a (cm/*inch*). Data yang digunakan berupa data kondisi beban berdasarkan data yang digunakan di Indonesia menurut Sukirman (1993) sebagai berikut.

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

Setelah *input* data selesai, maka dilakukan *running* Program *KENLAYER*. *Output* dari program ini berupa *vertical displacement, vertical stress, major principal stress, minor principal stress, intermediate principal stress, vertical strain, major principal strain, minor principal strain, dan horizontal principal strain*. *Output* yang digunakan *adalah vertical strain* dan *horizontal principal strain* untuk selanjutnya digunakan dalam menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan analisis kerusakan *fatigue* dan *rutting*.

3.5.6 Pemodelan Kerusakan

Pemodelan kerusakan perkerasan jalan yang akan dibahas antara lain *fatigue cracking, rutting, depression*. Kerusakan perkerasan disebabkan oleh beban kendaraan. Pada analisis perhitungan dengan Program *KENPAVE* hasil yang akan dikeluarkan adalah nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur. Nilai tegangan dan regangan tersebut digunakan untuk memprediksi kerusakan pada perkerasan jalan lentur. Berikut ini adalah persamaan dari kerusakan tersebut berdasarkan *Asphalt Institute*.

1. *Fatique Cracking*

   Pembebanan ulang yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking* walaupun tegangan yang terjadi masih di bawah batas *ultimate*-nya. Untuk material perkerasan, beban berulang berasal dari lintasan beban (as) kendaraan yang terjadi secara terus menerus, dengan intensitas yang berbeda-beda dan bergantung kepada jenis kendaraan dan terjadi secara acak.

Retak struktural yang disebut juga sebagai retak lelah (*fatigue cracking*) adalah serangkaian retak memanjang dan saling berhubungan pada permukaan jalan yang disebabkan oleh pembebanan yang berulang dari roda kendaraan. Jenis retak ini umumnya dimulai sebagai retak longitudinal pendek di jalan dan berkembang menjadi retak berpola kulit buaya (retak saling berhubungan). Jenis retak ini terjadi karena aksi lentur yang berulang pada perkerasan saat beban diberikan. Hal ini menghasilkan tegangan tarik yang akhirnya membuat retak pada bagian bawah aspal. Retak secara bertahap merambat ke bagian atas lapisan dan kemudian berkembang dan saling berhubungan. Jenis kerusakan ini akhirnya akan menyebabkan hilangnya integritas struktural dari sistem perkerasan. Kerusakan *fatique cracking* meliputi bentuk perkembangan dari retak di bawah beban berulang. Persamaan retak untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis perkerasan dapat dilihat pada Persamaan 3.9 berikut.

$$NF = 0{,}0796(\varepsilon t)^{-3{,}921} |\, E \,|^{-0{,}854} \quad (3.9)$$

dengan,

NF = jumlah nilai beban pengulangan yang diizinkan untuk mengontrol *fatique cracking*,

Et = *tensile strain* di lokasi tinjauan yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan (in/in), dan

| E* | = modulus elastisitas pada lapis permukaan atau lapis *HMA*.

2. *Rutting*

Retak alur adalah deformasi permukaan perkerasan aspal dalam bentuk turunnya perkerasan ke arah memanjang pada lintasan roda kendaraan. Retak alur yang terjadi pada lapis permukaan jalan merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapis permukaan lapis agregat dan lapis tanah dasar. Kriteria retak alur merupakan kriteria kedua yang digunakan dalam metode analitis–mekanistik, untuk menyatakan keruntuhan struktur perkerasan akibat beban berulang. Persamaan untuk mengetahui jumlah repetisi beban

berdasarkan regangan tekan di bawah lapis fondasi bawah dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut.

$$Nd\ rutting \ = \ f_4\,(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.10)$$

dengan,

Nd = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting,*

ε_c = regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar,

f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen.

3. *Permanent Deformation*

Deformasi merupakan kerusakan penting dari kondisi perkerasan yang merupakan perubahan permukaan jalan dari profil aslinya (sesudah pembangunan), karena mempengaruhi kualitas kenyamanan lalu lintas (kekasaran, genangan air yang mengurangi kekesatan permukaan) dan dapat mencerminkan kerusakan struktur perkerasan (Hardiyatmo, 2015). Persamaan *permanent deformation* perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban dapat dilihat pada Persamaan 3.11 berikut.

$$Nd\ deformation \ = \ f_4\,(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.11)$$

dengan,

Nd = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting,*

ε_c = regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar,

f_4 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

f_5 = koefisien kriteria deformasi permanen.

Untuk nilai f_4 dan f_5 mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Institute* 1970 dengan nilai f_4 = 1,365 x 10-9 dan f_5 = 4,477.

3.6 Analisis Kerusakan Dini pada Struktur Jalan dari Hasil Pemodelan Kerusakan dengan Program *KENPAVE*

Analisis sisa umur rencana dilakukan dengan membandingkan nilai *CESA* (Nr) selama tahun rencana dengan nilai pemodelan kerusakan dari Program

KENPAVE yaitu *fatigue cracking (*Nf*), Rutting (*Nd *rutting)* dan *Permanent Deformation (*Nd *deformation).* Jika diperoleh nilai (Nr)>(Nf), maka nilai *CESA* lebih besar dari jumlah repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol kerusakan *fatique cracking* dan perkerasan dianggap mampu menahan beban lalu lintas. Begitu juga untuk nilai (Nr)>(Nd *rutting*) dan (Nr)>(Nd *deformation*).

3.7 Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

3.7.1 Analisis Tebal Lapis Tambah dengan Metode Mekanistik - Empiris

Untuk pekerjaan rehabilitasi jalan dengan beban lalu lintas lebih besar daripada $10x10^6$ ESA4 atau lebih besar daripada $20x10^6$ ESA5 harus digunakan prosedur mekanistik empiris atau metode metode Pt T-01-2002-B atau metode *AASHTO* 1993. Pada penelitian ini analisis struktural tebal lapis tambah pada perkerasan dilakukan dengan metode mekanistik-empiris. Serupa dengan analisis perkerasan eksisting sebelumnya, metode ini membutuhkan penentuan tegangan, regangan, atau lendutan pada perkerasan jalan dengan prediksi kerusakan yang diakibatkan oleh beberapa kriteria kegagalan empiris. Data yang dibutuhkan yaitu kondisi perkerasan eksisting dan sisa umur perkerasan yang sudah dievaluasi sebelumnya. Kemudian ketebalan *overlay* ditentukan hingga kerusakan di perkerasan yang ada atau lapisan baru akan berada dalam batas yang diizinkan. Prediksi penambahan tebal lapisan pada perkerasan eksisting dianalisis melalui simulasi pada program mekanistik empiris dengan syarat hasil dari analisis Program *KENPAVE* harus memenuhi Nr>Nf, Nr>Nd *rutting*, dan Nr>Nd *deformation* pada kondisi lalu lintas berlebih hingga akhir umur rencana perkerasan.

3.7.2 Desain Ketebalan Pengupasan dan Pelapisan Ulang (*Mill and Inlay*) dengan Metode Bina Marga 2017

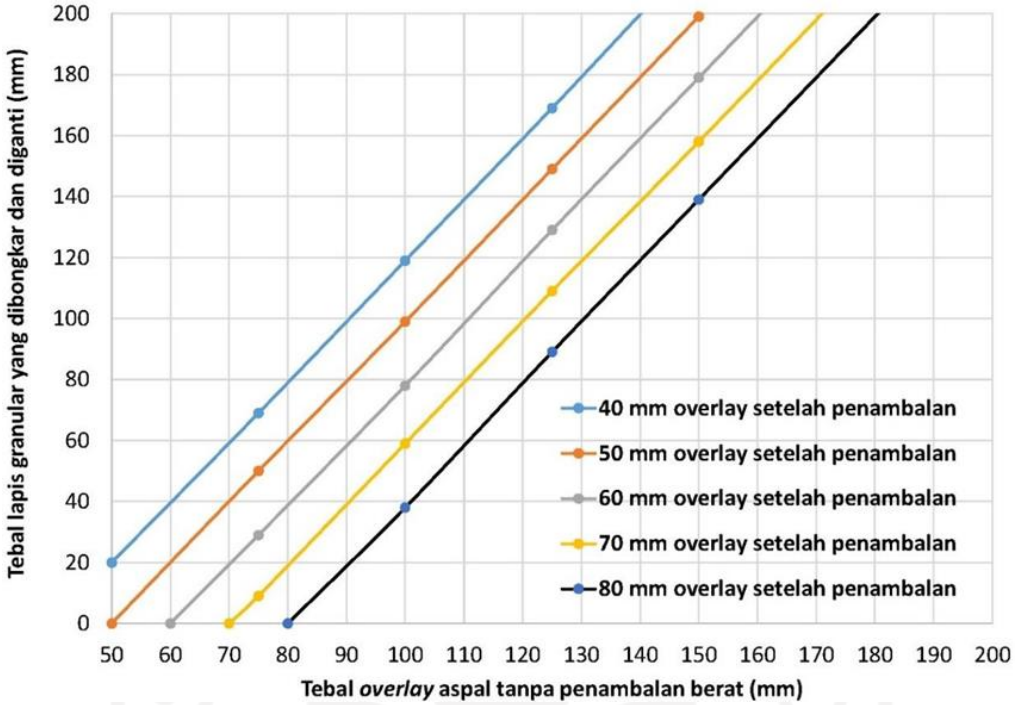
Perkerasan dengan kerusakan permukaan yang cukup berat termasuk alur yang lebih dari 30 mm, atau retak blok, atau retak buaya, atau pelepasan butiran halus (pengelupasan), harus dikupas (*milling*) sebelum pelapisan ulang. Setelah pengupasan, ketebalan pelapisan ulang minimum harus ditambah dengan setebal kupasan rata-rata. Ketentuan ini tidak berlaku untuk daerah yang perlu penambalan, rekonstruksi atau daur ulang. Pengupasan dilakukan dengan mesin (*cold planner*)

untuk memperbaiki ketidakrataan permukaan perkerasan yang disebabkan oleh alur, sungkur, keriting dan retak permukaan.

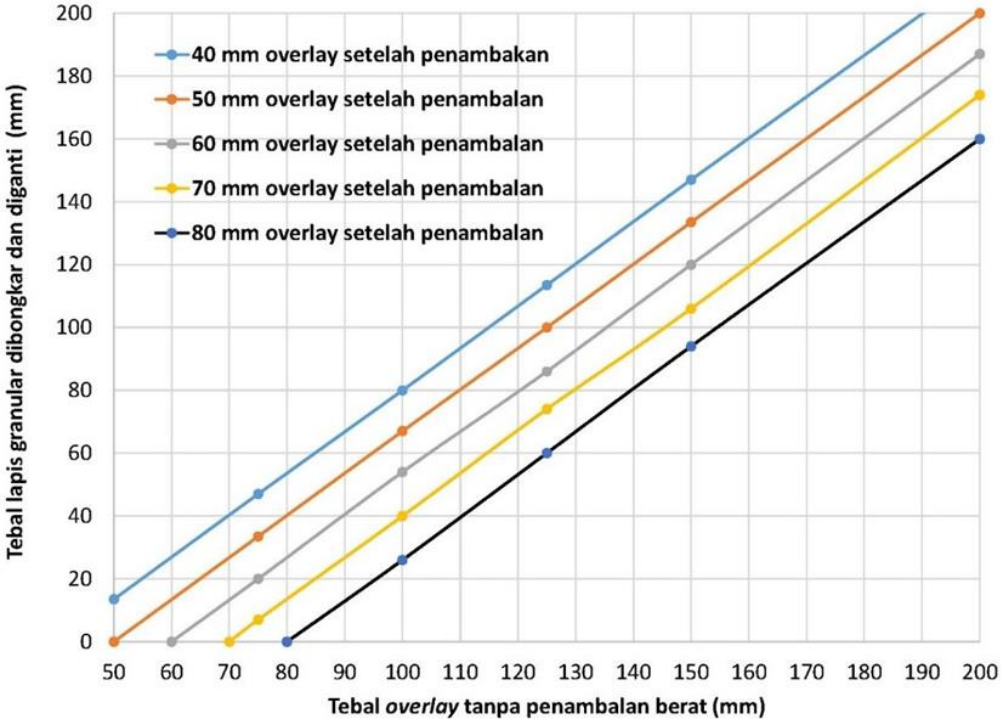
Pada segmen yang memerlukan tebal *overlay* lebih dari 50 mm, penanganan yang lebih efektif dengan tebal yang lebih tipis dapat dilakukan dengan cara memperkuat titik-titik yang lemah dengan cara pengupasan dan pelapisan ulang *(milling and reinstatement atau inlay).* Prosedur perhitungan kedalaman pengupasan dan ketebalan pelapisan kembali permukaan yang dikupas diuraikan dalam langkah berikut.

1. Hitung ketebalan *overlay* untuk mencegah deformasi permanen tanpa pengupasan (*OLAYdef*)
2. Jika ketebalan *overlay* (*OLAYdef*) lebih dari 50 mm, tentukan tebal yang dikehendaki setelah pengupasan dan *inlay* (*OLAYmill*).
3. Kedalaman kupasan dan pelapisan kembali dengan campuran beraspal untuk mencegah deformasi permanen adalah tebal aspal eksisting ditambah tebal lapis berbutir yang dikupas yang ditentukan dari *OLAYdef* dan *OLAYmill* berdasarkan Gambar 3.7
4. Hitung ketebalan *overlay* untuk mencegah *fatigue* tanpa pengupasan (*OLAYfat).*
5. Jika ketebalan *overlay (OLAYdef)* lebih dari 50 mm, tentukan tebal overlay yang dikehendaki setelah pengupasan dan inlay (*OLAYmill).*
6. Kedalaman kupasan dan pelapisan kembali dengan campuran beraspal untuk mencegah f*atigue* adalah tebal aspal eksisting ditambah tebal lapis berbutir yang dikupas yang ditentukan dari *OLAYfat* dan *OLAYmill* berdasarkan Gambar 3.8.
7. Kedalaman kupasan dan ketebalan *inlay* rencana adalah yang tertebal dari desain untuk mencegah deformasi permanen (langkah 3) dan desain untuk mencegah *fatique cracking* (langkah 6).

Ketebalan pengupasan dan *overlay* pada perkerasan dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8



Gambar 3.7 Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir untuk Mencegah Deformasi Permanen



Gambar 3.8 Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir untuk Mencegah *Fatigue Cracking*

3.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah estimasi banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pembangunan atau yang berkenaan dengan suatu proyek. Anggaran biaya pada sebuah tempat biasanya memiliki perbedaan dengan tempat lainnya disesuaikan dengan kebijakan daerah atau kebijakan peraturan daerah setempat.

Untuk menghitung RAB, terlebih dahulu untuk mengetahui jenis pekerjaan, harga bahan, alat dan upah dari satuan pekerjaan yang akan dihitung. Dan untuk mempermudah perhitungan, biaya digabungkan menjadi persatuan volume atau luas dalam satuan pekerjaan konstruksi disesuaikan dengan jenis pekerjaan yang disebut harga satuan pekerjaan. Dalam menghitung harga satuan pekerjaan maka harga satuan barang, alat dan upah dikalikan dengan koefisien yang telah ditentukan dengan Persamaan 3.12 berikut.

Harga satuan pekerjaan = (harga satuan bahan x koefisien bahan) +
(harga satuan upah x koefisien upah) +
(harga satuan alat x koefisien alat) (3.12)

Maka untuk menghitung RAB dikalikan dengan satuan volume atau luas dari suatu pekerjaan. Secara umum dirumuskan dalam Persamaan 3.13 berikut

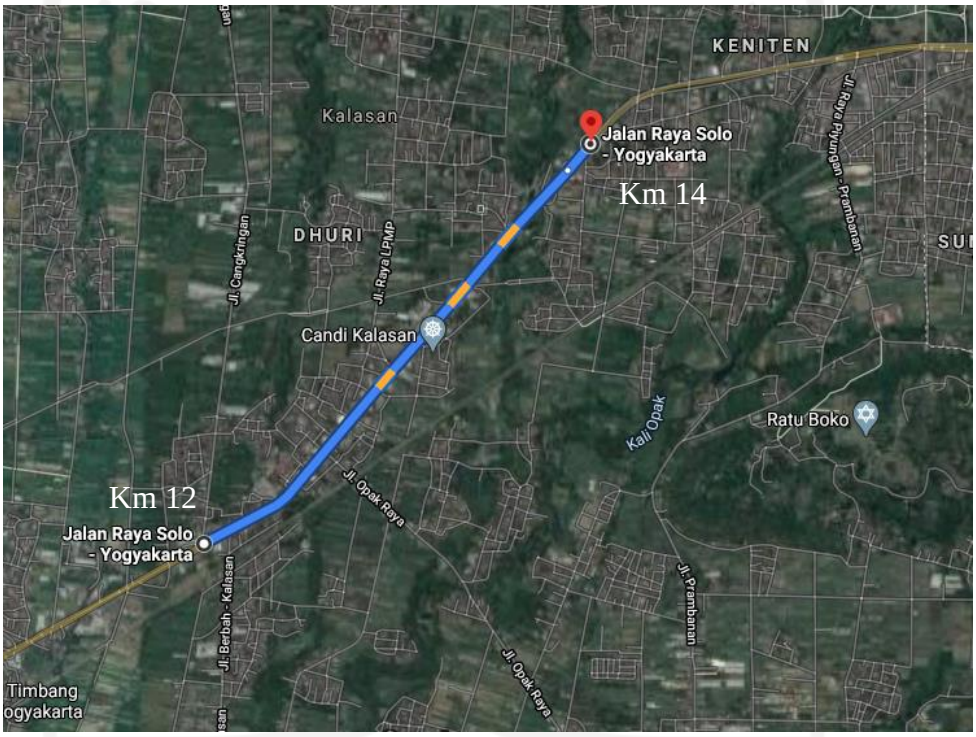
Rencana Anggaran Biaya = Volume x Harga Satuan Pekerjaan (3.13)

Besarnya rencana anggaran biaya tergantung dari besarnya volume dan harga satuan pekerjaan.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km. 12 – 14. Denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14
(Sumber :Google *Maps*, 2020)

4.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang sudah tersedia dapat berupa publikasi maupun melalui badan atau instansi terkait. Pengambilan data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari kantor Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah VII, Semarang, Jawa Tengah.

4.3 Pengolahan dan Analisis Data

Adapun tahap pengolahan dan analisis data sebagai berikut.

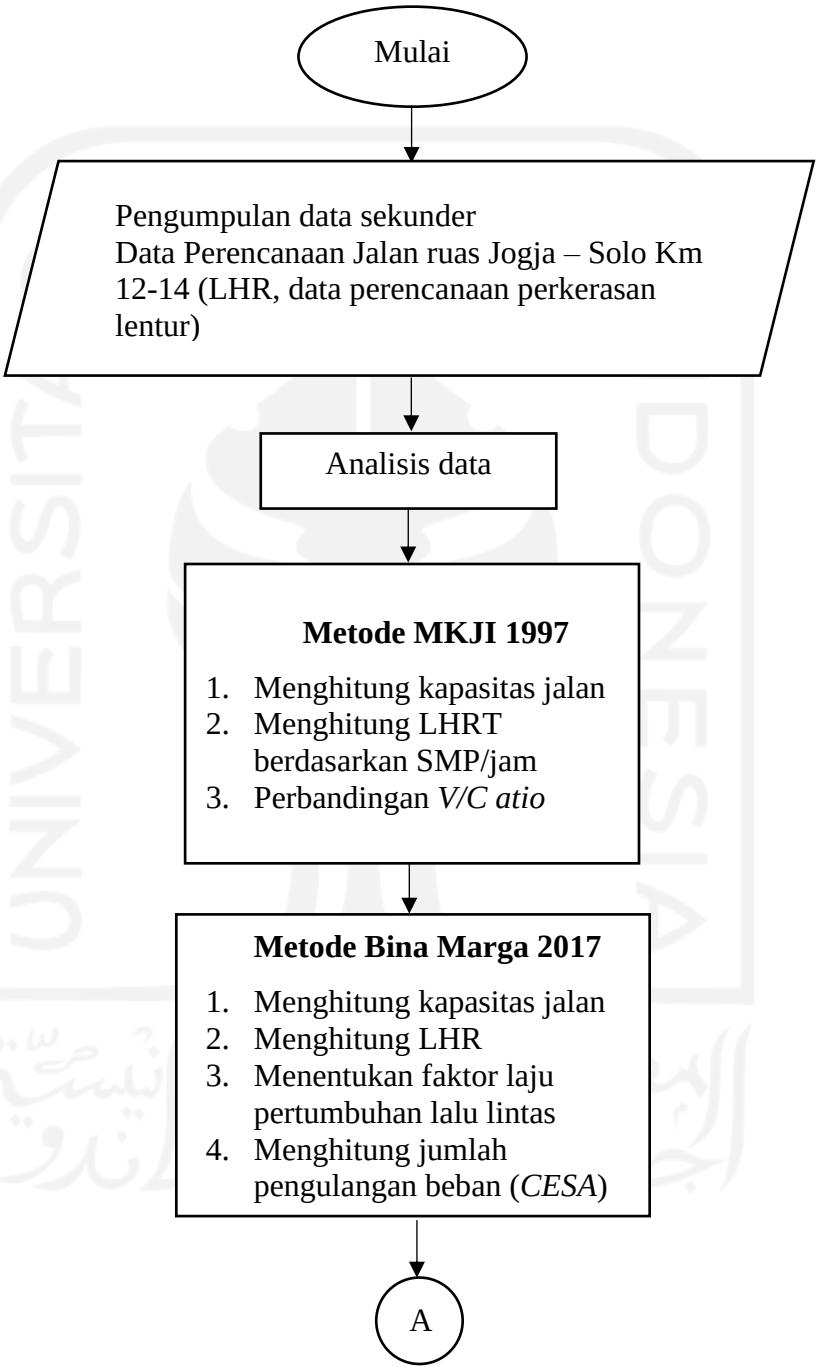
1. Melakukan pengumpulan data sekunder.
   a. Data lintas harian rata-rata (LHR)
   b. Data perencanaan perkerasan lentur meliputi tebal perkerasan, umur perkerasan, material perkerasan dan data perbaikan jalan.
2. Melakukan analisis kapasitas jalan terhadap volume lalu lintas dengan menggunakan MKJI 1997.
   a. Menentukan kapasitas jalan.
   b. Menentukan LHRT kendaraan berdasarkan satuan mobil penumpang (SMP).
   c. Menghitung perbandingan kapasitas dan volume jalan menggunakan perbandingan *V/C ratio.*
3. Menganalisis data menggunakan metode Bina Marga 2017.
   a. Menghitung lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada tahun dasar perencanaan.
   b. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas dan menghitung waktu prediksi jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun (periode tinjauan).
   c. Menentukan jumlah total beban gandar standar kumulatif (*CESA*) kendaraan pada periode waktu selama umur perkerasan.
4. Melakukan pemodelan struktur perkerasan dengan Program *KENPAVE* dan perkerasan lentur dengan *KENLAYER* untuk beban yang terjadi di lapangan.
   a. Analisis material berupa tebal perkerasan, modulus elastisitas dan *poisson's rasio*
   b. Memasukkan informasi umum tentang struktur perkerasan jalan, yaitu: judul *file*, tipe material, analisis kerusakan, akurasi hasil analisis, jumlah *layer*, letak koordinat arah Z (kedalaman), tipe respon yang akan dianalisis, jenis ikatan lapisan, dan satuan yang digunakan.
   c. Memasukkan jumlah poin yang akan di analisis dan jarak vertikal.
   d. Memasukkan tebal dan nilai *poisson ratio* tiap lapis perkerasan
   e. Memasukkan jenis ikatan antar lapisan

f. Menentukan jumlah periode yang ditinjau dan nilai modulus elastisitas tiap *layer*.
g. Memasukkan info data beban lalu lintas, yaitu beban roda, radius kontak pembebanan, nilai beban, jarak antar roda arah Y dan X dan titik koordinat tegangan-regangan yang ingin ditinjau.
h. Memasukkan parameter lain seperti *non linear, viscoelastic, damage*, Mohr-Coulomb akan ikut nilai dengan sendirinya sesuai dengan *input* nilai sebelum data ini.
i. Menentukan hasil *output defleksi* dari *running* Program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui nilai repetisi yang menyebabkan kegagalan struktur di lapangan.
j. Melalukan analisis struktur untuk menentukan kerusakan *fatique cracking, rutting* dan *permanen deformation.*

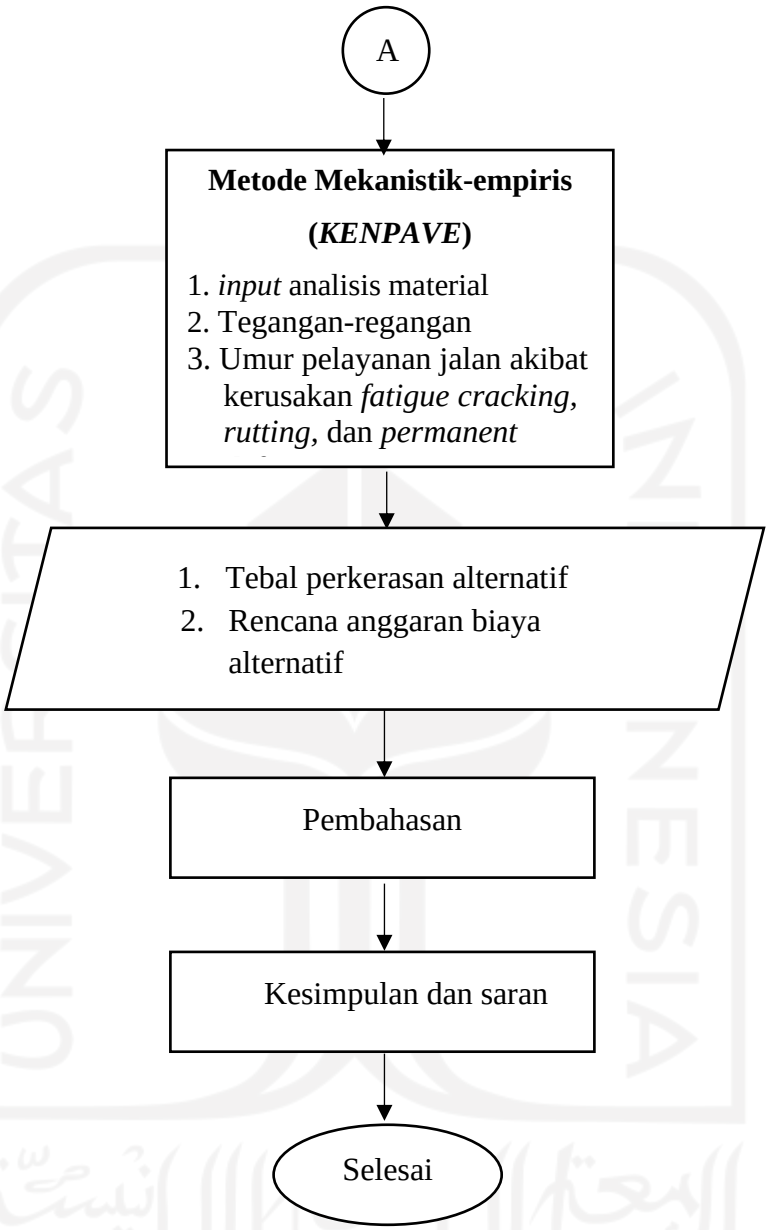
5. Memprediksi penambahan tebal perkerasan akibat peningkatan kelas jalan dan mengambil kesimpulan dari nilai analisis data.
6. Menghitung penambahan biaya investasi yang diperlukan setelah mendapatkan hasil penambahan tebal perkerasan.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 *Flowchart* Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 *Flowchart* Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Studi

5.1.1 Kondisi Lalu Lintas

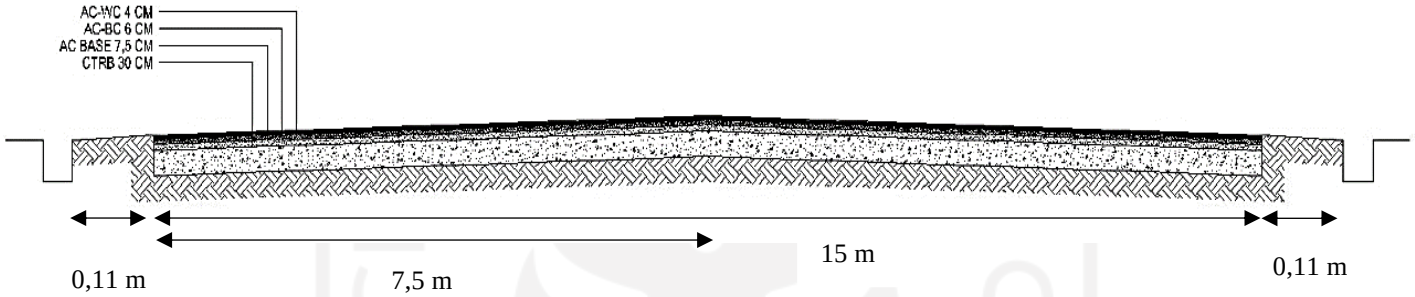
Data lalu-lintas ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 adalah data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang tahun anggaran 2013. Ruas Jalan Yogyakarta - Solo memiliki lebar 15 meter, terdiri dari 4 lajur dan pada saat ini difungsikan untuk melayani lalu lintas 2 arah. Jalan tersebut mengalami perbaikan pada tahun 2013 dan dibuka kembali pada tahun 2014. Adapun data ruas Jalan Yogyakarta-Solo dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Data Ruas Jalan Yogyakarta-Solo

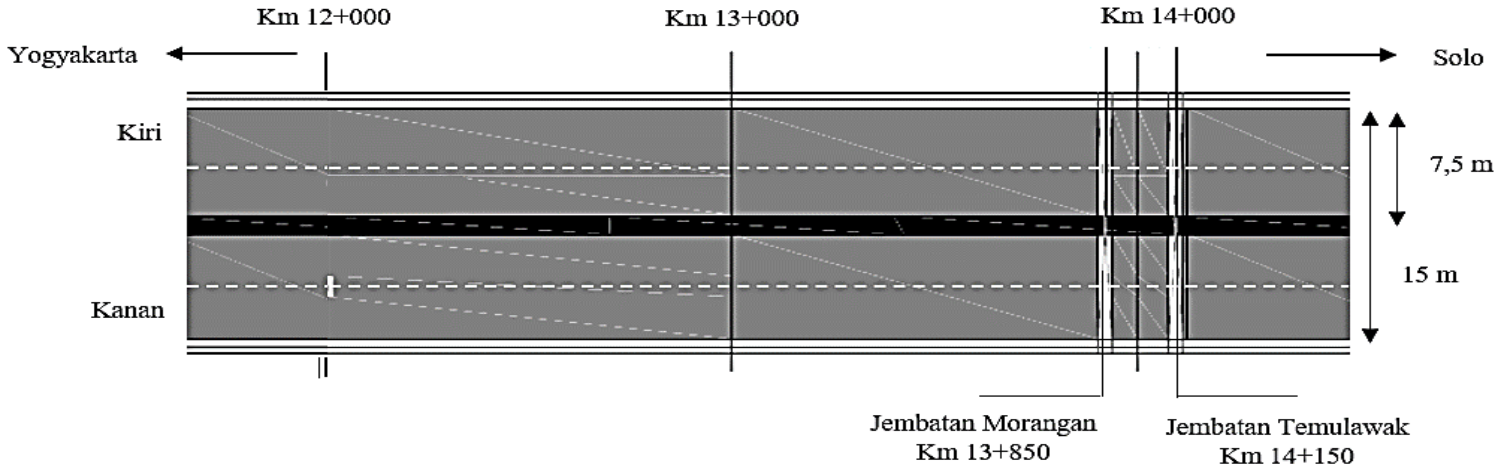
Data	Keterangan
Jenis jalan	Arteri
Umur rencana	20 tahun (2014-2033)
Distribusi kendaraan	2 jalur 4 lajur 2 arah
Lebar	15 m
Tahun dibuka	2014

Sumber: Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang (2013)

Detail potongan melintang dan memanjang ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



(a) Potongan Melintang



(b) Potongan Memanjang

Gambar 5.1 Potongan Ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14

5.1.2 Data Lalu Lintas Harian (LHR)

Data lalu lintas harian menggunakan data pada tahun 2013 hingga tahun 2017 yang didapat dari satuan kerja Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang. Data lalu lintas harian rata-rata kendaraan untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo pada tahun 2013 hingga tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	LHR (Kend/Hari)				
Golongan	Tahun				
	2013	2014	2015	2016	2017
1	67051	6687	91318	98392	94461
2	15072	19276	29319	32305	30941
3	7332	760	1532	1014	796
4	2830	2801	3690	3532	3121
5a	385	353	607	569	537
5b	791	927	1638	874	1272
6b	506	518	1151	732	519
6a	1538	2168	2538	1688	1790
7a	448	582	690	416	632
7b	121	110	195	44	234
7c	94	91	118	53	144

Sumber: Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, Semarang (2013)

5.2 Kapasitas Jalan terhadap Volume Lalu Lintas

Sebelum perhitungan *CESA,* perlu diperhatikan apakah kapasitas LHR sesuai dengan volume jalan yang telah direncanakan, oleh karena itu perlu dibandingkan dengan perhitungan kapasitas jalan berdasarkan MKJI 1997. Berikut adalah perhitungan kapasitas jalan selama umur rencana yaitu 20 tahun yaitu terhitung mulai tahun 2014 hingga 2033. Perhitungan menggunakan LHR ketika jalan pertama diberlakukan normal setelah pekerjaan perkerasan dilakukan yaitu tahun 2014.

5.2.1 Kapasitas jalan

Kapasitas jalan dihitung berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (MKJI 1997) untuk daerah perkotaan sebagai berikut.

1. Kapasitas dasar (Co)

   Kapasitas dasar untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 dengan 4 lajur terbagi dengan alinyemen datar diambil ketentuan berdasarkan Tabel 3.2 yaitu 1900 SMP/jam/lajur.
2. Faktor penyesuaian lajur lalu lintas *(Traffic lane adjustment factor)*

   Faktor penyesuaian pengaruh lebar lajur lalu lintas (FCw) untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo dengan 4 lajur terbagi, lebar lajur 3,5 m diambil ketentuan berdasarkan Tabel 3.4 yaitu 1.
3. Faktor Penyesuaian Kapasitas karena Pemisahan Arah (FCsp)

   Faktor Penyesuaian Kapasitas karena Pemisahan Arah (FCsp) untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 dengan 4/2 pemisahan 50-50 ditentukan berdasarkan Tabel 3.5 yaitu 1.
4. Faktor penyesuaian gesekan samping *(FCsf)*

   Faktor penyesuaian gesekan samping *(Side friction adjustment factor)* untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 dengan jenis jalan 4/2 D, kelas hambatan samping medium diambil ketentuan berdasarkan Tabel 3.6 yaitu 0,95.

Perhitungan kapasitas jalan dihitung berdasarkan menggunakan Persamaan 3.1. Perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Kapasitas jalan = Co x jumlah lajur x Fcw x Fcsp x Fcsf
= 1900 x 4 x 1 x1 x 0,95
= 7220 SMP

5.2.2 Volume Kendaraan (LHRT)

Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang sehingga perlu adanya faktor koreksi untuk jenis kendaraan dil luar kendaraan mobil penumpang. Faktor ekuivalen untuk mobil penumpang (EMP). LHRT adalah LHR per golongan dikalikan dengan EMP masing-masing golongan kemudian dijumlahkan. Berikut

contoh perhitungan volume kendaraan dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) pada tahun 2014.

LHRTn = $LHRn \times EMP$

= LHR Golongan 1 x EMP Golongan 1 + LHR Golongan 2 x EMP Golongan 2 + LHR Golongan 3 x EMP Golongan 3 + LHR Golongan 4 x EMP Golongan 4 + LHR Golongan 5a x EMP Golongan 5a + LHR Golongan 5b x EMP Golongan 5b + LHR Golongan 6a x EMP Golongan 6a + LHR Golongan 6b x EMP Golongan 6b + LHR Golongan 7a x EMP Golongan 7a + LHR Golongan 7b x EMP Golongan 7b + LHR Golongan 7c EMP Golongan 7c

LHRT 2014 = (6687 x 0,6) + (19276 x 1,4) + (760 x 1,4) + (2801 x 1,4) + (353 x 1,4) + (927 x 1,4) + (518 x 1,4) + (2168 x 1,4) + (582 x 2) + (110 x 2) + (91 x 2)

= 11100,8 SMP/jam

Rekapitulasi perhitungan volume lalu lintas (LHRT) selama umur rencana dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Perhitungan Volume Lalu Lintas

Tahun ke -	LHR	EMP Masing-Masing Kendaraan											
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol4	Gol 5a	Gol 5b	Gol 6a	Gol 6b	Gol 7a	Gol 7b	Gol 7c	Jumlah/Hari
		0,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2	2	2	2	
1	2014	1003,1	6746,6	266,0	980,4	123,6	324,5	181,3	1084,0	291,0	55,0	45,5	11100,8
2	2015	4012,2	26986,4	1064,0	3921,4	494,2	1297,8	725,2	4336,0	1164,0	220,0	182,0	44403,2
3	2016	4338,1	29178,2	1150,4	4239,9	534,3	1403,2	784,1	4688,2	1258,5	237,9	196,8	48009,5
4	2017	4690,4	31548,0	1243,9	4584,2	577,7	1517,2	847,8	5068,9	1360,8	257,2	212,8	51908,8
5	2018	5071,3	34110,3	1344,9	4956,6	624,7	1640,4	916,6	5480,6	1471,3	278,1	230,0	56124,7
6	2019	5483,2	36880,6	1454,1	5359,1	675,4	1773,6	991,1	5925,7	1590,8	300,7	248,7	60683,1
7	2020	5928,6	39876,0	1572,2	5794,4	730,2	1917,7	1071,6	6407,0	1720,0	325,1	268,9	65611,6
8	2021	6410,1	43114,7	1699,9	6265,0	789,6	2073,4	1158,6	6927,4	1859,7	351,5	290,8	70940,5
9	2022	6930,7	46616,3	1838,0	6773,8	853,7	2241,8	1252,7	7490,0	2010,7	380,0	314,4	76702,2
10	2023	7493,6	50402,4	1987,2	7324,0	923,0	2423,9	1354,5	8098,3	2174,0	410,9	339,9	82931,8
11	2024	8102,2	54496,0	2148,6	7918,8	998,0	2620,8	1464,5	8756,1	2350,6	444,3	367,5	89667,3
12	2025	8760,2	58922,1	2323,1	8562,0	1079,0	2833,6	1583,4	9467,2	2541,5	480,3	397,4	96949,9
13	2026	9471,7	63707,6	2511,8	9257,4	1166,7	3063,8	1712,0	10236,1	2747,9	519,4	429,7	104824,0
14	2027	10241,0	68881,9	2715,8	10009,2	1261,4	3312,6	1851,0	11067,5	2971,1	561,5	464,5	113337,7
15	2028	11072,8	74476,3	2936,4	10822,2	1363,9	3581,6	2001,4	11966,4	3212,4	607,1	502,3	122542,7
16	2029	11972,1	80525,2	3174,9	11701,1	1474,7	3872,5	2163,9	12938,3	3473,3	656,5	543,1	132495,4
17	2030	12944,4	87065,3	3432,7	12651,5	1594,4	4187,0	2339,7	13989,1	3755,4	709,8	587,2	143256,5
18	2031	13995,7	94136,5	3711,5	13679,0	1723,9	4527,1	2529,7	15125,2	4060,4	767,4	634,9	154891,5
19	2032	15132,4	101782,1	4013,0	14790,0	1863,9	4894,8	2735,2	16353,7	4390,2	829,8	686,4	167471,5
20	2033	16361,5	110048,7	4338,9	15991,2	2015,3	5292,3	2957,3	17681,9	4746,7	897,1	742,2	181073,2

Kemudian menentukan arus lalu lintas pada jam sibuk. Dengan asumsi bahwa arus lalu lintas jalan perkotaan pada jam sibuk sama dengan 9% LHRT (MKJI 1997). Berikut contoh perhitungan jam sibuk LHRT 2014.

Jam sibuk 2014 = 9% x 11100,8

= 999,072 SMP/jam

Langkah berikutnya perbandingan yaitu membandingkan kapasitas jalan dengan jam sibuk menggunakan *V/C ratio*. Nilai *V/C ratio* harus lebih kecil dari 0,85. Berikut contoh perbandingan *V/C ratio* pada tahun 2014.

V/C ratio < 0,85

$\frac{1221.008}{7220}$ < 0,85

0,169 < 0,85

Nilai *V/C ratio* kurang dari 0,85, maka menunjukkan bahwa kapasitas jalan pada akhir tahun 2014 belum terlampaui. Rekapitulasi hasil perbandingan *V/C ratio* selama umur rencana yaitu tahun 2014 hingga 2033 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Kontrol Kapasitas Jalan

Tahun ke-	Tahun	Kapasitas jalan (c)	LHR*EMP tahun ke n /hari (v)	Asumsi jam sibuk 11% (v)	*V/C ratio*	Kontrol
1	2014	7220	$1{,}11 \times 10^4$	$9{,}99 \times 10^2$	0,14	Ya
2	2015	7220	$4{,}44 \times 10^4$	$4{,}00 \times 10^3$	0,55	Ya
3	2016	7220	$4{,}80 \times 10^4$	$4{,}32 \times 10^3$	0,60	Ya
4	2017	7220	$5{,}19 \times 10^4$	$4{,}67 \times 10^3$	0,65	Ya
5	2018	7220	$5{,}61 \times 10^4$	$5{,}05 \times 10^3$	0,70	Ya
6	2019	7220	$6{,}07 \times 10^4$	$5{,}46 \times 10^3$	0,76	Ya
7	2020	7220	$6{,}56 \times 10^4$	$5{,}91 \times 10^3$	0,82	Ya
8	2021	7220	$7{,}09 \times 10^4$	$6{,}38 \times 10^3$	0,88	Tidak
9	2022	7220	$7{,}67 \times 10^4$	$6{,}90 \times 10^3$	0,96	Tidak
10	2023	7220	$8{,}29 \times 10^4$	$7{,}46 \times 10^3$	1,03	Tidak
11	2024	7220	$8{,}97 \times 10^4$	$8{,}07 \times 10^3$	1,12	Tidak
12	2025	7220	$9{,}69 \times 10^4$	$8{,}73 \times 10^3$	1,21	Tidak

Lanjutan Tabel 5.4 Kontrol Kapasitas Jalan

Tahun ke-	Tahun	Kapasitas jalan (C)	LHR*EMP tahun ke n /hari (V)	Asumsi jam sibuk 11% (V)	*V/C ratio*	Kontrol
13	2026	7220	$1{,}05 \times 10^5$	$9{,}43 \times 10^4$	1,31	Tidak
14	2027	7220	$1{,}13 \times 10^5$	$1{,}02 \times 10^4$	1,41	Tidak
15	2028	7220	$1{,}23 \times 10^5$	$1{,}10 \times 10^4$	1,53	Tidak
16	2029	7220	$1{,}32 \times 10^5$	$1{,}19 \times 10^4$	1,65	Tidak
17	2030	7220	$1{,}43 \times 10^5$	$1{,}29 \times 10^4$	1,79	Tidak
18	2031	7220	$1{,}55 \times 10^5$	$1{,}39 \times 10^4$	1,93	Tidak
19	2032	7220	$1{,}67 \times 10^5$	$1{,}51 \times 10^4$	2,09	Tidak
20	2033	7220	$1{,}81 \times 10^5$	$1{,}63 \times 10^4$	2,26	Tidak

Perbandingan *V/C ratio* pada tahun ke-8 menunjukkan bahwa volume lalu lintas melampaui batas yang diizinkan.

5.3 Perhitungan *CESA* dengan metode Bina Marga 2017

5.3.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor laju pertumbuhan lalu lintas rencana untuk jalan arteri Pulau Jawa didapatkan dari prediksi berdasarkan metode *AASHTO 1993* yang dihitung jumlah LHR yang terjadi pada ruas Jalan Yogyakarta – Solo. Perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas menggunakan LHR tahun 2013-2017 golongan 5a hingga 7c. Berikut contoh perhitungan faktor laju pertumbuhan lalu lintas pada tahun 2014 pada golongan 5b dengan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$i = \left(\frac{LHRn}{LHR1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$i = \left(\frac{791}{927}\right)^{\frac{1}{1}} - 1$$

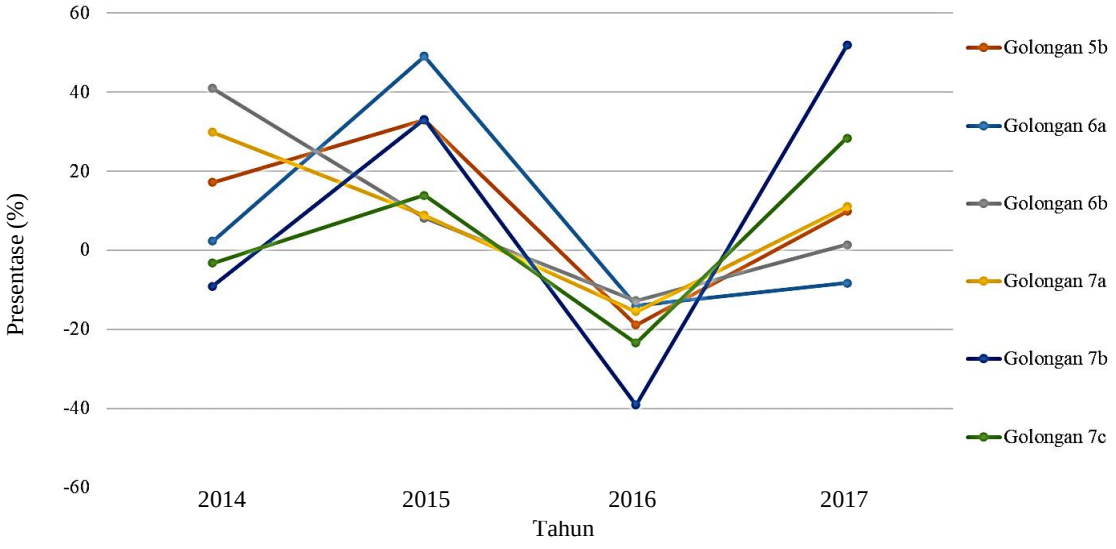
$$i = 17{,}193\%$$

Rekapitulasi perhitungan faktor laju pertumbuhan lalu lintas ruas Jalan Yogyakarta – Solo Km 12-14 untuk tahun 2013 hingga 2014 dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Klasifikasi kendaraan	Tahun				
	2014	2015	2016	2017	I Rerata(%)
Golongan 5b	17,193	32,93	-18,89	9,84	10,27
Golongan 6a	2,372	49,06	-14,00	-8,24	7,30
Golongan 6b	40,962	8,20	-12,71	1,48	9,48
Golongan 7a	29,911	8,88	-15,52	11,02	8,57
Golongan 7b	-9,091	33,14	-39,12	51,86	9,20
Golongan 7c	-3,191	13,87	-23,42	28,39	3,91
				i	8,122

Pertumbuhan Laju pertumbuhan lalu lintas tahun 2014-2016 dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik Pertumbuhan Lalu Lintas

5.3.2 Faktor Distribusi Arah (DD) dan Faktor Distribusi Lajur (DL)

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (*CESA*) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur selama umur rencana. Faktor

distribusi arah dan lajur ruas Jalan Yogyakarta-Solo dapat dilihat pada Tabel 3.4 yaitu diambil faktor distribusi arah (DD) sebesar 0,5 dan lajur (DL) sebesar 80% atau 0,8.

5.3.3 Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif

Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif selama umur rencana dihitung dengan Persamaan 3.4. Contoh perhitungan R untuk *CESA* tahun 2014 sebagai berikut.

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

$$R = \frac{(1+(0{,}01x8{,}122\%))^{1}-1}{0{,}01x8{,}122\%}$$

$$R = 1$$

Berdasarkan perhitungan kontrol kapasitas jalan untuk ruas Jalan Yogyakarta -Solo Km 12-14, perbandingan *V/C ratio* tercapai pada umur rencana ke- 5 maka perhitungan R untuk tahun ke 8 atau tahun 2021 menggunakan Persamaan 3.5. Contoh perhitungan R untuk perhitungan *CESA* tahun 2018 sebagai berikut.

$$R = \frac{(1+0{,}01i)^{UR}-1}{0{,}01i} + (UR\text{-}Q) \times (1 + 0{,}01\ i)(Q-1)$$

$$R = \frac{(1+(0{,}01x8{,}122\%))^{5}-1}{0{,}01x8{,}122\%} + (20\text{-}5)\ (1 + (0{,}01x8{,}122\%))x(5-1)$$

$$R = 26{,}65023792$$

Rekapitulasi perhitungan nilai R dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif

Tahun ke	Tahun	*i (%)*	R
1	2014	8.122	1
2	2015	8.122	2,081218155
3	2016	8.122	3,250250853
4	2017	8.122	4,514230229
5	2018	8.122	5,880867679
6	2019	8.122	7,358500899
7	2020	8.122	8,956144764

Lanjutan Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumulatif

Tahun ke	Tahun	*i (%)*	R
8	2021	8.122	31,412
9	2022	8.122	33,096
10	2023	8.122	34,765
11	2024	8.122	36,405
12	2025	8.122	38,001
13	2026	8.122	39,534
14	2027	8.122	40,986
15	2028	8.122	42,330
16	2029	8.122	43,542
17	2030	8.122	44,590
18	2031	8.122	45,440
19	2032	8.122	46,053
20	2033	8.122	46,384

5.3.4 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Setiap jenis kendaraan selalu mempunyai angka ekuivalen atau *VDF* (*vehicle damage factor*) yang merupakan akumulasi angka ekuivalen dari sumbu depan dan sumbu belakang. Di bawah ini merupakan Faktor Ekuivalen Beban (*VDF)* untuk setiap jenis kendaraan berdasarkan Bina Marga 2017. Perhitungan LHR hingga tahun 2020 digunakan *VDF* 5 aktual, sedangkan LHR di atas tahun 2020 dan selanjutnya menggunakan *V*DF 5 normal. Selanjutnya, untuk angka *VDF* dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan angka *VDF* yang digunakan dalam perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Nilai *VDF*

Klasifikasi kendaraan	*VDF* 5 aktual	*VDF* 5 normal
Golongan 5b	1	1
Golongan 6a	0,5	0,5
Golongan 6b	9,2	5,1
Golongan 7a	19	6,4
Golongan 7b	18,2	13
Golongan 7c	19,8	9,7

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

5.3.5 Perhitungan Beban Sumbu Standar Kumulatif (*CESA*)

Pada ruas Jalan Yogyakarta-Solo ini merupakan jalan dengan 2 lajur 2 arah yang menghasilkan nilai faktor distribusi arah (DD) sebesar 0,5 dan lajur (DL) sebesar 0,8 sesuai dengan Tabel 3.4. Faktor pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 8,122 %. Dengan nilai-nilai tersebut kemudian dapat menghitung nilai *CESA*. Perhitungan nilai *CESA* menggunakan Persamaan 3.4, Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6. Contoh perhitungan nilai *CESA* dapat dilihat sebagai berikut.

Nilai *CESA* tahun 2014

$CESA_{th+1}$ = LHRn x *VDF* x DL x DD x Rn x 365

= LHRn x *VDF* x DL x DD x $\left(\frac{1+0{,}01\times i^{n}-1}{0{,}01\times i}\right)$ x 365

Golongan 5b = 927 x 1 x 0,8 x 0,5 $\left(\frac{1+0{,}01x8.12^{1}-1}{0{,}01x8{,}12}\right)$ x 365

= 135342 *ESAL*

Golongan 6a = 518 x 0,5 x 0,8 x 0,5 $\left(\frac{1+0{,}01x8.12^{1}-1}{0{,}01x8{,}12}\right)$ x 365

= 37814 *ESAL*

Golongan 6b = 2168 x 9,2 x 0,8 x 0,5 $\left(\frac{1+0{,}01x8.12^{1}-1}{0{,}01x8{,}12}\right)$ x 365

= 2912057,6 *ESAL*

Golongan 7a = 582 x 19 x 0,8 x 0,5 $\left(\frac{1+0{,}01x8.12^{1}-1}{0{,}01x8{,}12}\right)$ x 365

= 1614468 *ESAL*

Golongan 7b = 110 x 18,2 x 0,8 x 0,5 $\left(\frac{1+0{,}01x8.12^{1}-1}{0{,}01x8{,}12}\right)$ x 365

= 292292 *ESAL*

Golongan 7c = 91 x 19,8 x 0,8 x 0,5 $\left(\frac{1+0{,}01x8.12^{1}-1}{0{,}01x8{,}12}\right)$ x 365

= 263062,8 *ESAL*

CESA tahun 2014 = Golongan 5b + Golongan 6a + Golongan 6b + Golongan 7a + Golongan 7b + Golongan 7c

= 135342 + 37814 + 2912057,6 + 1614468 + 292292 + 263062,8

= 5255036,4 *ESAL*

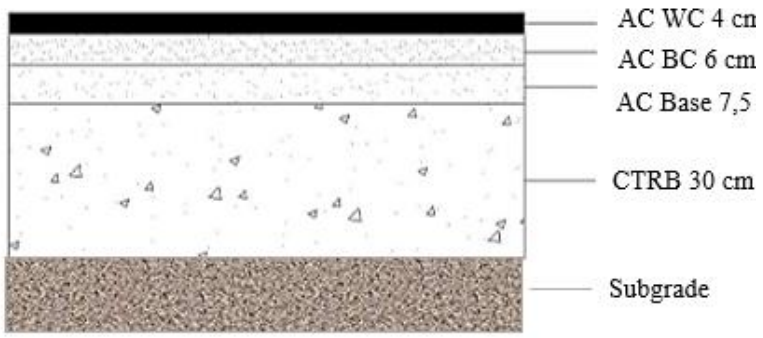
Hasil perhitungan nilai *Cumulative Equivalent Single Axle Load, CESA* berdasarkan Bina Marga (2017) disajikan dalam bentuk pertahun dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Nilai *CESA*

Tahun ke	Tahun	*CESA*
1	2014	$5{,}26 \times 10^{6}$
2	2015	$1{,}09 \times 10^{7}$
3	2016	$1{,}71 \times 10^{7}$
4	2017	$2{,}37 \times 10^{7}$
5	2018	$3{,}09 \times 10^{7}$
6	2019	$3{,}87 \times 10^{7}$
7	2020	$4{,}71 \times 10^{7}$
8	2021	$1{,}22 \times 10^{8}$
9	2022	$1{,}29 \times 10^{8}$
10	2023	$1{,}35 \times 10^{8}$
11	2024	$1{,}41 \times 10^{8}$
12	2025	$1{,}48 \times 10^{8}$
13	2026	$1{,}54 \times 10^{8}$
14	2027	$1{,}59 \times 10^{8}$
15	2028	$1{,}64 \times 10^{8}$
16	2029	$1{,}69 \times 10^{8}$
17	2030	$1{,}73 \times 10^{8}$
18	2031	$1{,}76 \times 10^{8}$
19	2032	$1{,}79 \times 10^{8}$
20	2033	$1{,}80 \times 10^{8}$

5.4 Analisis Perkerasan Jalan Eksisting dengan Menggunakan Program *KENPAVE*

Perkerasan lentur dianalisis menggunakan program yang disebut *KENPAVE* dan dibantu dengan sub program yang disebut *KENLAYER*. Data yang dibutuhkan adalah modulus elastisitas, konstanta *Poisson*, tebal tiap lapisan perkerasan, tekanan ban, luas bidang tekan, dan kondisi lingkungan. Dan *output* dari analisis ini adalah nilai tegangan dan regangan. Data perkerasan eksisting ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Tebal Perkerasan Eksisting

5.4.1 Analisis Material

Pada analisis ini, untuk lapis perkerasan menggunakan bahan material beton aspal yang merupakan bahan *viskoelastic* dan semen. Data yang dibutuhkan pada analisis material adalah jumlah lapis perkerasan, jenis perkerasan tebal perkerasan modulus elastisitas, dan *poisson ratio* setiap lapis perkerasan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rekap Parameter Tiap Lapis Perkerasan

Lapis perkerasan	Tebal Lapis Perkerasan (cm)	Modulus elastisitas, E (kPa)	*Poisson ratio,* μ
AC-WC	4	$1{,}2 \times 10^6$	0,4
AC-BC	6	$1{,}2 \times 10^6$	0,4
AC-Base	7.5	$1{,}6 \times 10^6$	0,4
CTB	30	5×10^5	0,35
Subgrade	∞	6×10^4	0,45

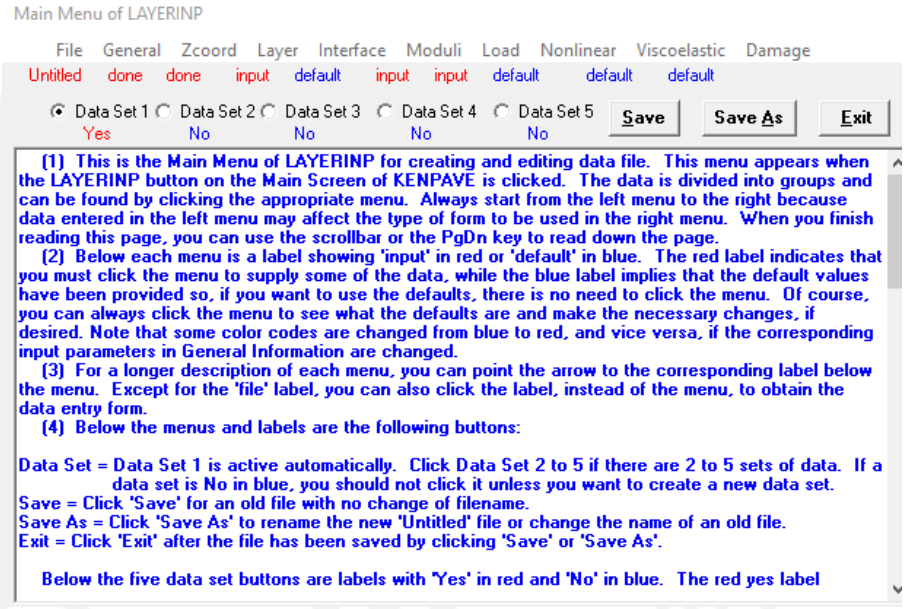
Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

1. *Input KENLAYER*

   Berikut ini adalah contoh *input KENLAYER*.

   a. *Layernip*

      Untuk memulai analisis, buka aplikasi *KENPAVE* kemudian klik pada menu *layernip* seperti Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Tampilan Menu *Layernip*

   b. *General*

      Pada menu *general* masukkan angka dengan ketentuan dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

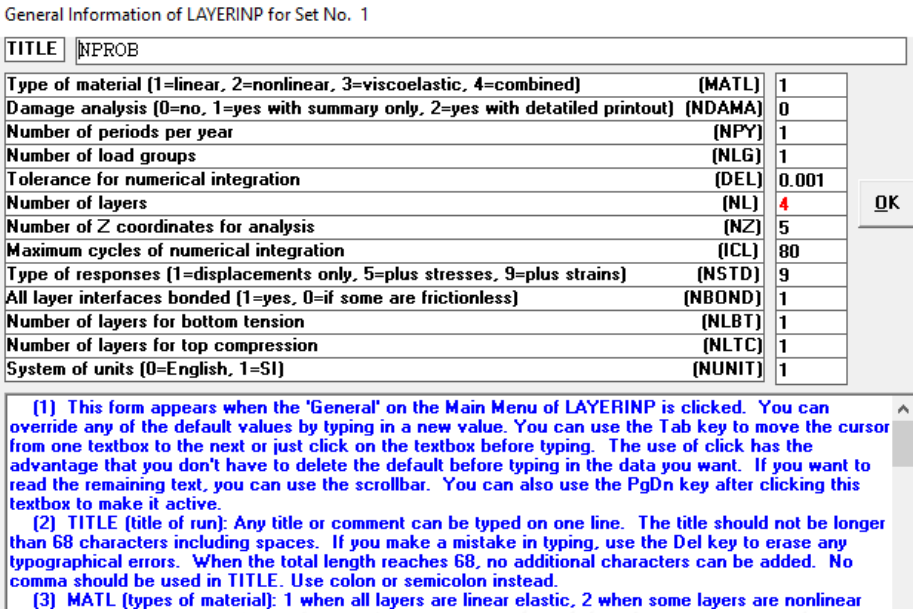
Tabel 5.10 Input General

Judul	*Input*	Keterangan
Title	Hitung 5	Masukkan sesuai kelompok beban yang dimasukkan
MATL	1	Pada lapis perkerasan adalah *viscoelastic*
NDAMA	0	Tidak ada analisis kerusakan pada awalnya
NPY	1	Mengikuti *KENPAVE*
NLG	1	Mengikuti *KENPAVE*
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	4	Jumlah lapisan perkerasan pada analisis adalah 5 (*surface*, *base*, *subgrade*)
NZ	5	Jumlah titik kerusakan yang di analisis

Lanjutan Tabel 5.10 Input General

Judul	*Input*	Keterangan
ICL	80	Mengikuti *KENPAVE*
NSDT	9	Untuk perpindahan vertikal, nilai tegangan, dan nilai regangan
NBOND	1	Semua lapisan saling terikat
NLBT	0	
NLTC	0	
NUNIT	1	Satuan SI (Standar Internasional)

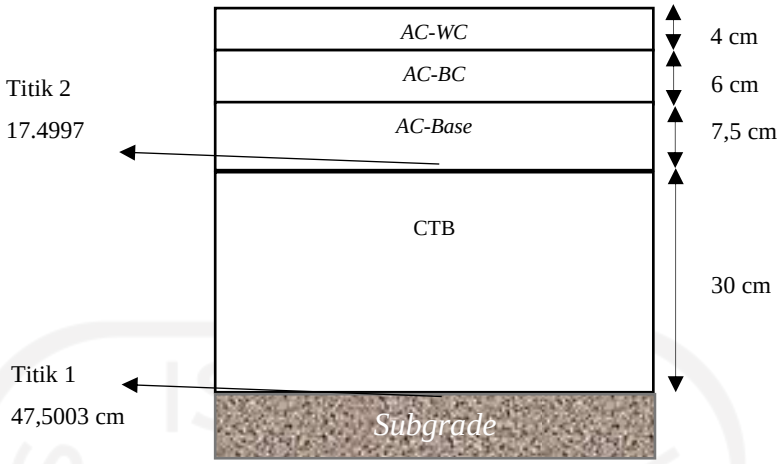
Input pada menu *general* dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 *Input* Data pada Menu *General*

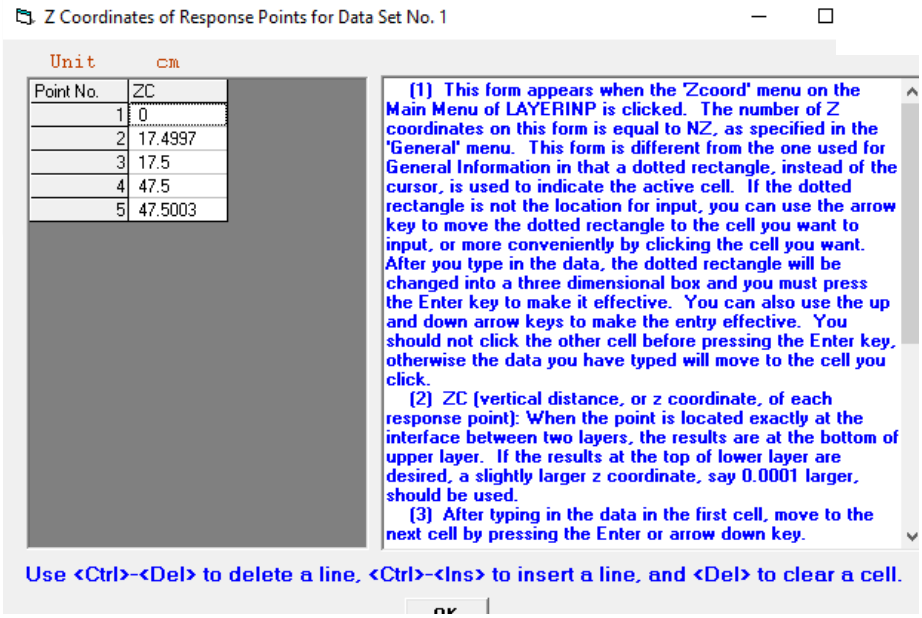
c. *Zcoord*

Menu *Zcoord* merupakan *input* data untuk melihat kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya. Jumlah baris pada *zcoord* sama dengan jumlah NZ pada menu *General*. Detail titik tinjauan dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Titik Tinjauan Kerusakan

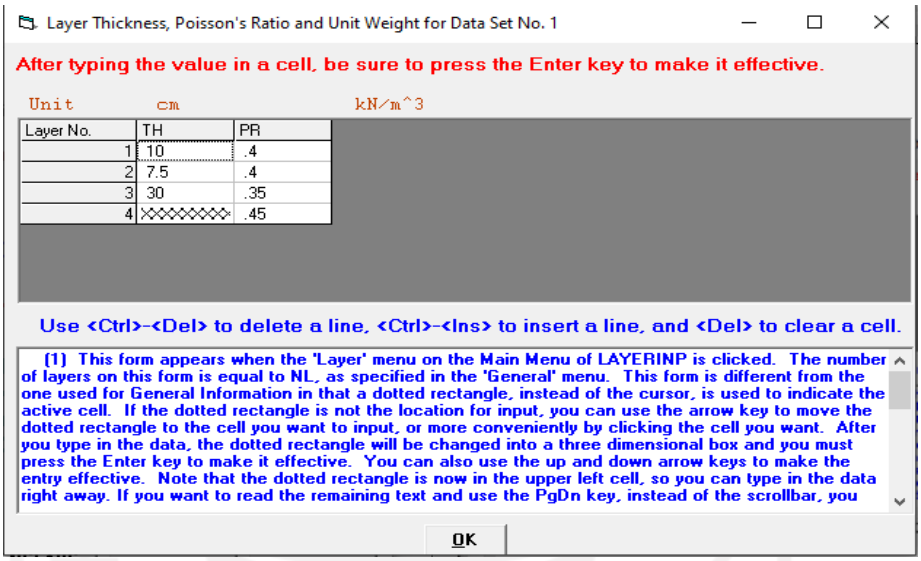
Dapat dilihat pada Gambar 5.6, titik nomor 1 merupakan titik pada dasar lapisan *surface*, titik tersebut adalah letak analisis kerusakan *fatigue cracking* (retak lelah) dan *rutting* (alur). Titik nomor 2 merupakan titik yang terletak di permukaan lapis *subgrade*, titik tersebut adalah letak analisis kerusakan *permanent deformation* (deformasi permanen). *Input* data titik tinjauan pada menu *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 *Input* data pada Menu *Zcoord*

d. *Layer*

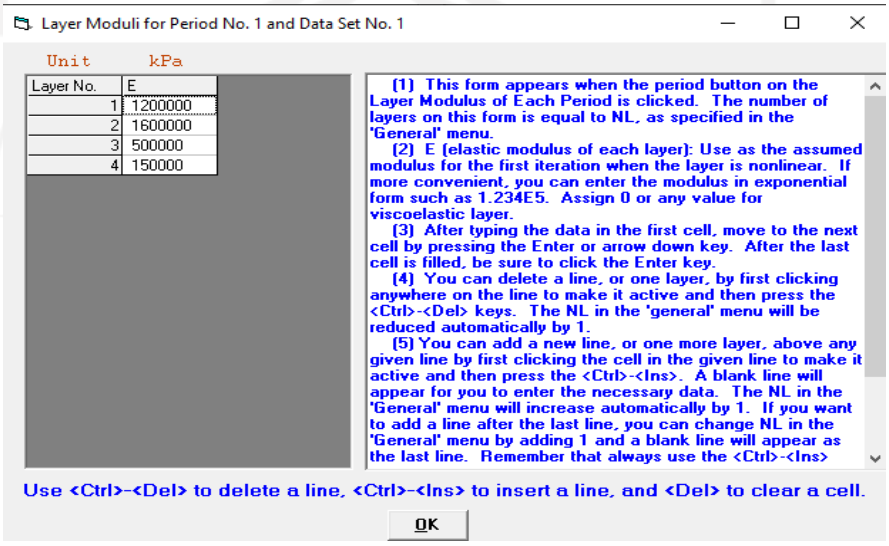
Parameter yang harus dimasukkan dalam Menu *Layer* adalah tebal perkerasan dan *Poisson's ratio*. *Input* untuk nilai kedua parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 *Input* Parameter *Layer*

e. *Moduli*

Pada menu Moduli data dimasukkan adalah modulus *resilient* atau modulus elastisitas dari setiap lapis perkerasan. *Input* untuk nilai modulus elastisitas yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 *Input* data pada Menu Moduli

f. *Load*

Pada analisis ini nilai detail sumbu beban roda diambil berdasarkan Gambar 3.6. Berikut adalah contoh menentukan masukan *LOAD* pada *KENLAYER.*

1) Beban gandar standar digunakan 8,16 ton atau 8160 kg.
2) Tekanan roda 1 ban (*Load*) 0,55 Mpa = 5,5 kg/cm^2
3) *Contact Radius of Circular Loaded Area* (CR)

   CR = 11 cm (jarak antar ban)
4) *Contact Pressure on Circular Loaded Area* (CP)

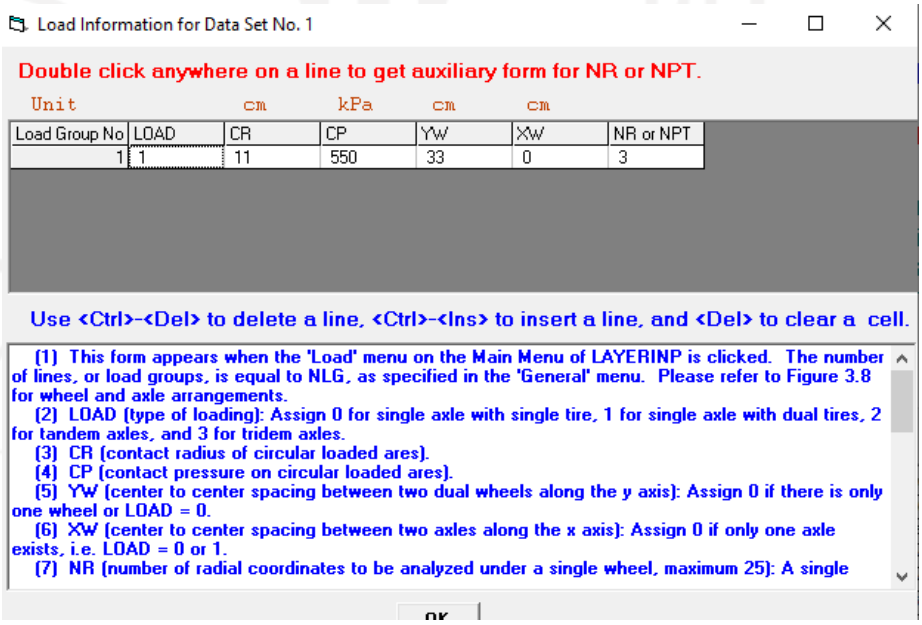
   CP = 550 kPa (berdasarkan nilai tekanan ban)
5) Pusat jarak antara dua roda ganda sepanjang sumbu Y *(YW)* dan pusat jarak antara dua poros sepanjang sumbu X *(XW)*. Pada beban SAL ini karena merupakan roda dengan gandar tunggal roda ganda.

   YW = 33 cm

   XW = 0

   NPT = 3

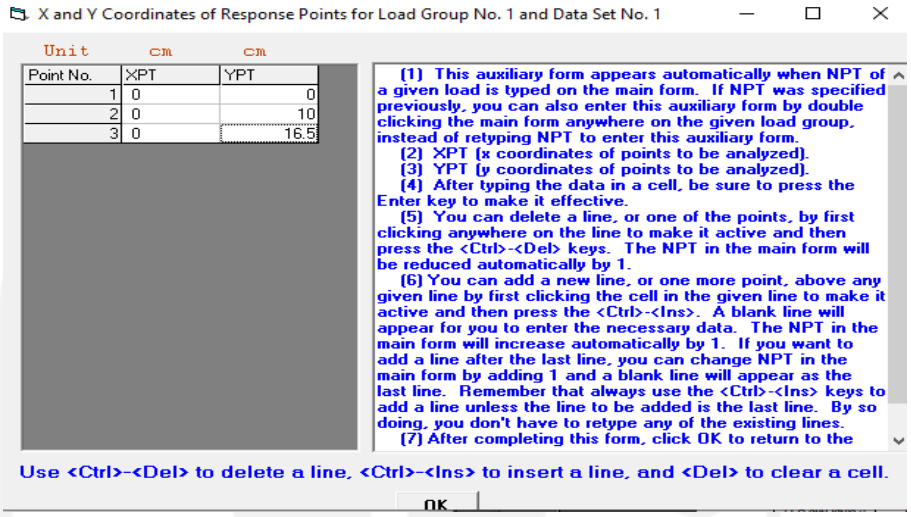
   Detail *Input* data pada menu *Load* dapat dilihat pada Gambar 5.10



Gambar 5.10 *Input* Data pada Menu *Load*

Pada menu *Load* titik koordinat yang ditinjau pada perkerasan dimasukkan pada kolom NPT. Detail letak koordinat dapat dilihat pada Gambar 5.6.

Untuk *input* data pada kolom NPT dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5.11 *Input* Data pada Kolom NPT

Cek kembali data yang diisikan, kemudian disimpan dan klik menu *Exit*. Kemudian kembali pada tampilan utama Program *KENPAVE*. Jalankan analisis data dengan memilih menu *KENLAYER* sehingga didapatkan nilai tegangan dan regangan. Hasil akhir analisis dengan Program *KENPAVE* dapat dilihat pada menu *Editor-File-Open file*.

5.4.2 Hasil Analisis *KENLAYER*

Output analisis menggunakan *KENLAYER* adalah nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Rekapitulasi hasil tegangan dan regangan dari Program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Nilai *Vertical Strain* dan *Tangential Strain*

No. Koordinat	Tegangan Vertikal pada titik 17,4997 cm (kPa)	Tegangan Vertikal pada titik 47,5003 cm (kPa)	Tegangan Horizontal pada titik 17.4997 cm (kPa)
1	$1{,}95 \times 10^{-4}$	$1{,}98 \times 10^{-4}$	$1{,}34 \times 10^{-4}$
2	$1{,}46 \times 10^{-4}$	$2{,}15 \times 10^{-4}$	$1{,}32 \times 10^{-4}$
3	$1{,}18 \times 10^{-4}$	$2{,}18 \times 10^{-4}$	$1{,}32 \times 10^{-4}$
Maximum	$1{,}95 \times 10^{-4}$	$2{,}18 \times 10^{-4}$	$1{,}34 \times 10^{-4}$

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation*, dan *rutting* sebagai bentuk

acuan prediksi umur pelayanan jalan. Tegangan vertikal (*vertical strain)* maksimum pada titik 17,4997 cm yaitu $1{,}95 \times 10^{-4}$ untuk analisis jenis kerusakan *rutting*. Untuk regangan tekan di bawah lapis permukaan atau *horizontal strain*, pada titik 17,4997 cm sebesar $1{,}34 \times 10^{-4}$ untuk jenis kerusakan *fatigue cracking* dan tegangan *vertical strain* pada titik 47,5003 cm yaitu $2{,}18 \times 10^{-4}$ untuk kerusakan *deformation*. Analisis menggunakan menggunakan Persamaan 3.8, Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 kemudian dibandingkan dengan nilai *CESA.* Adapun perhitungan Nf, *Nd rutting* dan *Nd deformation* dapat dilihat sebagai berikut.

Perhitungan nilai Nf, *Nd rutting* dan *Nd deformation.*

1. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatique cracking*

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

   Nf $= 0{,}0796\ 0{,}000134^{-3{,}921} |1200000|^{-0{,}854}$

   Nf $= 7{,}92 \times 10^8$ ESAL

2. Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting*

   Nd*rutting* $= f_4(\varepsilon_c)^{-f5}$

   Nd $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}0001951)^{-4.477}$

   Nd $= 5{,}54 \times 10^7$ ESAL

3. Jumlah nilai beban pengulangan yang diizinkan untuk mengontrol *permanent deformation*

   Nd *deformation* $= f4(\varepsilon_c)^{-f5}$

   Nd $= 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}0002181)^{-4.477}$

   Nd $= 3{,}36 \times 10^7$ ESAL

Adapun hasil rekapitulasi dari analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel. 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Analisis Beban Lalu Lintas

Tahun ke-	Tahun	*CESA* (Nr)	Nf *Fatique Cracking*	Analisis Beban	*Nd Rutting*	Analisis Beban	Nd *Deformation*	Analisis Beban
1	2014	$5{,}26 \times 10^{6}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)
2	2015	$1{,}09 \times 10^{7}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)
3	2016	$1{,}71 \times 10^{7}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)
4	2017	$2{,}37 \times 10^{7}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)
5	2018	$3{,}09 \times 10^{7}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)
6	2019	$3{,}87 \times 10^{7}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
7	2020	$4{,}71 \times 10^{7}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
8	2021	$1{,}22 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
9	2022	$1{,}29 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
10	2023	$1{,}35 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
11	2024	$1{,}41 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
12	2025	$1{,}48 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
13	2026	$1{,}54 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
14	2027	$1{,}59 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
15	2028	$1{,}64 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
16	2029	$1{,}69 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
17	2030	$1{,}73 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
18	2031	$1{,}76 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
19	2032	$1{,}79 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)
20	2033	$1{,}80 \times 10^{8}$	$7{,}9 \times 10^{8}$	Nf>Nr (Ya)	$5{,}54 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$3{,}36 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)

5.4.3 Analisis Kerusakan Dini pada Struktur Perkerasan Jalan berdasarkan Program *KENPAVE*

Hasil analisis pada Tabel 5.12 diperoleh nilai perbandingan antara nilai *CESA* (Nr) dan nilai Nf, Nd *rutting* dan Nd *Deformation*. Analisis beban lalu lintas menunjukkan Nr<Nd *rutting* pada tahun ke-8, dan perkerasan akan mengalami kerusakan *rutting* setelah 1,22 x 10^8 ESA. Kemudian Nr>Nf hingga tahun ke 20, bahwa perkerasan mampu menahan kerusakan *fatique cracking* hingga habis umur rencana. Selanjutnya, untuk Nr<Nd *Deformation* menunjukkan pada tahun ke-6, bahwa perkerasan akan mengalami kerusakan *permanen deformation* setelah 3,87 x 10^7 ESA. Hal tersebut menyimpulkan bahwa tebal perkerasan yang ada tidak mampu menahan beban lalu lintas dengan muatan berlebih selama umur rencana.

Oleh karena itu, untuk mempertahan umur rencana pada perkerasan eksisting perlu dilakukan peningkatan atau pemeliharaan jalan. Peningkatan atau pemeliharaan perkerasan eksisting diharapkan dapat memenuhi nilai Nr>Nd *rutting* dan Nr>Nd *deformation* agar dapat menahan lalu lintas berlebih selama umur rencana.

5.5 Prediksi Penambahan Tebal Lapisan

5.5.1 Analisis *Oveylay* Menggunakan Program *KENPAVE*

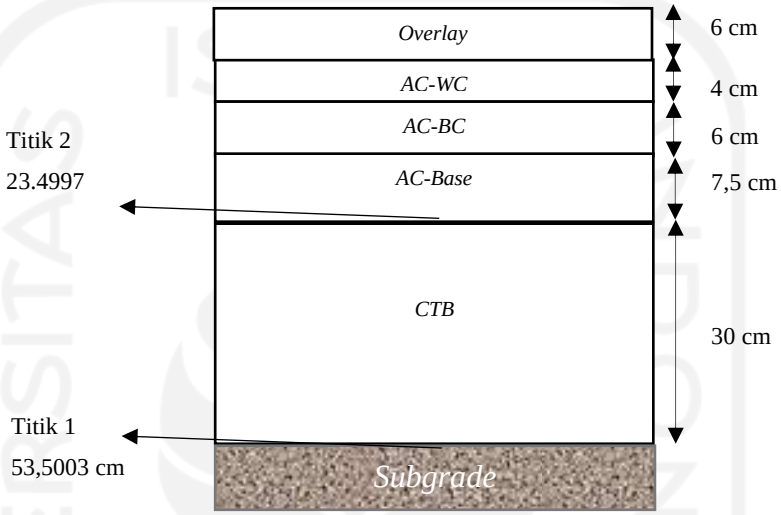
Hasil analisis sisa umur rencana dengan menggunakan Program *KENPAVE* didapat terjadi kerusakan *permanen deformation* dan kerusakan *rutting* pada tahun ke-5. Beban lalu lintas yang terjadi di lapangan serta faktor seperti cuaca, kualitas bahan, dan lainnya pada perkerasan tersebut menyebabkan perkerasan tidak mampu melayani beban lalu lintas hingga habis umur rencana. Oleh karena itu perlu dilakukan penambahan tebal lapis pada perkerasan, agar jalan dapat memenuhi beban lalu lintas hingga habis umur rencana. Penambahan tebal perkerasan dilakukan pada tahun ke-5 pada saat kerusakan terjadi yaitu pada tahun 2018.

Prediksi penambahan tebal lapisan non struktural pada perkerasan eksisting dianalisis melalui simulasi pada program mekanistik empiris menggunakan Program *KENPAVE*. Dengan syarat hasil analisis harus memenuhi Nr>Nf, Nr>Nd *rutting*, dan Nr>ND *deformation* pada kondisi lalu lintas berlebih hingga akhir umur rencana perkerasan. Pada perhitungan penambahan tebal perkerasan

dilakukan simulasi dari tiap tebal yang ditambahkan lapis permukaan perkerasan eksisting. Berikut hasil dari simulasi penambahan tebal perkerasan.

1. Simulasi 1

   Simulasi pertama dilakukan dengan penambahan tebal 6 cm dengan titik tinjauan pada detail tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Titik Tinjauan pada Tebal *Overlay* 6 cm

Berikut hasil tegangan regangan dengan penambahan 6 cm pada lapis permukaan perkerasan eksisting menggunakan Program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Tegangan Regangan Penambahan Tebal 6 cm

No. Koordinat	Tegangan Vertikal pada titik 23,4997 cm (kPa)	Tegangan Vertikal pada titik 53,5003 cm (kPa)	Tegangan Horizontal pada titik 23,4997 cm (kPa)
1	$2{,}11 \times 10^4$	$1{,}92 \times 10^4$	$1{,}31 \times 10^4$
2	$1{,}46 \times 10^4$	$2{,}08 \times 10^4$	$1{,}30 \times 10^4$
3	$1{,}21 \times 10^4$	$2{,}11 \times 10^4$	$1{,}27 \times 10^4$
Maximum	$1{,}34 \times 10^4$	$1{,}67 \times 10^4$	$9{,}70 \times 10^5$

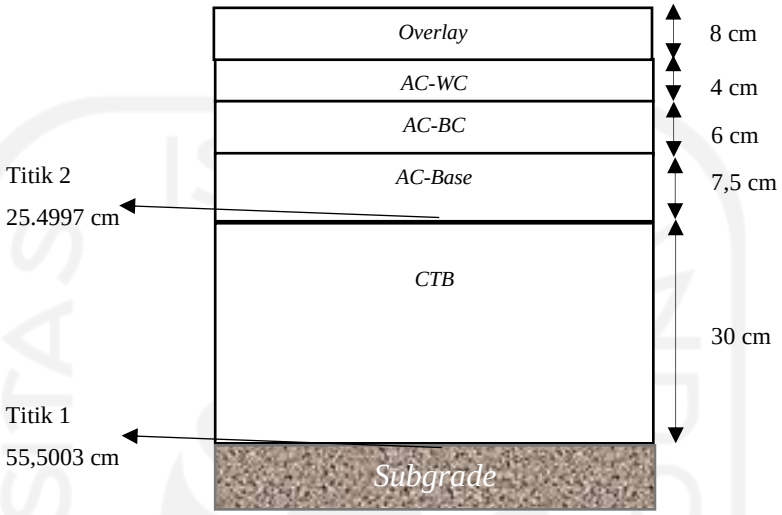
Hasil analisis beban simulasi 1 dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Analisis Beban Lalu Lintas dengan Penambahan Tebal 6 cm pada Perkerasan Eksisting

Tahun ke-	Tahun	*CESA (*NR*)*	NF *fatique rutting*	Analisis beban	Nd *rutting*	Analisis beban	Nd *deformation*	Analisis beban
1	2014	$5{,}26 \times 10^{6}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	1,10 x 108	Nd>Nr (Ya)
2	2015	$1{,}09 \times 10^{7}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
3	2016	$1{,}71 \times 10^{7}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
4	2017	$2{,}37 \times 10^{7}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
5	2018	$1{,}40 \times 10^{7}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
6	2019	$1{,}48 \times 10^{7}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
7	2020	$1{,}56 \times 10^{7}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
8	2021	$1{,}22 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
9	2022	$1{,}29 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
10	2023	$1{,}35 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
11	2024	$1{,}41 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
12	2025	$1{,}48 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
13	2026	$1{,}54 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
14	2027	$1{,}59 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
15	2028	$1{,}64 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
16	2029	$1{,}69 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
17	2030	$1{,}73 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
18	2031	$1{,}76 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
19	2032	$1{,}79 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
20	2033	$1{,}80 \times 10^{8}$	$2{,}18 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$2{,}95 \times 10^{9}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}10 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)

2. Simulasi 2

Simulasi kedua dilakukan dengan penambahan tebal 8 cm dengan titik tinjauan pada detail tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 titik tinjauan pada tebal *overlay* 8 cm

Berikut hasil tegangan regangan dengan penambahan 8 cm pada lapis permukaan perkerasan eksisting menggunakan Program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Tegangan Regangan Penambahan Tebal 8 cm

No. Koordinat	**Tegangan Vertikal pada titik 25,4997 cm (kPa)**	**Tegangan Vertikal pada titik 55,5003 cm (kPa)**	**Tegangan Horizontal pada titik 23,4997 cm (kPa)**
1	$1{,}11 \times 10^4$	$1{,}34 \times 10^4$	$8{,}08 \times 10^5$
2	$1{,}08 \times 10^4$	$1{,}44 \times 10^4$	$6{,}89 \times 10^5$
3	$1{,}05 \times 10^4$	$1{,}45 \times 10^4$	$8{,}58 \times 10^5$
Maximum	$1{,}73 \times 10^4$	$1{,}52 \times 10^4$	$8{,}18 \times 10^5$

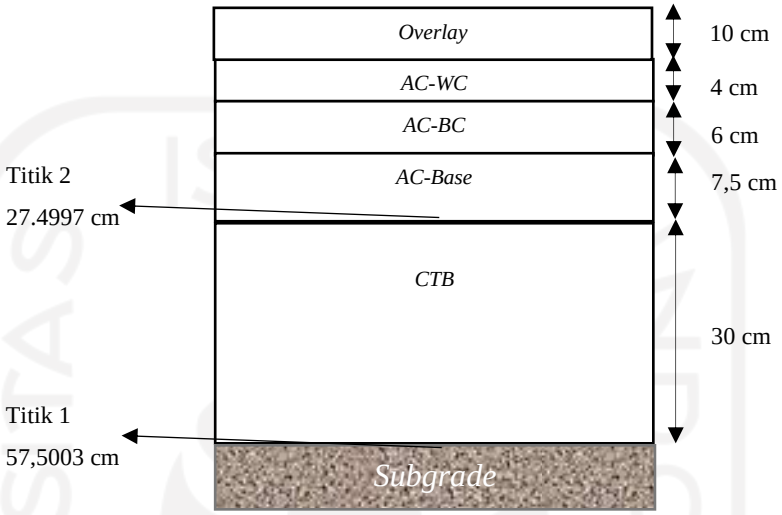
Hasil analisis beban simulasi 2 dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Analisis Beban Lalu Lintas dengan Penambahan Tebal 8 cm pada Perkerasan Eksisting

Tahun ke-	Tahun	*CESA (*NR*)*	NF *fatique rutting*	Analisis beban	Nd *rutting*	Analisis beban	Nd *deformation*	Analisis beban
1	2014	$5{,}26 \times 10^{6}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
2	2015	$1{,}09 \times 10^{7}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
3	2016	$1{,}71 \times 10^{7}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
4	2017	$2{,}37 \times 10^{7}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
5	2018	$1{,}40 \times 10^{7}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
6	2019	$1{,}48 \times 10^{7}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
7	2020	$1{,}56 \times 10^{7}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
8	2021	$1{,}22 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
9	2022	$1{,}29 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
10	2023	$1{,}35 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
11	2024	$1{,}41 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
12	2025	$1{,}48 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
13	2026	$1{,}54 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
14	2027	$1{,}59 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
15	2028	$1{,}64 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
16	2029	$1{,}69 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
17	2030	$1{,}73 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
18	2031	$1{,}76 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
19	2032	$1{,}79 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)
20	2033	$1{,}80 \times 10^{8}$	$4{,}24 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$9{,}62 \times 10^{7}$	Nd<Nr(Tidak)	$1{,}71 \times 10^{8}$	Nd<Nr(Tidak)

3. Simulasi 3

Simulasi ketiga dilakukan dengan penambahan tebal 10 cm dengan titik tinjauan pada detail tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Titik Tinjauan pada Tebal *Overlay* 10 cm

Berikut hasil tegangan regangan dengan penambahan 10 cm pada lapis permukaan perkerasan eksisting menggunakan Program *KENPAVE* dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Tegangan Regangan Penambahan Tebal 10 cm

No. Koordinat	Tegangan Vertikal pada titik 27,4997 cm (kPa)	Tegangan Vertikal pada titik 57,5003 cm (kPa)	Tegangan Horizontal pada titik 27,4997 cm (kPa)
1	$1{,}12 \times 10^4$	$1{,}41 \times 10^4$	$8{,}14 \times 10^5$
2	$1{,}09 \times 10^4$	$1{,}47 \times 10^4$	$8{,}61 \times 10^5$
3	$1{,}05 \times 10^4$	$1{,}48 \times 10^4$	$8{,}64 \times 10^5$
Maximum	$1{,}12 \times 10^4$	$1{,}48 \times 10^4$	$8{,}64 \times 10^5$

Hasil analisis beban simulasi 3 dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Analisis Beban Lalu Lintas dengan Penambahan Tebal 10 cm pada Perkerasan Eksisting

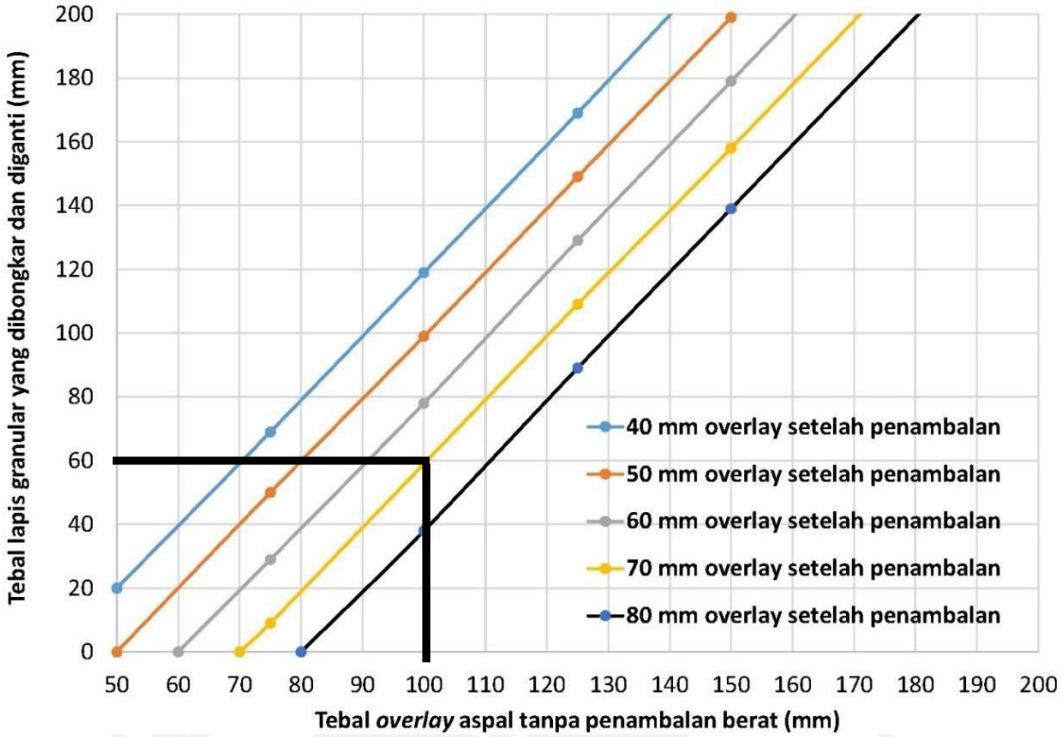
Tahun ke-	Tahun	*CESA (*NR*)*	NF *fatique rutting*	Analisis beban	Nd *rutting*	Analisis beban	Nd *deformation*	Analisis beban
1	2014	$5{,}26 \times 10^{6}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
2	2015	$1{,}09 \times 10^{7}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
3	2016	$1{,}71 \times 10^{7}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
4	2017	$2{,}37 \times 10^{7}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
5	2018	$1{,}40 \times 10^{7}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
6	2019	$1{,}48 \times 10^{7}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
7	2020	$1{,}56 \times 10^{7}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
8	2021	$1{,}22 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
9	2022	$1{,}29 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
10	2023	$1{,}35 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
11	2024	$1{,}41 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
12	2025	$1{,}48 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
13	2026	$1{,}54 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
14	2027	$1{,}59 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
15	2028	$1{,}64 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
16	2029	$1{,}69 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
17	2030	$1{,}73 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
18	2031	$1{,}76 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
19	2032	$1{,}79 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)
20	2033	$1{,}80 \times 10^{8}$	$3{,}43 \times 10^{9}$	Nf>Nr (Ya)	$6{,}76 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)	$1{,}93 \times 10^{8}$	Nd>Nr (Ya)

Berdasarkan hasil simulasi 1,2 dan 3 didapatkan hasil analisis beban lalu lintas dengan 2 simulasi yang memenuhi memenuhi Nr>Nf, Nr>Nd *rutting*, dan Nr>ND *deformation*, yaitu simulasi 3 dengan penambahan ketebalan 10 cm. Penambahan tebal sebesar 10 cm adalah ketebalan minimum yang dianggap cukup memenuhi beban lalu lintas hingga habis umur rencana.

5.5.2 Desain Ketebalan Pengupasan dan Pelapisan Ulang *(Mill and Inlay)*

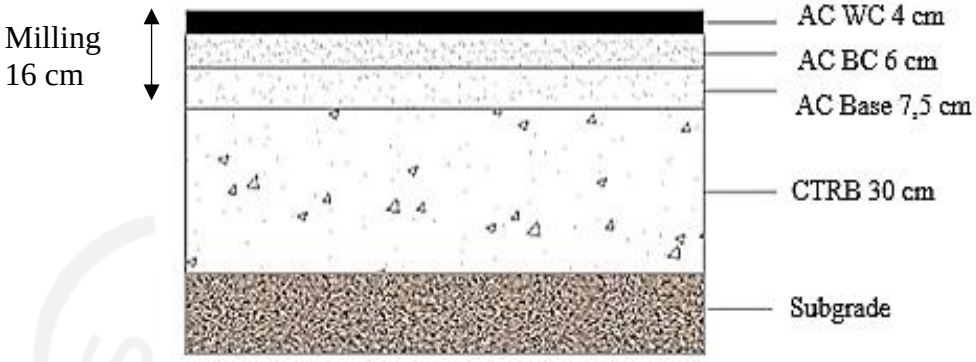
Hasil penambahan tebal *(overlay)* rencana pada perkerasan eksisting didapat ketebalan *overlay* minimum 10 cm, di mana perlu dilakukan pekerjaan pengupasan untuk memaksimalkan kinerja struktur karena dapat menghilangkan retak dan lapisan aspal yang rusak karena oksidasi. Langkah penentuan ketebalan pengupasan dilakukan dengan metode Bina Marga 2017 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pada analisis struktur dengan Program *KENPAVE*, kerusakan yang terjadi adalah kerusakan *rutting* dan *permanent deformation* pada tahun ke 6. Sehingga tebal *overlay* rencana yang diambil yaitu 10 cm. Tebal 10 cm atau 100 mm diambil berdasarkan ketebalan maksimum untuk mengakomodasi kerusakan *fatigue cracking, rutting* dan *permanen deformation.*
2. Penentuan tebal pengupasan dan pelapisan kembali berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation*, namun penentuan tebal pengupasan dan pelapisan kembali dalam metode ini ditentukan berdasarkan kerusakan yang paling awal terjadi. Pada penelitian ini kerusakan yang awal terjadi adalah kerusakan *permanent deformation,* sehingga tebal pengupasan dan pelapisan kembali ditinjau berdasarkan grafik *permanent deformation.* Penentuan tebal pengupasan dan pelapisan kembali dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Ketebalan Pengupasan Lapisan Berbutir untuk Mencegah *Permanent Deformation*

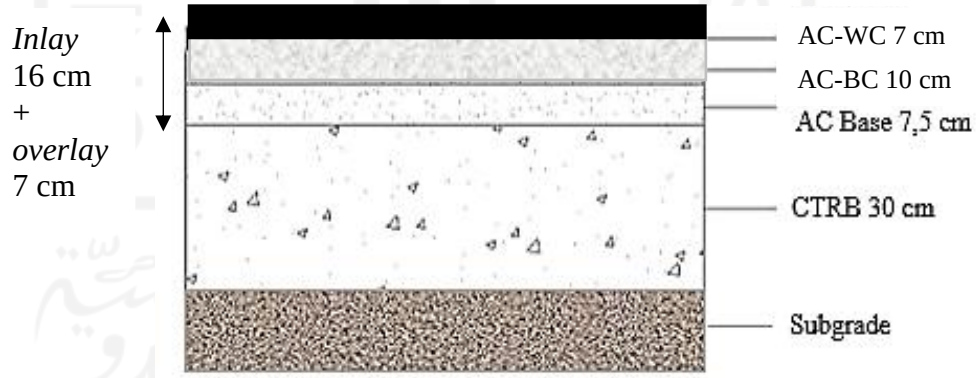
Ketebalan *overlay* tanpa dilakukan pengupasan dan pelapisan kembali adalah 100 mm. Selanjutnya berdasarkan Gambar 5.15 menentukan tebal *overlay* yang dikehendaki setelah dilakukan pengupasan dan pelapisan kembali adalah 70 mm, dengan ketebalan pengupasan 60 mm. Pada ruas perkerasan eksisting, tebal lapis aspal adalah 100 mm dan lapis fondasi setebal 375 mm, maka dilakukan pengelupasan pada lapis aspal 100 mm dan lapis fondasi 60 mm kemudian lakukan pelapisan kembali setebal 160 mm. Kemudian lakukan *overlay* setebal 70 mm. Detail pelaksanaan lapis tebal pengelupasan dan pelapisan kembali dapat dilihat pada Gambar 5.16.



(a) Perkerasan eksisting



(b) Perkerasan eksisting setelah dilakukan pengupasan



(c) Perkerasan eksisting setelah dilakukan pelapisan kembali dan *overlay*

Gambar 5.16. Detail Pelaksanaan Lapis Tebal Pengelupasan dan Pelapisan Kembali

5.6 Prediksi Penambahan Biaya Investasi

Pada analisis didapatkan pelaksanaan *overlay* yang dilakukan dilakukan dengan metode pengupasan dan pelapisan kembali sehingga didapatkan ketebalan pengupasan setebal 16 cm (10 cm lapis aspal dan 6 cm lapis pondasi) dan pelapisan kembali dengan lapis fondasi (*AC base*) setebal 6 cm dan tebal lapis aspal eksisting ditambah *overlay* yaitu 17 cm (*AC-BC* 10 cm dan *AC-WC* 7 cm). Setelah didapatkan tebal yang dibutuhkan, maka dapat dihitung biaya yang diperlukan untuk mempertahankan masa layan perkerasan eksisting hingga habis umur rencana. Untuk menghitung biaya investasi dengan tebal pengerjaan pengupasan dan pelapisan kembali diperlukan untuk mengetahui volume, harga satuan dari alat, bahan, dan jenis pekerjaan..

Berikut analisis satuan harga untuk pekerjaan penambahan lapis permukaan perkerasan (*overlay*) berdasarkan harga yang diambil dari Analisis Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi dan jasa Lainnya dari Pemerintah Kota Yogyakarta Tahun 2019. Perhitungan analisis harga satuan dapat dilihat pada Tabel 5.19, hingga Tabel 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Galian Perkerasan Beraspal dengan *Cold Milling Machine*

Pekerjaan Galian Perkerasan Beraspal dengan *Cold Milling Machine*					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,8606	7.800,00	6.712,56
2.	Mandor	Jam	0,1434	9.642,86	1.383,08
	Jumlah Harga Tenaga				8.095,65
B.	**Peralatan**				
1.	*Cold Milling*	Jam	0,1434	995.209,2	142.743,73
2.	*Dump Truck*	Jam	0,4165	226.237,5	94.232,34
3.	Alat bantu	Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
	Jumlah Harga Bahan				286.976,07
C.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C)				295.071,72
D.	*Overhea*d & Profit 15,0% X D				44.260,76
E.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				339.332,47

Tabel 5.20 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penyiapan Badan Jalan (Pemadatan dan Perataan)

Pekerjaan Penyiapan Badan Jalan (Pemadatan dan Perataan)					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,0161	7.800,00	125,30
2.	Mandor	Jam	0,0040	9.642,86	38,73
	Jumlah Harga Tenaga				164,03
B.	**Peralatan**				
1.	*Motor Grader*	Jam	0,0025	544.930,9	1.367,80
2.	*Vibratory Roller*	Jam	0,0040	400.249,5	1.607,43
3.	*Water Tank Truck*	jam	0,0105	343.426,5	3.620,46
4	Alat Bantu	Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
	Jumlah Harga Bahan				56.595,69
C.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C)				56.759,71
D.	*Overhea*d & Profit 15,0% X D				8.513,96
E.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				65.273,67

Tabel 5.21 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat)*

Pekerjaan Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat*)					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,0301	7.800,00	234,94
2.	Mandor	Jam	0,0060	9.642,86	58,09
	Jumlah Harga Tenaga				293,03
B.	**Bahan**				
1.	Aspal	Kg	0,8885	9.920,00	8.813,54
2.	*Kerosene*	Liter	0,2538	11.157,00	2.832,16
	Jumlah Harga Bahan				11.645,70
C.	**Peralatan**				
1.	*Asphalt Sprayer*	Jam	0,0030	80.596,26	242,76
2.	Compressor	Jam	0,0031	240.475,2	751,49
3.	*Dump Truck*	Jam	0,0030	226.237,5	681,44

Lanjutan Tabel 5.21 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat)*

Pekerjaan Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat*)					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
	Jumlah Harga Peralatan				1.675,68
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C				13.788,58
E.	*Overhead* & Profit 15,0% X D				2.068,29
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				15.856,87

Tabel 5.22 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Lapis Perekat (*Tack Coat*)

Pekerjaan Lapis Perekat (*Tack Coat*)					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,0301	7.800,00	234,94
2.	Mandor	Jam	0,0060	9.642,86	58,09
	Jumlah Harga Tenaga				293,03
B.	**Bahan**				
1.	Aspal	Kg	0,8885	9.920,00	8.813,54
2.	*Kerosene*	Liter	0,2538	11.157,00	2.832,16
	Jumlah Harga Bahan				11.645,70
C.	**Peralatan**				
1.	*Asphalt Sprayer*	Jam	0,0030	80.596,26	242,76
2.	Compressor	Jam	0,0063	240.475,20	1.502,97
3.	*Dump Truck*	Jam	0,0030	226.237,55	681,44
	Jumlah Harga Peralatan				2.427,17
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C				14.365,90
E.	*Overhead* & Profit 15,0% X D				2.154,88
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				16.520,78

Tabel 5.23 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan *AC Base*

Pekerjaan Penghamparan AC Base					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,2410	7.800,00	1.879,52
2.	Mandor	Jam	0,0241	9.642,00	232,34
	Jumlah Harga Tenaga				1.548,20
B.	**Bahan**				
1.	Agr 20-30	M3	0,1701	190.999,76	32.483,41
2.	Agr 5-10 & 10-20 & 20-30	M3	0,7738	190.999,76	147.799,52
3.	Agr 0-5	M3	0,5784	190.999,76	110.468,42
4.	Asphalt	Kg.	50,4700	9.920,00	500.662,40
	semen	Kg.	21,0000	1.375,00	28.875,00
	Jumlah Harga Bahan				820.288,75
C.	**Peralatan**				
1.	*Wheel Loader*	Jam	0,0059	481.296,47	2.837,44
2.	AMP	Jam	0,0241	5.825.340,33	140.369,65
3.	Genset	Jam	0,0241	442.040,53	10.651,58
4.	*Dump Truck*	Jam	0,1169	481.041,11	56.215,82
5.	*Asphalt Finisher*	Jam	0,0074	619.066,69	4.575,50
6.	*Tandem Roller*	Jam	0,0062	378.325,98	2.348,80
7	*P. Tyre Roller*	Jam	0,0073	390.936,72	2.847,43
8	Alat Bantu	LS	1,0000	50.000,00	50.000,00
	Jumlah Harga Peralatan				269.846,22
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C)				1.092.246,82
E.	*Overhea*d & Profit 15,0% X D				163.837,02
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				1.256.083,84

Tabel 5.24 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan *AC-BC*

Pekerjaan Penghamparan *AC-BC*					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef. (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,2410	7.800,00	1.315,86
2.	Mandor	Jam	0,0241	9.642,00	232,34
	Jumlah Harga Tenaga				1.548,20
B.	**Bahan**				
1.	Agregat Kasar	M3	0,7653	190.999,76	146.172,12
2.	Agregat Halus	M3	0,7322	190.999,76	139.850,02
3.	*Semen*	Kg.	55,6200	1.375,00	28.875,00
4.	*Asphalt*	Kg.	21,0000	9.920,00	551.750,40
	Jumlah Harga Bahan				866.647,54
C.	**Peralatan**				
1.	*Wheel Loader*	Jam	0,0062	481.296,47	2.984,04
2.	AMP	Jam	0,0241	5.825.340,33	140.390,70
3.	Genset	Jam	0,0241	442.040,53	10.653,18
4.	*Dump Truck*	Jam	0,1169	481.041,11	56.233,71
5.	*Asphalt Finisher*	Jam	0,0185	619.066,69	11.452,73
6.	*Tandem Roller*	Jam	0,0155	378.325,98	5.864,05
7	*P. Tyre Roller*	Jam	0,0182	390.936,72	7.115,05
8	Alat Bantu	LS	1,0000	50.000,00	50.000,00
	Jumlah Harga Peralatan				284.693,46
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C)				1.153.453,17
E.	*Overhea*d & Profit 15,0% X D				173.017,98
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				1.326.471,15

Tabel 5.25 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan *AC-WC*

Pekerjaan Penghamparan *AC-WC*					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef (Rp.)**
A.	**Tenaga**				
1.	Pekerja	Jam	0,2410	7.800,00	1.879,80
2.	Mandor	Jam	0,0241	9.642,86	232,36
	Jumlah Harga Tenaga				2.112,16
B.	**Bahan**				
1.	Agregat Kasar	M3	0,8408	190.999,76	160.592,60
2.	Agregat Halus	M3	0,3713	190.999,76	70.918,21

Lanjutan Tabel 5.25 Analisis Satuan Harga Pekerjaan Penghamparan *AC-WC*

Pekerjaan Penghamparan *AC-WC*					
No.	**Komponen**	**Satuan**	**Perkiraan Kuantitas**	**Harga Satuan (Rp.)**	**Harga X Koef (Rp.)**
3.	*Filler*	Kg.	53,5300	1.375,00	73.603,75
4.	Aspal	Kg.	73,5000	9.920,00	729.120,00
	Jumlah Harga Bahan				1.034.234,56
C.	**Peralatan**				
1.	*Wheel Loader*	Jam	0,0107	481.296,47	5.158,99
2.	AMP	Jam	0,0241	5.825.340,33	140.369,65
3.	Genset	Jam	0,0241	442.040,53	10.651,58
4.	*Dump Truck*	Jam	0,1320	481.041,11	63.517,40
5.	*Aspal Finisher*	Jam	0,0142	619.066,69	8.769,71
6.	*Tandem Roller*	Jam	0,0071	378.325,98	2.701,12
7	*Pneumatic Tyre Roller*	Jam	0,0102	390.936,72	3.987,37
8	Alat Bantu	LS	1,0000	50.000,00	50.000,00
	Jumlah Harga Peralatan				285.155,81
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan Dan Peralatan (A + B + C)				1.321.502,53
E.	*Overhead* & Profit 15,0% X D				198.225,38
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				1.519.727,91

Setelah didapatkan analisis satuan harga untuk pekerjaan *overlay*, kemudian dihitung volume dari masing-masing pekerjaan. Berikut perhitungan volume pekerjaan pada pekerjaan *overlay* untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo km 12-14 per 1 km dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Perhitungan Kebutuhan Volume Pekerjaan pada Pekerjaan *Overlay* per 1 Km

Jenis pekerjaan	Lebar (m)	Panjang (m)	Tebal (m)	Liter	Volume	Sat.
Pengerjaan pengupasan	15	1000	0,16 m	-	2400	M3
Pekerjaan persiapan badan jalan dan pemadatan	15	1000	-	-	15000	M2
Prime coat	15	1000	-	0,8	12000	Ltr
Tack coat	15	2000	-	0,4	12000	Ltr
AC base	15	1000	0,06 m	-	900	M3
AC BC	15	1000	0,1 m	-	1500	M3
AC WC	15	1000	0,07 m	-	1050	M3

Kebutuhan aspal cair/lapis perekat adalah 0,4-1,4 l/m^2 disesuaikan berdasarkan Spesifikasi Umum Divisi 6 : Perkerasan Aspal. Selanjutnya perhitungan rencana anggaran biaya pada pengerjaan *overlay*. Rekapitulasi rencana anggaran biaya pekerjaan untuk ruasan jalan Yogyakarta-Solo per ruas jalan per 1 km dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5.26 Rencana Anggaran Biaya per 1 Km

Rencana Anggaran Biaya					
No.	**Uraian Pekerjaan**	**Satuan**	**Volume**	**Harga Satuan (Rp)**	**Jumlah Harga (Rp)**
I	**Umum**				
1	Pengukuran	LS	1	2.000.000	2.000.000
2	Papan Proyek	Bh	1	500.000	500.000
3	Administrasi	LS	1	3.000.000	3.000.000
4	Mobilisasi	LS	1	25.000.000	25.000.000
	Sub Total				30.500.000
II	**Pekerjaan Perkerasan**				
1	Pengerjaan Pengupasan	M3	2400	339.332,47	814.397.936,28
2	Pengerjaan persiapan dan pemadatan	M2	15000	65.273,67	979.105.081,37
3	*Prime coat*	Ltr	12000	15.856,87	190.282.392,23
4	*Tack coat*	Ltr	12000	16.520,78	198.243.974,09
5	*AC base*	M3	900	1.256.083,84	1.130.475.458,11
6	*AC BC*	M3	1500	1.326.471,15	1.989.706.717,74
7	*AC WC*	M3	1050	1.519.727,91	1.595.714.300,35
	Sub Total				6.897.925.860,17
	Jumlah Harga				6.928.425.860,17
	PPN 10%				692.842.586,02
	Total Biaya Pekerjaan				7.621.268.446,19

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan biaya investasi pengerjaan *overlay* per ruas jalan per 1 Km untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 sebesar Rp 7.621.268.446,19 dengan total keseluruhan Rp 15.645.123.635,38.

5.7 Pembahasan

Dari hasil analisis menggunakan metode Bina Marga 2017 dan Program *KENPAVE* ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14 didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Kapasitas jalan terhadap volume lalu lintas.
2. Hasil perhitungan *CESA* dengan metode Bina Marga 2017.
3. Nilai tegangan dan regangan menggunakan metode mekanistik empiris dengan Program *KENPAVE-KENLAYER.*
4. Analisis kerusakan dini pada struktur perkerasan jalan dengan Program *KENPAVE*
5. Tebal lapis tambah (*overlay*) untuk mempertahankan umur rencana pada perkerasan eksisting
6. Penambahan biaya investasi untuk mempertahankan umur rencana pada perkerasan eksisting.

5.7.1 Kapasitas Jalan terhadap Volume Lalu Lintas

Setelah perhitungan *CESA* perlu diperhatikan apakah kapasitas LHR sesuai dengan volume jalan yang telah direncanakan, oleh karena itu perlu dibandingkan dengan perhitungan kapasitas jalan berdasarkan MKJI 1997. Hasil perhitungan menunjukkan perbandingan *V/C ratio* terlampaui pada tahun ke-6 yaitu pada 0,855.

5.7.2 Hasil Perhitungan *CESA* dengan Metode Bina Marga 2017

CESA dihitung dengan metode Bina Marga 2017. Berdasarkan data sekunder LHR 2013 hingga 2017, didapat faktor pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 8,122%. Kemudian dilakukan perhitungan *CESA* selama umur rencana tinjauan yaitu 20 tahun, terhitung mulai tahun 2014 hingga 2033.

5.7.3 Nilai Tegangan dan Regangan Menggunakan Metode Mekanistik Empiris dengan Program *KENPAVE*

Analisis perkerasan eksisting dilakukan menggunakan metode mekanistik empiris dengan Program *KENPAVE*. Pada analisis ini akan ditinjau di beberapa titik untuk mengetahui letak regangan dan tegangan untuk kerusakan *fatigue cracking, permanent deformation,* dan *rutting*. Pada analisis ini titik tinjauan berada pada kedalaman 17,4997 cm di bawah lapis permukaan dan kedalaman 47,5003 cm

di bawah fondasi bawah di atas s*ubgrade*. Setelah analisis dilakukan didapatkan nilai tegangan regangan yaitu tegangan vertikal (*vertical strain)* maksimum pada titik 17,4997 cm yaitu $1{,}95x10^{-4}$ untuk analisis jenis kerusakan *rutting*. Untuk regangan tekan di bawah lapis permukaan atau *horizontal strain*, pada titik 17,4997 cm sebesar $1{,}34x10^{-4}$ untuk jenis kerusakan *fatigue cracking* dan tegangan *vertical strain* pada titik 47,5003 cm yaitu $2{,}18x10^{-4}$ untuk kerusakan *deformation*.

5.5.2 Analiss Kerusakan Dini pada Struktur Perkerasan Jalan berdasarkan Program *KENPAVE*

Hasil analisis diperoleh nilai perbandingan antara nilai *CESA* (Nr) dan nilai Nf, Nd *rutting* dan Nd *Deformation*. Analisis beban lalu lintas menunjukkan Nr<Nd *rutting* pada tahun ke-8, dan perkerasan akan mengalami kerusakan *rutting* setelah $1{,}22 \times 10^8$ ESA. Kemudian Nr>Nf hingga tahun ke 20, bahwa perkerasan mampu menahan kerusakan *fatique cracking* hingga habis umur rencana. Selanjutnya, untuk Nr<Nd *Deformation* menunjukkan pada tahun ke-6, bahwa perkerasan akan mengalami kerusakan *permanen deformation* setelah $3{,}87 \times 10^7$ ESA.

5.5.3 Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) untuk Mempertahankan Umur Rencana pada Perkerasan Eksisting

Hasil analisis sisa umur rencana perkerasan eksisting dengan menggunakan Program *KENPAVE* didapat terjadi kerusakan *permanen deformation* pada tahun ke-6 dan kerusakan *rutting* pada tahun ke-8. Berbagai faktor menyebabkan perkerasan tidak mampu melayani beban lalu lintas hingga habis umur rencana. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan tebal lapis pada perkerasan, agar jalan dapat memenuhi beban lalu lintas hingga habis umur rencana. Prediksi penambahan tebal lapisan pada perkerasan eksisting dianalisis melalui simulasi dengan Pogram *KENPAVE* dengan syarat hasil dari simulasi harus memenuhi Nr>Nf, Nr>Nd *rutting,* dan Nr>ND *deformation* pada kondisi lalu lintas berlebih hingga akhir umur rencana perkerasan. Hasil simulasi yang memenuhi yaitu hasil simulasi 3 yaitu dengan tebal 10 cm.

Untuk memaksimal pengerjaan *overlay,* maka selanjutnya analisis dengan metode pengupasan dan pelapisan kembali (*Mill and Inlay*) berdasarkan Bina Marga 2017. Hasil desain tebal pengupasan didapatkan tebal yaitu 16 cm (10 cm

lapis aspal dan 6 cm lapis fondasi), kemudian dilakukan pelapisan kembali dengan lapis fondasi 6 cm dan lapis aspal eksisting yang ditambah dengan tebal *overlay* yaitu 16 cm (10 cm *AC-BC* dan 6 cm *AC-WC*).

5.5.4 Penambahan Biaya Investasi untuk Mempertahankan Umur Rencana pada Perkerasan Eksisting

Setelah didapatkan tebal yang memenuhi beban lalu lintas hingga akhir tahun ke- 20, maka dapat dihitung biaya yang diperlukan untuk mempertahankan masa layan perkerasan eksisting. Untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14, dengan lebar 15 m. Biaya yang diperlukan untuk *overlay* per ruas jalan per 1 km yaitu sebesar Rp7.621.268.446,19 dengan biaya total keseluruhan adalah Rp 15.645.123.635,38.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis prediksi umur pelayanan jalan akibat peningkatan kelas jalan menggunakan metode mekanistik empiris pada studi kasus Jalan Jogja – Solo Km 10-14, ruas Janti-Prambanan, Yogyakarta dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil analisis beban lalu lintas menunjukkan Nr>Nf hingga tahun ke 20, hal tersebut menunjukkan bahwa perkerasan mampu menahan kerusakan *fatique cracking* hingga habis umur rencana. Kemudian, Nr<Nd *rutting* pada tahun ke 8 dan Nr<Nd *Deformation* pada tahun ke-6.. Hal tersebut menyimpulkan bahwa tebal perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas hingga habis umur rencana.
2. Prediksi penambahan tebal perkerasan dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan metode mekanistik empiris dan Bina Marga 2017. Metode mekanistik empiris menggunakan Program *KENPAVE* yang dilakukan dengan 3 simulasi penambahan tebal perkerasan. Dengan 3 simulasi tersebut didapatkan hasil analisis beban lalu lintas dengan 1 simulasi yang memenuhi Nr>Nf, Nr>Nd *rutting,* dan Nr>ND *deformation*, yaitu simulasi 3 dengan penambahan ketebalan 10 cm. Untuk memaksimal pengerjaan *overlay,* maka selanjutnya analisis dengan metode pengupasan dan pelapisan kembali (*Mill and Inlay*) berdasarkan Bina Marga 2017. Hasil desain tebal pengupasan didapatkan tebal yaitu 16 cm (10 cm lapis aspal dan 6 cm lapis fondasi), kemudian dilakukan pelapisan kembali dengan lapis fondasi 6 cm dan lapis aspal eksisting yang ditambah dengan tebal *overlay* yaitu 16 cm (10 cm *AC-BC* dan 6 cm *AC-WC*).
3. Penambahan biaya investasi diperlukan agar perkerasan dapat melayani beban lalu lintas hingga habis umur rencana. Kebutuhan tebal perkerasan untuk ruas Jalan Yogyakarta-Solo Km 12-14, dengan lebar 15 m dan biaya yang diperlukan untuk *overlay* per ruas jalan per 1 km yaitu sebesar Rp7.621.268.446,19 dengan

biaya total keseluruhan untuk km 12-14 adalah Rp 15.645.123.635,38. Penambahan tebal perkerasan dilakukan pada tahun ke-6 pada saat kerusakan paling dini terjadi yaitu pada tahun 2019. Namun, jika belum juga dilakukan perbaikan, maka dapat dilakukan pada tahun 2021 menggunakan desain pada penelitian ini dengan catatan tidak adanya peningkatan angka laju pertumbuhan lalu lintas dan analisis satuan harga.

6.2 Saran

Dengan adanya pertumbuhan ekonomi yang pesat mempengaruhi tingginya pertumbuhan angka lalu lintas yang tidak terduga. Karna faktor tersebut, kerusakan pada perkerasan tidak dapat terhindarkan, Berdasarkan hasil yang didapat dalam penelitian, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Survei berkala pada lalu lintas mengetahui jumlah LHR pada ruas Jalan Yogyakarta-Solo.
2. Pemantauan berkala pada perkerasan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi.
3. Dilakukan pengalihan arus atau penambahan jalur untuk menghindari terlampauinya kapasitas jalan.
4. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperhitungkan tebal lapis tambah berdasarkan kerusakan perkerasan di lapangan.
5. *Overlay* seharusnya dilakukan pada tahun 2019, jika belum dilakukan maka disarankan dilakukan pada tahun selanjutnya dengan memperhatikan laju pertumbuhan lalu lintas dan harga satuan material.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* – 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Modul RDE – 08 : Rekayasa Lalu Lintas. Pusat Pembinaan Kompetensi Dan Pelatihan Konstruksi (Pusbin-Kpk). Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 1987. Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen. SKBI – 2.3.26. 1987 UDC : 625.73 (02). Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 1983. Manual Pemeliharaan Jalan No. 03/MN/B/1983. Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017. Jakarta.

Direktorat Jendral Bina Marga, 1997, Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). No.41/CTR/BL/LN/1994. Jakarta.

Denny Firdausa,, Muhammad Isyab, Sofyan M. Saleh. 2018. Pengaruh Beban Kendaraan Terhadap Umur Desain Perkerasan (Studi Kasus Jalan Nasional Lambaro – Batas Pidie Provinsi Aceh). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala*, E-ISSN: 2615-1340; P-ISSN: 2620-7567. Banda Aceh.

Enjelina Kurnia Meylani Emor, Lucia G. J. Lalamentik, Joice E. Waani. 2018. Pengaruh Beban Gandar Kumulatif Terhadap Penurunan Kinerja Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado-Bitung & Ruas Jalan Bethesda). *Jurnal Sipil Statik, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi*. Manado. April 2018, ISSN: 2337-6732. Vol.6 No.4 (259-268). Manado.

Fadhlan, Khairi. 2013. Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan Menggunakan Program *KENPAVE*. (Online). (jurnal.usu.ac.id/index.php/jts. Diakses 11 Oktober 2017).

Hakim, Indri Nurtiyani. 2019. Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Pakem-Prambanan Untuk Mengantisipasi Peningkatan Kelas Jalan. *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H. C. 2011. Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah. UGM Press. Yogyakarta.

Huang, H. Y. 2004. *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. *Pearson Education. Upper Saddle River, New Jersery.*

Nurkholis, H dan Subarkah. 2018. Analisis Beban Berlebih Kendaraan Pada Perkerasan Lentur Terhadap Penurunan Umur Rencana Perkerasan Jalan. *Prosiding Kolokium*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Oktober 2018, ISSN 9-772477-5B3159. Yogyakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. 2016. Spesifikasi Umum Divisi 6 : Perkerasan Aspal. .Bandung.

Pemerintah Kota Yogyakarta. 2019. Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 88Tahun 2019. Tentang Analisa Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi dan Jasa Lainnya Di Lingkungan Pemerintah Kota Yogyakarta.Yogyakarta

Pemerintah Republik Indonesia. 2004. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38. 2004. Tentang Jalan. Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22. 2009. Tentang Lalu lintas dan Angkutan Umum. Jakarta.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. 2011. Nomor : 19/Prt/M/2011. Tentang Persyaratan Teknis Jalan Dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan. Jakarta

Rahmawati dkk. 2019. *The Overloading Effect on the Design Life of Road and Thickness of Pavement Layer. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah.* Yogyakarta. 2019, IOP *Conference Series: Materials Science and Engineering* 650 (2019) 01205. Yogyakarta.

Randi Anggista1, Ir.Virgo Trisep Haris, Winayati. 2017. Analisis Beban Kendaraan Terhadap Derajat Kerusakan dan Umur Sisa Perkerasan (Studi Kasus : Jalan Lintas Sumatera Kecamatan Payung Sekaki). *Jurnal Teknik*, Volume 1, Nomor 2. Universitas Lancang Kuning. Pekanbaru.

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

The Asphalt Institute. 1970. *Full Depth Asphalt Pavement Structure for Highways and Streets*. *August,* 1970. 24 CFR 200, Subpart S. *United States of America.*

Prakoso, Tri Angga. dkk. 2017. Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Ruas Jalan Pandaan-Gempol Sebelum Dan Sesudah Adanya Jalan Tol. *Jurnal Teknik.* Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Malang.

Wulandari, Widya. 2017. Prediksi Kebutuhan Biaya Investasi Tambahan Akibat Peningkatan Kelas Jalan Pada Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Yudo, Waskito. 2017. Analisis Kerusakan Dini Perkerasaan Lentur Terhadap Umur Sisa Perkerasan Akibat Beban Berlebih Kendaraan *(Overload*): Studi Kasus Ruas Jalan Jogja – Solo. *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil, Fakutlas Teknik Sipil dan perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Yulianto, Dwi. 2019. Analisis Nilai Sisa Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Kendaraan (*Overloading*) Dengan Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Dengan Program *Kenpave* Pada Ruas Jalan Purworejo – Jogja. *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Penelitian



Gambar L1.1 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Jogja – Solo November 2019



Gambar L1.2 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Jogja – Solo November 2019



Gambar L1.3 Lokasi Penelitian Ruas Jalan Jogja – Solo November 2019

Lampiran 2 Data Lalu Lintas Ruas Jogja -Solo

BINA MARGA
INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM
CENTRAL DATABASE

2012

TRAFFIC SUMMARY REPORT

DI Yogyakarta [26]

11-Jan-2013

Link / Traffic Post	AADT MBT	AADT Total	Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle	Car	Util 1	Util 2	Small Bus	Large Bus	Truck 2x a)	Truck 2x b)	Truck 3x a)	Truck 3x b)	Truck 3x c)	No Mot Traf	Survey Year
							Veh 1	Veh 2	Veh 3	Veh 4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh 8	
01411 K - JLN. SUGIYOPRANOTO (WONOSARI)											Status: N/K1								
B01411	5,466	25,561	70.71	8.98	18.81	1.50	19,253	2,454	611	800	318	173	228	800	66	0	16	842	2012
015 - TEMPEL/SALAM (BTS. PROV. JATENG) - BTS.											Status: N/A								
A015	26,130	82,839	80.69	6.90	9.73	2.68	56,011	12,600	5,459	3,026	1,129	673	867	1,675	411	99	191	698	2012
01511 K - JLN. PEMUDA (SLEMAN)											Status: N/A								
A01511	26,559	86,849	81.23	6.83	9.30	2.64	59,576	13,145	5,402	3,027	1,129	684	851	1,620	411	99	191	714	2012
016 - BTS. KOTA SLEMAN - BTS. KOTA YOGYAKARTA											Status: N/A								
A016	27,453	92,393	81.82	6.71	9.10	2.37	64,271	14,329	5,078	3,054	1,163	680	849	1,650	415	93	142	669	2012
01611 K - JLN. PRAMUKA (SLEMAN)											Status: N/A								
A01611	27,431	89,697	81.82	6.72	9.09	2.37	61,683	14,330	5,060	3,054	1,163	680	849	1,645	415	93	142	583	2012
01612 K - JLN. WAHIDIN SUDIRO HUSODO (SLEMAN)											Status: N/A								
A01612	27,700	96,063	82.08	6.55	9.03	2.35	67,512	14,399	5,266	3,070	1,163	650	867	1,635	415	93	142	851	2012
01613 K - BTS. KOTA - SP. JOMBOR (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01613	22,487	80,251	87.75	4.22	6.49	1.53	57,061	12,433	4,717	2,583	646	303	495	965	259	38	48	703	2012
[illegible]711 K - JALAN ARTERI UTARA BARAT (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
[illegible]11	28,378	97,391	77.07	3.83	14.95	4.15	67,240	11,314	6,371	4,186	438	649	1,264	2,979	688	255	234	1,773	2012
[illegible]1 K - JLN. ARTERI UTARA (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
[illegible]1811	38,671	114,685	89.34	2.17	6.67	1.83	75,194	27,670	3,721	3,156	530	310	729	1,849	458	125	123	820	2012
019 - JANTI (YOGYAKARTA) - PRAMBANAN (BTS. PRO											Status: N/A								
A019	29,117	97,312	86.66	4.04	7.02	2.28	67,051	15,072	7,332	2,830	385	791	506	1,538	448	121	94	1,144	2012
01911 K - BTS. KOTA YOGYAKARTA - JANTI (YOGYAKART											Status: N/A								
A01911	24,865	101,873	91.64	3.45	4.91	0.00	75,383	11,648	7,340	3,799	379	479	655	565	0	0	0	1,625	2012
020 - YOGYAKARTA - BTS. KOTA BANTUL											Status: N/K1								
B020	6,714	48,432	89.98	4.90	4.96	0.16	37,546	4,669	276	1,096	194	135	114	219	5	0	6	4,172	2012
02011 K - JLN. PEMUDA (BANTUL)											Status: N/K1								
C02011	1,932	11,839	89.70	0.93	9.16	0.21	9,377	1,492	85	156	8	10	46	131	2	2	0	530	2012
02012 K - JLN. KOL. SUGIYONO (BANTUL)											Status: N/K1								
C02012	1,966	11,875	89.27	0.92	9.61	0.20	9,379	1,508	86	161	8	10	58	131	2	2	0	530	2012
02013 K - JLN. BRIGJEN KATAMSO (BANTUL)											Status: N/K1								
C02013	2,015	12,121	89.08	0.89	9.83	0.20	9,574	1,556	78	161	8	10	64	134	2	2	0	532	2012
02014 K - JLN. P. SENOPATI (BANTUL)											Status: N/K1								
B02014	3,860	30,000	88.63	4.04	7.20	0.13	22,584	3,095	89	237	71	85	73	205	4	1	0	3,556	2012
021 - BANTUL - SP. WEDEN											Status: N/K1								
C021	1,981	18,529	95.91	1.21	2.83	0.05	15,416	1,689	66	145	10	14	11	45	0	0	1	1,132	2012

MBT - Total motorised traffic (All but Veh 1 and Veh 8)

Page 2 of 3

Link / Traffic Post	AADT MBT	AADT Total	Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle	Car	Util 1	Util 2	Small Bus	Large Bus	Truck 2x a)	Truck 2x b)	Truck 3x a)	Truck 3x b)	Truck 3x c)	No Mot Traf	Survey Year
							Veh 1	Veh 2	Veh 3	Veh 4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh 8	
01411 K - JLN. SUGIYOPRANOTO (WONOSARI)											Status: N/K1								
B01411	5,504	32,418	73.22	9.05	16.26	1.47	26,066	2,561	705	764	319	179	228	667	59	0	22	848	2014
015 - TEMPEL/SALAM (BTS. PROV. JATENG) - BTS.											Status: N/A								
A015	20,330	61,920	77.53	8.12	12.41	1.95	41,405	2,895	9,719	3,148	921	729	386	2,136	263	22	111	185	2014
01511 K - JLN. PEMUDA (SLEMAN)											Status: N/A								
A01511	22,913	85,599	87.89	4.63	5.78	1.70	61,380	12,533	5,207	2,398	519	542	376	949	212	71	106	1,306	2014
016 - BTS. KOTA SLEMAN - BTS. KOTA YOGYAKARTA											Status: N/A								
A016	20,495	74,879	92.55	3.20	4.13	0.13	53,528	15,297	1,569	2,102	558	97	368	478	21	0	5	856	2014
01611 K - JLN. PRAMUKA (SLEMAN)											Status: N/A								
A01611	18,852	70,751	82.53	7.68	8.36	1.43	51,653	9,692	4,094	1,773	826	621	517	1,059	184	52	34	246	2014
01612 K - JLN. WAHIDIN SUDIRO HUSODO (SLEMAN)											Status: N/A								
A01612	19,043	72,124	91.62	3.34	4.47	0.57	52,358	10,967	4,637	1,843	456	180	297	555	51	12	45	723	2014
01613 K - BTS. KOTA - SP. JOMBOR (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01613	19,146	74,023	91.89	3.27	4.43	0.40	54,125	11,038	4,706	1,849	453	174	297	552	54	13	10	752	2014
01711 K - JALAN ARTERI UTARA BARAT (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01711	16,989	65,736	75.07	5.74	15.31	3.88	48,004	4,948	5,273	2,532	320	655	794	1,807	348	114	198	743	2014
01811 K - JLN. ARTERI UTARA (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01811	27,773	97,058	89.13	2.16	7.13	1.58	68,785	7,823	14,462	2,469	379	220	505	1,475	371	18	51	500	2014
019 - JANTI (YOGYAKARTA) - PRAMBANAN (BTS. PRO											Status: N/A								
A019	27,587	95,325	82.78	4.64	9.74	2.84	66,870	19,276	760	2,801	353	927	518	2,169	582	110	91	868	2014
01911 K - BTS. KOTA YOGYAKARTA - JANTI (YOGYAKART											Status: N/A								
A01911	17,464	95,114	92.02	3.10	4.69	0.19	76,128	7,226	6,658	2,186	381	161	486	333	25	0	8	1,522	2014
020 - YOGYAKARTA - BTS. KOTA BANTUL											Status: N/K1								
B020	9,849	42,814	92.14	3.08	4.47	0.31	29,813	7,356	400	1,319	250	53	176	264	19	1	11	3,152	2014
02011 K - JLN. PEMUDA (BANTUL)											Status: N/K1								
C02011	1,986	14,336	87.87	0.96	10.98	0.20	11,877	1,522	95	128	8	11	39	179	3	1	0	473	2014
02012 K - JLN. KOL. SUGIYONO (BANTUL)											Status: N/K1								
C02012	1,966	14,916	89.11	0.97	9.82	0.10	12,477	1,528	91	133	7	12	76	117	1	1	0	473	2014
02013 K - JLN. BRIGJEN KATAMSO (BANTUL)											Status: N/K1								
C02013	2,038	13,413	89.70	1.08	9.18	0.05	10,882	1,580	85	163	8	14	73	114	1	0	0	493	2014
02014 K - JLN. P. SENOPATI (BANTUL)											Status: N/K1								
B02014	3,911	30,561	87.62	5.32	6.90	0.15	23,125	3,060	108	259	70	138	71	199	5	1	0	3,525	2014
021 - BANTUL - SP. WEDEN											Status: N/K1								
C021	644	18,076	88.82	4.19	6.83	0.16	16,361	378	79	115	13	14	12	32	0	1	0	1,071	2014

MBT - Total motorised traffic (All but Veh 1 and Veh 8)

BINA MARGA
INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM
CENTRAL DATABASE 2015

TRAFFIC SUMMARY REPORT

DI Yogyakarta [26] 10-Sep-2015

Link Traffic Post	AADT MBT	AADT Total	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
01411 K - JLN. SUGIYOPRANOTO (WONOSARI)											Status: N/K1								
A01411	11,556	45,357	76.44	4.00	17.29	2.28	33,480	1,817	4,984	2,032	268	194	620	1,378	189	23	51	321	2015
015 - TEMPEL/SALAM (BTS. PROV. JATENG) - BTS. KOTA SLEMAN											Status: N/A								
A015	25,982	73,933	78.87	8.19	11.07	1.87	47,819	5,104	12,327	3,062	1,050	1,077	531	2,345	356	23	107	132	2015
016 - BTS. KOTA SLEMAN - BTS. KOTA YOGYAKARTA											Status: N/A								
A016	21,712	77,921	91.97	3.40	4.43	0.20	55,279	16,017	1,686	2,265	610	129	429	532	33	1	10	930	2015
01613 K - BTS. KOTA - SP. JOMBOR (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01613	26,180	115,273	93.12	3.43	3.30	0.15	88,603	14,976	7,229	2,173	663	236	458	407	22	0	16	490	2015
01711 K - JALAN ARTERI UTARA BARAT (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01711	21,590	75,520	73.22	6.23	16.29	4.26	53,075	6,136	6,570	3,103	497	847	1,017	2,501	476	200	243	855	2015
01811 K - JLN. ARTERI UTARA (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01811	36,073	114,047	88.20	3.77	6.79	1.24	77,535	10,569	18,133	3,115	653	708	696	1,752	296	84	67	439	2015
019 - JANTI (YOGYAKARTA) - PRAMBANAN (BTS. PROV. JATENG)											Status: N/A								
A019	41,478	133,769	83.28	5.41	8.89	2.42	91,318	29,319	1,532	3,690	607	1,638	1,151	2,538	690	195	118	973	2015
01911 K - BTS. KOTA YOGYAKARTA - JANTI (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01911	18,287	88,682	91.28	3.37	4.98	0.37	68,747	7,474	6,900	2,318	424	192	532	379	51	2	15	1,648	2015
020 - YOGYAKARTA - BTS. KOTA BANTUL											Status: N/K1								
B020	11,576	70,326	87.40	3.26	8.81	0.54	56,229	1,609	6,705	1,803	319	58	313	707	47	2	13	2,521	2015
02011 K - JLN. PEMUDA (BANTUL)											Status: N/K1								
A02011	8,983	69,358	85.56	3.80	9.90	0.75	58,822	1,258	4,901	1,527	287	54	263	626	50	2	15	1,553	2015
02012 K - JLN. KOL. SUGIYONO (BANTUL)											Status: N/K1								
A02012	1,638	13,130	86.14	2.20	11.54	0.12	10,334	1,115	141	155	14	22	82	107	1	1	0	1,158	2015
02013 K - JLN. BRIGJEN KATAMSO (BANTUL)											Status: N/K1								
A02013	1,906	14,265	84.00	2.73	12.96	0.31	11,060	1,241	170	190	21	31	110	137	4	2	0	1,299	2015
02014 K - JLN. P. SENOPATI (BANTUL)											Status: N/K1								
A02014	3,842	29,628	87.30	5.52	7.03	0.16	22,424	2,984	110	260	72	140	70	200	5	1	0	3,362	2015
021 - BANTUL - SP. WEDEN											Status: N/K1								
A021	1,227	18,331	88.43	3.34	8.15	0.08	14,752	816	118	151	26	15	36	64	0	1	0	2,352	2015
022 - SP. WEDEN - BAKULAN											Status: N/K1								
A022	1,171	13,099	83.95	7.60	8.45	0.00	9,206	681	180	122	37	52	43	56	0	0	0	2,722	2015
023 - BAKULAN - KRETEK											Status: N/K1								
A023	4,232	33,670	84.66	6.78	8.34	0.21	25,479	2,735	266	582	156	131	139	214	8	0	1	3,959	2015
024 - KRETEK - PARANGTRITIS											Status: N/K1								
A024	3,860	34,016	82.49	8.01	9.22	0.28	26,649	2,302	248	634	163	146	108	248	8	0	3	3,507	2015

MBT - Total motorised traffic (All but Veh 1 and Veh 8)

DINA MARGA
INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM
CENTRAL DATABASE

2016

TRAFFIC SUMMARY REPORT

DI Yogyakarta [26]

25-Jul-2016

Link / Traffic Post	AADT MBT	AADT Total	Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle	Car	Util 1	Util 2	Small Bus	Large Bus	Truck 2x a)	Truck 2x b)	Truck 3x a)	Truck 3x b)	Truck 3x c)	No Mot Traf	Survey Year
							Veh 1	Veh 2	Veh 3	Veh 4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh 8	
01411 K - JLN. SUGIYOPRANOTO (WONOSARI)											Status: N/K1								
A01411	11,206	44,405	77.40	3.36	17.12	2.11	32,916	1,776	4,908	1,989	210	167	579	1,340	184	15	38	283	2016
015 - TEMPEL/SALAM (BTS. PROV. JATENG) - BTS. KOTA SLEMAN											Status: N/A								
A015	11,770	46,192	76.44	3.99	17.29	2.28	34,101	1,850	5,077	2,070	273	197	631	1,404	192	25	51	321	2016
016 - BTS. KOTA SLEMAN - BTS. KOTA YOGYAKARTA											Status: N/A								
A016	32,119	123,373	94.66	2.04	3.23	0.07	90,423	27,551	938	1,915	570	84	470	567	20	0	4	831	2016
01613 K - BTS. KOTA - SP. JOMBOR (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01613	26,422	116,225	93.11	3.44	3.30	0.15	89,313	15,113	7,296	2,193	670	238	462	411	23	0	16	490	2016
01711 K - JALAN ARTERI UTARA BARAT (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01711	21,590	75,520	73.22	6.23	16.29	4.26	53,075	6,136	6,570	3,103	497	847	1,017	2,501	476	200	243	855	2016
01811 K - JLN. ARTERI UTARA (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01811	43,734	119,148	93.01	1.57	4.34	1.08	74,879	36,264	1,413	3,001	436	252	648	1,248	311	75	86	535	2016
019 - JANTI (YOGYAKARTA) - PRAMBANAN (BTS. PROV. JATENG)											Status: N/A								
A019	41,227	140,481	89.39	3.50	5.87	1.24	98,392	32,305	1,014	3,532	569	874	732	1,688	416	44	53	862	2016
01911 K - BTS. KOTA YOGYAKARTA - JANTI (YOGYAKARTA)											Status: N/A								
A01911	49,250	179,857	97.98	0.59	1.40	0.02	129,396	44,404	1,499	2,353	231	62	389	302	8	0	2	1,211	2016
020 - YOGYAKARTA - BTS. KOTA BANTUL											Status: N/K1								
B020	10,884	70,025	86.33	3.54	9.55	0.59	57,271	1,639	5,920	1,837	330	55	308	731	49	2	13	1,870	2016
02011 K - JLN. PEMUDA (BANTUL)											Status: N/K1								
A02011	8,983	69,358	85.56	3.80	9.90	0.75	58,822	1,258	4,901	1,527	287	54	263	626	50	2	15	1,553	2016
02012 K - JLN. KOL. SUGIYONO (BANTUL)											Status: N/K1								
A02012	1,606	12,910	86.11	2.24	11.52	0.12	10,146	1,094	137	152	14	22	80	105	1	1	0	1,158	2016
02013 K - JLN. BRIGJEN KATAMSO (BANTUL)											Status: N/K1								
A02013	1,915	14,274	83.92	2.72	13.11	0.26	11,060	1,241	174	192	21	31	109	142	3	2	0	1,299	2016
02014 K - JLN. P. SENOPATI (BANTUL)											Status: N/K1								
A02014	3,841	29,617	87.29	5.47	7.08	0.16	22,396	2,983	109	261	72	138	71	201	5	1	0	3,380	2016
021 - BANTUL - SP. WEDEN											Status: N/K1								
A021	1,227	18,331	88.43	3.34	8.15	0.08	14,752	816	118	151	26	15	36	64	0	1	0	2,352	2016
022 - SP. WEDEN - BAKULAN											Status: N/K1								
A022	1,171	13,099	83.95	7.60	8.45	0.00	9,206	681	180	122	37	52	43	56	0	0	0	2,722	2016
023 - BAKULAN - KRETEK											Status: N/K1								
A023	2,058	16,592	82.94	4.66	12.29	0.10	14,347	427	945	335	80	16	57	196	0	0	2	187	2016
024 - KRETEK - PARANGTRITIS											Status: N/K1								
A024	3,932	34,582	82.48	7.99	9.26	0.28	27,143	2,345	253	645	166	148	111	253	8	0	3	3,507	2016

MBT - Total motorised traffic (All but Veh 1 and Veh 8)

BINA MARGA
INTERURBAN ROAD MANAGEMENT SYSTEM
CENTRAL DATABASE 2017

TRAFFIC SUMMARY REPORT

DI Yogyakarta [26] 10-Jan-2018

Link / Traffic Post	AADT MBT	AADT Total	Car %	Bus %	LTr %	HTr %	Motor Cycle	Car	Util 1	Util 2	Small Bus	Large Bus	Truck 2x a)	Truck 2x b)	Truck 3x a)	Truck 3x b)	Truck 3x c)	No Mot Traf	Survey Year
							Veh 1	Veh 2	Veh 3	Veh 4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh 8	
019 - JANTI (YOGYAKARTA) - PRAMBANAN (BTS. PROV. JATENG)										**Status: N/A**									
A019	39,986	135,401	87.18	4.52	5.77	2.53	94,461	30,941	796	3,121	537	1,272	519	1,790	632	234	144	954	2017
01911 K - BTS. KOTA YOGYAKARTA - JANTI (YOGYAKARTA)										**Status: N/A**									
A01911	48,673	176,872	97.40	0.60	1.98	0.02	126,988	43,593	1,488	2,326	231	62	661	302	8	0	2	1,211	2017

MBT - Total motorised traffic (All but Veh 1 and Veh 8)

KEMANTAPAN RUAS JALAN NASIONAL

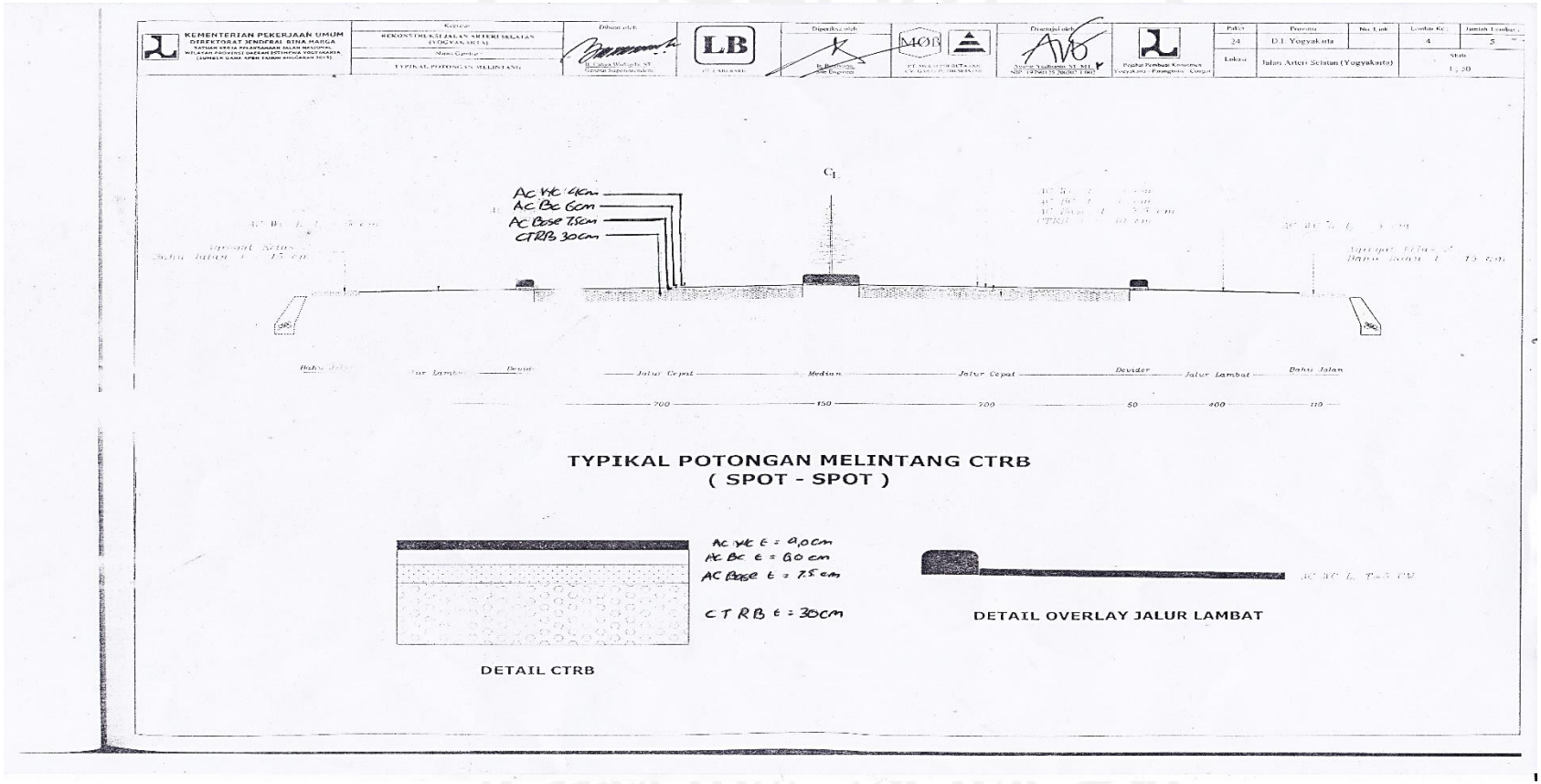
SEMESTER 2/2018

Status : 21-1-2019

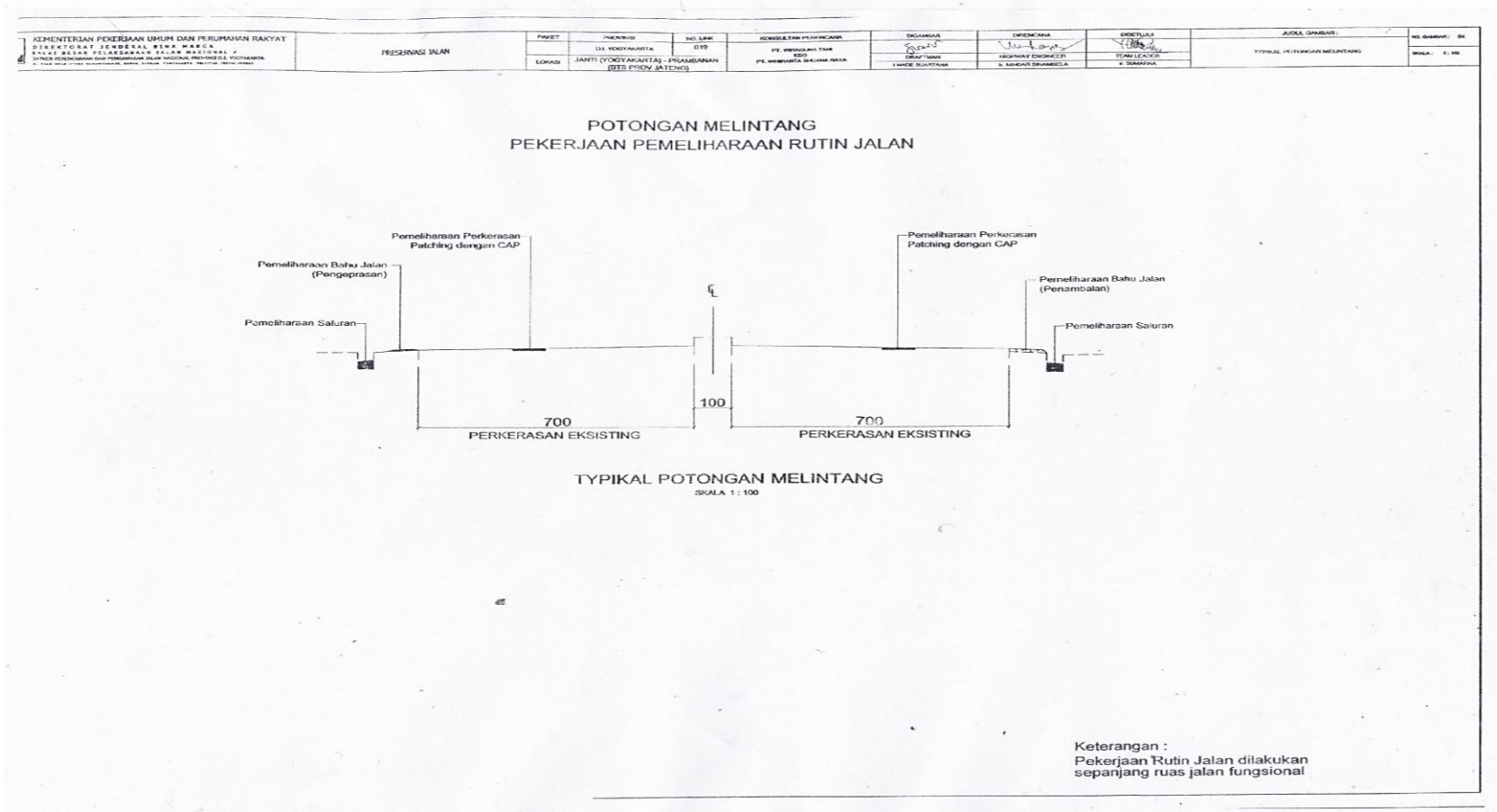
Nama Ruas	Lintas	Panjang SK (KM)	AADT												
			TOTAL	Veh1	Veh2	Veh3	Veh4	Veh5a	Veh5b	Veh6a	Veh6b	Veh7a	Veh7b	Veh7c	Veh8
JANTI (YOGYAKARTA) - PRAMBANAN (BTS. PROV. JATENG)	Jalan Penghubung Lintas Pulau Jawa	10,10	39986	94461	30941	796	3121	537	1272	519	1790	632	234	144	954
BTS. KOTA YOGYAKARTA - JANTI (YOGYAKARTA)	Jalan Penghubung Lintas Pulau Jawa	2,12	48673	126988	43593	1488	2326	231	62	661	302	8	0	2	1211

2. Per Ruas

Lampiran 3 Data Tebal Perkerasan Eksisting



Lampiran 4 Data Potongan Melintang Perkerasan Eksisting



Lampiran 5 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting

```
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 10  7.5  30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4  0.4  0.35  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  17.4997  17.5  47.5  47.5003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.200E+06   2  1.600E+06
   3  5.000E+05   4  1.500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0.000   0.000  2   0.000  10.000
```

Activate Window

3 0.000 16.500

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02755	550.000	864.448	808.742	848.618
	(STRAIN)		1.029E-04	1.679E-04	1.029E-04	1.495E-04
1	17.49970	0.02277	162.824	164.179	-212.950	-161.689
	(STRAIN)		1.951E-04	1.963E-04	-1.337E-04	-1.337E-04
1	17.50000	0.02277	162.821	164.176	-212.965	-161.702
	(STRAIN)		1.951E-04	1.963E-04	-1.337E-04	-1.337E-04
1	47.50000	0.01748	32.551	32.933	-54.023	-44.024
	(STRAIN)		1.335E-04	1.345E-04	-1.003E-04	-1.003E-04
1	47.50030	0.01748	32.551	33.560	1.655	3.545
	(STRAIN)		1.984E-04	2.081E-04	-1.003E-04	-1.003E-04
2	0.00000	0.02521	550.000	467.344	346.871	437.656
	(STRAIN)		-1.261E-05	1.279E-04	-1.261E-05	9.331E-05
2	17.49970	0.02325	137.501	138.017	-181.162	-61.442
	(STRAIN)		1.465E-04	1.469E-04	-1.324E-04	-1.324E-04
2	17.50000	0.02325	137.499	138.015	-181.174	-61.449
	(STRAIN)		1.465E-04	1.469E-04	-1.324E-04	-1.324E-04
2	47.50000	0.01805	34.918	34.974	-58.065	-49.057
	(STRAIN)		1.448E-04	1.449E-04	-1.063E-04	-1.063E-04
2	47.50030	0.01805	34.918	35.071	1.657	4.036
	(STRAIN)		2.152E-04	2.167E-04	-1.063E-04	-1.063E-04
3	0.00000	0.02451	0.000	384.327	252.730	351.698
	(STRAIN)		-3.473E-05	1.188E-04	-3.473E-05	8.073E-05
3	17.49970	0.02319	121.224	121.224	-160.112	-8.682
	(STRAIN)		1.180E-04	1.180E-04	-1.282E-04	-1.282E-04
3	17.50000	0.02319	121.223	121.223	-160.121	-8.686
	(STRAIN)		1.180E-04	1.180E-04	-1.282E-04	-1.282E-04
3	47.50000	0.01816	35.331	35.331	-58.783	-49.876
	(STRAIN)		1.467E-04	1.467E-04	-1.074E-04	-1.074E-04
3	47.50030	0.01816	35.331	35.331	1.656	4.144
	(STRAIN)		2.181E-04	2.181E-04	-1.074E-04	-1.074E-04

Activate Windows

Lampiran 6 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting Dengan Penambahan aspal Ac-Wc Tebal 6 cm.

```
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM
NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) =  1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) =  1
TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- =  0.001
NUMBER OF LAYERS (NL)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 6  17.5  30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4  0.4  0.35  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  23.4997  23.5  53.5  53.5003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.600E+06   2  1.600E+06
   3  5.000E+05   4  1.500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0.000   0.000  2   0.000  10.000
  3   0.000  16.500
```

Activate Windows

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02319	550.000	819.880	747.245	810.170
	(STRAIN)		5.951E-05	1.231E-04	5.952E-05	1.146E-04
1	23.49970	0.01900	100.594	102.121	-163.740	-123.673
	(STRAIN)		1.343E-04	1.357E-04	-9.695E-05	-9.695E-05
1	23.50000	0.01900	100.592	102.119	-163.748	-123.679
	(STRAIN)		1.343E-04	1.357E-04	-9.695E-05	-9.695E-05
1	53.50000	0.01517	24.734	24.993	-41.637	-35.248
	(STRAIN)		1.031E-04	1.038E-04	-7.610E-05	-7.610E-05
1	53.50030	0.01517	24.734	25.422	1.003	2.171
	(STRAIN)		1.533E-04	1.600E-04	-7.609E-05	-7.609E-05
2	0.00000	0.02169	550.000	475.335	346.869	445.964
	(STRAIN)		-1.353E-05	9.888E-05	-1.353E-05	7.317E-05
2	23.49970	0.01955	96.217	96.222	-159.805	-91.508
	(STRAIN)		1.230E-04	1.230E-04	-1.011E-04	-1.011E-04
2	23.50000	0.01955	96.216	96.221	-159.812	-91.513
	(STRAIN)		1.230E-04	1.230E-04	-1.011E-04	-1.011E-04
2	53.50000	0.01558	26.340	26.380	-44.422	-39.064
	(STRAIN)		1.111E-04	1.112E-04	-7.996E-05	-7.996E-05
2	53.50030	0.01558	26.340	26.448	0.976	2.375
	(STRAIN)		1.652E-04	1.663E-04	-7.996E-05	-7.996E-05
3	0.00000	0.02115	0.000	391.096	252.729	360.070
	(STRAIN)		-2.984E-05	9.123E-05	-2.984E-05	6.409E-05
3	23.49970	0.01960	91.846	91.846	-154.105	-74.439
	(STRAIN)		1.145E-04	1.145E-04	-1.007E-04	-1.007E-04
3	23.50000	0.01960	91.845	91.845	-154.111	-74.443
	(STRAIN)		1.145E-04	1.145E-04	-1.007E-04	-1.007E-04
3	53.50000	0.01565	26.632	26.632	-44.935	-39.747
	(STRAIN)		1.125E-04	1.125E-04	-8.069E-05	-8.069E-05
3	53.50030	0.01565	26.631	26.631	0.969	2.418
	(STRAIN)		1.674E-04	1.674E-04	-8.069E-05	-8.069E-05

Activate Windows

Lampiran 7 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting Dengan Penambahan aspal Ac-Wc Tebal 8 cm.

```
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)------------- =  4
NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)------ =  5
LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- =  80
COMPUTING CODE (NSTD)------------- =  9
SYSTEM OF UNITS (NUNIT)------------=  1

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 8  17.5  30
POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0.4  0.4  0.35  0.45
VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE:  0  25.4997  25.5  55.5  55.5003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.600E+06   2  1.600E+06
   3  5.000E+05   4  1.500E+05

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

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE:  1   0.000   0.000  2   0.000  10.000
  3   0.000  16.500

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

Activate Windows

NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS (STRAIN)	PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	PRINCIAL STRESS (STRAIN)	P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02249	550.000	805.618	747.237	796.617
	(STRAIN)		6.647E-05	1.175E-04	6.646E-05	1.097E-04
1	25.49970	0.01813	88.889	90.396	-150.943	-114.414
	(STRAIN)		1.215E-04	1.228E-04	-8.833E-05	-8.833E-05
1	25.50000	0.01813	88.887	90.394	-150.949	-114.419
	(STRAIN)		1.215E-04	1.228E-04	-8.834E-05	-8.834E-05
1	55.50000	0.01462	22.999	23.231	-38.794	-33.129
	(STRAIN)		9.618E-05	9.681E-05	-7.066E-05	-7.066E-05
1	55.50030	0.01462	22.999	23.617	0.894	1.923
	(STRAIN)		1.430E-04	1.490E-04	-7.066E-05	-7.066E-05
2	0.00000	0.02095	550.000	461.241	346.870	433.859
	(STRAIN)		-6.981E-06	9.309E-05	-6.981E-06	6.913E-05
2	25.49970	0.01867	87.223	87.253	-150.889	-93.026
	(STRAIN)		1.155E-04	1.155E-04	-9.286E-05	-9.286E-05
2	25.50000	0.01867	87.222	87.252	-150.895	-93.031
	(STRAIN)		1.155E-04	1.155E-04	-9.286E-05	-9.286E-05
2	55.50000	0.01499	24.440	24.476	-41.301	-36.630
	(STRAIN)		1.034E-04	1.035E-04	-7.410E-05	-7.410E-05
2	55.50030	0.01499	24.440	24.538	0.864	2.081
	(STRAIN)		1.538E-04	1.547E-04	-7.409E-05	-7.409E-05
3	0.00000	0.02041	0.000	377.484	252.730	349.095
	(STRAIN)		-2.369E-05	8.547E-05	-2.369E-05	6.063E-05
3	25.49970	0.01873	84.378	84.378	-147.311	-81.039
	(STRAIN)		1.098E-04	1.098E-04	-9.290E-05	-9.290E-05
3	25.50000	0.01873	84.377	84.377	-147.317	-81.043
	(STRAIN)		1.098E-04	1.098E-04	-9.291E-05	-9.291E-05
3	55.50000	0.01505	24.702	24.702	-41.765	-37.264
	(STRAIN)		1.047E-04	1.047E-04	-7.474E-05	-7.474E-05
3	55.50030	0.01505	24.702	24.702	0.857	2.114
	(STRAIN)		1.558E-04	1.558E-04	-7.474E-05	-7.474E-05

Lampiran 8 Hasil Analisis Program *KENPAVE* Pada Perkerasan Eksisting Dengan Penambahan aspal Tebal 10 cm.

```
NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

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

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

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 12  10  7.5  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  29.5997  29.5  59.5  59.5003
ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE :    1  1.200E+06   2  1.200E+06
   3  1.600E+06   4  5.000E+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
```

Activate Windows
Go to Settings to activate Window

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0.00000	0.02364	550.000	804.321	796.028	803.568
	(STRAIN)		1.380E-04	1.371E-04	1.274E-04	1.276E-04
1	29.59970	0.01727	77.163	80.452	-11.943	-4.305
	(STRAIN)		1.634E-04	1.723E-04	-7.719E-05	-7.719E-05
1	29.50000	0.01728	77.571	79.086	-132.337	-99.973
	(STRAIN)		1.062E-04	1.075E-04	-7.749E-05	-7.749E-05
1	59.50000	0.01409	21.435	21.644	-35.971	-30.919
	(STRAIN)		8.955E-05	9.011E-05	-6.545E-05	-6.545E-05
1	59.50030	0.01409	21.436	21.993	0.890	1.802
	(STRAIN)		1.332E-04	1.385E-04	-6.545E-05	-6.545E-05
2	0.00000	0.02111	550.000	403.741	346.868	382.559
	(STRAIN)		2.696E-05	9.331E-05	2.696E-05	6.859E-05
2	29.59970	0.01780	78.457	78.644	-12.852	1.880
	(STRAIN)		1.645E-04	1.650E-04	-8.207E-05	-8.207E-05
2	29.50000	0.01781	78.799	78.882	-136.191	-89.862
	(STRAIN)		1.057E-04	1.058E-04	-8.237E-05	-8.237E-05
2	59.50000	0.01443	22.743	22.776	-38.241	-34.146
	(STRAIN)		9.613E-05	9.622E-05	-6.852E-05	-6.852E-05
2	59.50030	0.01443	22.743	22.832	0.863	1.927
	(STRAIN)		1.430E-04	1.438E-04	-6.852E-05	-6.852E-05
3	0.00000	0.02035	0.000	320.216	252.729	299.766
	(STRAIN)		3.947E-06	8.268E-05	3.947E-06	5.882E-05
3	29.59970	0.01788	77.204	77.204	-12.996	3.589
	(STRAIN)		1.610E-04	1.610E-04	-8.255E-05	-8.255E-05
3	29.50000	0.01789	77.510	77.510	-134.818	-83.188
	(STRAIN)		1.029E-04	1.029E-04	-8.284E-05	-8.284E-05
3	59.50000	0.01449	22.982	22.982	-38.662	-34.738
	(STRAIN)		9.734E-05	9.734E-05	-6.910E-05	-6.910E-05
3	59.50030	0.01449	22.982	22.982	0.856	1.952
	(STRAIN)		1.448E-04	1.448E-04	-6.909E-05	-6.909E-05

Activate Windows

Lampiran 9 Analisis Harga Satuan Kota Yogyakarta

Analisa EI 316

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA	0			
No. PAKET KONTRAK	0			
NAMA PAKET	0			
	0			
PROP / KAB / KODYA	0			
ITEM PEMBAYARAN NO.	: 3.1.(6)	PERKIRAAN VOL. PEK.	:	0,00
JENIS PEKERJAAN	: Galian Perkerasan Beraspal dengan	TOTAL HARGA (Rp.)	:	0,00
SATUAN PEMBAYARAN	: M3	% THD. BIAYA PROYEK	:	0,00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0,8606	7.800,00	6.712,56
2.	Mandor	(L03)	Jam	0,1434	9.642,86	1.383,08
				JUMLAH HARGA TENAGA		8.095,65
B.	**BAHAN**					
				JUMLAH HARGA BAHAN		0,00
C.	**PERALATAN**					
1.	Cold Milling	(E36)	Jam	0,1434	995.209,28	142.743,73
2	Dump Truck	(E08)	Jam	0,4165	226.237,55	94.232,34
3.	Alat bantu		Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
				JUMLAH HARGA PERALATAN		286.976,07
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					295.071,72
E.	OVERHEAD & PROFIT		15,0	% x D		44.260,76
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					339.332,47

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.

2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang

3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.

4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Analisa EI 33

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA	0			
No. PAKET KONTRAK	0			
NAMA PAKET	0			
	0			
PROP / KAB / KODYA	0			
ITEM PEMBAYARAN NO.	: 3.3	PERKIRAAN VOL. PEK.	:	0,00
JENIS PEKERJAAN	: Penyiapan Badan Jalan (Pemadatar	TOTAL HARGA (Rp.)	:	0,00
SATUAN PEMBAYARAN	: M2	% THD. BIAYA PROYEK	:	0,00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0,0161	7.800,00	125,30
2.	Mandor	(L03)	Jam	0,0040	9.642,86	38,73
				JUMLAH HARGA TENAGA		164,03
B.	**BAHAN**					
				JUMLAH HARGA BAHAN		0,00
C.	**PERALATAN**					
1.	Motor Grader	E13	Jam	0,0025	544.930,98	1.367,80
2.	Vibratory Roller	E19	Jam	0,0040	400.249,59	1.607,43
3.	Water Tank Truck	E23	Jam	0,0105	343.426,55	3.620,46
4.	Alat Bantu		Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
				JUMLAH HARGA PERALATAN		56.595,69
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					56.759,71
E.	OVERHEAD & PROFIT		15,0 % x D			8.513,96
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					65.273,67

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.

2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang

3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.

4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Analisa EI 611

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA	0			
No. PAKET KONTRAK	0			
NAMA PAKET	0			
	0			
PROP / KAB / KODYA	0			
ITEM PEMBAYARAN NO.	: 6.1 (1)(a)	PERKIRAAN VOL. PEK.	:	0,00
JENIS PEKERJAAN	: Lapis Resap Pengikat (Prime Coat)	TOTAL HARGA (Rp.)	:	0,00
SATUAN PEMBAYARAN	: Liter	% THD. BIAYA PROYEK	:	0,00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0,0301	7.800,00	234,94
2.	Mandor	(L03)	Jam	0,0060	9.642,86	58,09
				JUMLAH HARGA TENAGA		293,03
B.	**BAHAN**					
1.	Aspal	(M10)	Kg	0,6417	9.920,00	6.365,33
2.	Kerosene	(M11)	liter	0,4889	11.157,00	5.454,53
				JUMLAH HARGA BAHAN		11.819,87
C.	**PERALATAN**					
1.	Asphalt Sprayer	E03	Jam	0,0030	80.596,26	242,76
2.	Compressor	E05	Jam	0,0031	240.475,20	751,49
3.	Dump Truck	E08	Jam	0,0030	226.237,55	681,44
				JUMLAH HARGA PERALATAN		1.675,68
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					13.788,58
E.	OVERHEAD & PROFIT		15,0 % x D			2.068,29
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					15.856,87

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.

2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang

3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.

4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Analisa EI 637a

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA	0			
No. PAKET KONTRAK	0			
NAMA PAKET	0			
	0			
PROP / KAB / KODYA	0			
ITEM PEMBAYARAN NO.	: 6.3(7a)	PERKIRAAN VOL. PEK.	:	0,00
JENIS PEKERJAAN	: Laston Lapis Pondasi (AC-Base)	TOTAL HARGA (Rp.)	:	0,00
SATUAN PEMBAYARAN	: Ton	% THD. BIAYA PROYEK	:	0,00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0,2410	7.800,00	1.879,52
2.	Mandor	(L03)	Jam	0,0241	9.642,86	232,36
				JUMLAH HARGA TENAGA		2.111,88
B.	**BAHAN**					
1	Agr 20-30	(M93)	M3	0,1701	190.999,76	32.483,41
2	Agr 5-10 & 10-20 & 20-30	(M92)	M3	0,7738	190.999,76	147.799,52
3	Agr 0-5	(M91)	M3	0,5784	190.999,76	110.468,42
4	Asphalt	(M10)	Kg.	50,4700	9.920,00	500.662,40
5	Semen	(M12)	Kg.	21,0000	1.375,00	28.875,00
				JUMLAH HARGA BAHAN		820.288,75
C.	**PERALATAN**					
1.	Wheel Loader	E15	Jam	0,0059	481.296,47	2.837,44
2.	AMP	E01	Jam	0,0241	5.825.340,33	140.369,65
3.	Genset	E12	Jam	0,0241	442.040,53	10.651,58
4.	Dump Truck	E09	Jam	0,1169	481.041,11	56.215,82
5.	Asphalt Finisher	E02	Jam	0,0074	619.066,69	4.575,50
6.	Tandem Roller	E17	Jam	0,0062	378.325,98	2.348,80
7	P. Tyre Roller	E18	Jam	0,0073	390.936,72	2.847,43
8	Alat Bantu		Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
				JUMLAH HARGA PERALATAN		269.846,22
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					1.092.246,84
E.	OVERHEAD & PROFIT		15,0	% x D		163.837,03
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					1.256.083,87

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.

2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang

3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.

4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Analisa EI 612

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA	0		
No. PAKET KONTRAK	0		
NAMA PAKET	0		
	0		
PROP / KAB / KODYA	0		
ITEM PEMBAYARAN NO.	: 6.1 (2)	PERKIRAAN VOL. PEK.	: 0.00
JENIS PEKERJAAN	: Lapis Perekat (Tack Coat)	TOTAL HARGA (Rp.)	: 0.00
SATUAN PEMBAYARAN	: Liter	% THD. BIAYA PROYEK	: 0.00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0.0301	7,800.00	234.94
2.	Mandor	(L03)	Jam	0.0060	9,642.86	58.09
				JUMLAH HARGA TENAGA		293.03
B.	**BAHAN**					
1.	Aspal	(M10)	Kg	0.8885	9,920.00	8,813.54
2.	Kerosene	(M11)	liter	0.2538	11,157.00	2,832.16
				JUMLAH HARGA BAHAN		11,645.70
C.	**PERALATAN**					
1.	Asphalt Sprayer	E03	Jam	0.0030	80,596.26	242.76
2.	Compressor	E05	Jam	0.0063	240,475.20	1,502.97
3.	Dump Truck	E08	Jam	0.0030	226,237.55	681.44
				JUMLAH HARGA PERALATAN		2,427.17
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					14,365.90
E.	OVERHEAD & PROFIT			15.0 % x D		2,154.88
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					16,520.78

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.

2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang

3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.

4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Analisa EI 634

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA : 0
No. PAKET KONTRAK : 0
NAMA PAKET : 0

PROP / KAB / KODYA : 0
ITEM PEMBAYARAN NO. : 6.3(4)
JENIS PEKERJAAN : Laston (AC)
SATUAN PEMBAYARAN : Ton

PERKIRAAN VOL. PEK. : 0.00
TOTAL HARGA (Rp.) : 0.00
% THD. BIAYA PROYEK : 0.00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0.2410	7,800.00	1,879.52
2.	Mandor	(L03)	Jam	0.0241	9,642.86	232.36
				JUMLAH HARGA TENAGA		2,111.88
B.	**BAHAN**					
1.	Agregat Kasar	(M03)	M3	0.8408	190,999.76	160,594.99
2.	Agregat Halus	(M04)	M3	0.3713	190,999.76	70,908.66
3.	Filler	(M05)	Kg.	53.3500	1,375.00	73,356.25
4.	Aspal	(M10)	Kg.	73.5000	9,920.00	729,120.00
				JUMLAH HARGA BAHAN		1,033,979.90
C.	**PERALATAN**					
1.	Wheel Loader	E15	Jam	0.0107	481,296.47	5,158.99
2.	AMP	E01	Jam	0.0241	5,825,340.33	140,369.65
3.	Genset	E12	Jam	0.0241	442,040.53	10,651.58
4.	Dump Truck	E09	Jam	0.1320	481,041.11	63,517.40
5.	Aspal Finisher	E02	Jam	0.0142	619,066.69	8,769.71
6.	Tandem Roller	E17	Jam	0.0071	378,325.98	2,701.12
7	Pneumatic Tyre Roller	E18	Jam	0.0102	390,936.72	3,987.37
8	Alat Bantu		Ls	1.0000	50,000.00	50,000.00
				JUMLAH HARGA PERALATAN		285,155.81
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					1,321,247.58
E.	OVERHEAD & PROFIT 15.0 % x D					198,187.14
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					1,519,434.72

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.
2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang
3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.
4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Analisa EI 633

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

SATUAN KERJA : 0
No. PAKET KONTRAK : 0
NAMA PAKET : 0

PROP / KAB / KODYA : 0
ITEM PEMBAYARAN NO. : 6.3(3)
JENIS PEKERJAAN : Lasbon (HRS)
SATUAN PEMBAYARAN : Ton

PERKIRAAN VOL. PEK. : 0.00
TOTAL HARGA (Rp.) : 0.00
% THD. BIAYA PROYEK : 0.00

NO.	KOMPONEN		SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0.1687	7,800.00	1,315.66
2.	Mandor	(L03)	Jam	0.0241	9,642.86	232.36
				JUMLAH HARGA TENAGA		1,548.02
B.	**BAHAN**					
1.	Agregat Kasar	(M03)	M3	0.4038	190,999.76	77,129.69
2.	Agregat Halus	(M04)	M3	0.7734	190,999.76	147,723.46
3.	Filler	(M05)	Kg.	71.4351	1,375.00	98,223.26
4.	Aspal	(M10)	Kg.	78.8130	9,920.00	781,824.96
				JUMLAH HARGA BAHAN		1,104,901.37
C.	**PERALATAN**					
1.	Wheel Loader	E15	Jam	0.0113	481,296.47	5,462.46
2.	AMP	E01	Jam	0.0241	5,825,340.33	140,369.65
3.	Genset	E12	Jam	0.0241	442,040.53	10,651.58
4.	Dump Truck	E09	Jam	0.1169	481,041.11	56,215.82
5.	Aspal Finisher	E02	Jam	0.0190	619,066.69	11,745.14
6.	Tandem Roller	E17	Jam	1.5000	378,325.98	567,488.96
7	Pneumatic Tyre Roller	E18	Jam	0.0074	390,936.72	2,875.51
8	Alat Bantu		Ls	1.0000	50,000.00	50,000.00
				JUMLAH HARGA PERALATAN		844,809.11
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					1,951,258.50
E.	OVERHEAD & PROFIT 15.0 % x D					292,688.78
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					2,243,947.28

Note: 1 SATUAN dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.
2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang
3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.
4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.