TUGAS AKHIR

EVALUASI DAN USULAN ALTERNATIF STRUKTUR PERKERASAN PADA RUAS JALAN CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN (*EVALUATION AND SUGGEST ALTERNATIVE THE PERFORMANCE OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES ON THE CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN ROAD SECTION*)

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

MUHAMMAD GHIFARY AZRA

19511036

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

EVALUASI DAN USULAN ALTERNATIF STRUKTUR PERKERASAN PADA RUAS JALAN CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN (*EVALUATION AND SUGGEST ALTERNATIVE THE PERFORMANCE OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES ON THE CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN ROAD SECTION*)

Disusun Oleh

Muhammad Ghifary Azra
19511036

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

Diuji pada tanggal 22 September 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	**Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.**	**Dr. Eng. Faizul Chasanah. S.T., M.Sc.**
NIP : 95511013	**NIP :215111307**	**NIP : 145110101**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

25/9/2025

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian salah satu syarat di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan 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 Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Ghifary Azra

(19511036)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis selalu memanjatkan kepada Allah SWT, Atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, ada banyak cobaan yang dialami penulis, tetapi dengan kegigihan, semangat, kritik serta motivasi, dan saran yang sangat berpengaruh terhadap penulis dari lingkungan, Orang Tua, teman teman serta Dosen Pembimbing, *Alhamdulillah* terselesaikan dengan baik. Untuk itu, Penulis ingin menyampaikan terimakasih yang sangat besar kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.selaku Dosen Penguju I,
3. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.selaku Dosen Penguji II,
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Hj. Irwan Kurniawan dan Ibu Hj. Dewi Ambarwaty., sebagai ayah dan ibu dari penulis yang sudah membantu dari mulai materi, doa, serta motivasi
6. Teman – teman yang selalu membantu dalam susah maupun senang.

Dengan selesainya tugas akhir ini semoga dapat memberi manfaat yang banyak bagi kita semua.

Yogyakarta, 22 September 2025
Penulis,



Muhammad Ghifary Azra
19511036

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN ii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xii

DAFTAR NOTASI xiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 2

BAB II TINJAUAN PUSAKA 4

2.1 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Menggunakan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 4

2.2 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Dengan *Software KENPAVE* dan Umur Sisa Layan 5

BAB III LANDASAN TEORI 11

3.1 Desain Perkerasan Lentur Bina Marga 2017 11

3.1.1 Menghitung Lalu Lintas Harian 11

3.1.2 Penentuan Struktur Perkerasan dan Desain Tebal Perkerasan 17

3.2 Desain Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993 18

3.2.1 Structural *Number* (SN) 18
3.2.2 Lalu Lintas (*Traffic*) 19
3.2.3 Kinerja Jalan (*Pavement Perfomance*) 19
3.2.4 Reliabilitas (R) dan Simpang Baku Keseluruhan (SO) 20
3.2.5 Lintas Ekivalen Permulaan (LEP) 21
3.2.6 Lintas Ekivalen Selama Umur Rencana (W18) 22
3.2.7 Faktor Drainase 22
3.2.8 Koefisien Relatif Lapisan (a) 24
3.3 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris 28
3.3.1 Permodelan Lapis Perkerasan 29
3.4 Program *KENPAVE* 30
3.4.1 *Data Path* 31
3.4.2 *File Name* 31
3.4.3 *Help* 31
3.4.*4 LAYERINP* atau *SLABINP*. 32
3.5 *KENLAYER* atau *KENSLAB* 32
3.5.1 *Program KENLAYER* 32
3.5.2 *File* 33
3.5.3 *General* 33
3.5.4 Zcoord 33
3.5.5 *Layer* 34
3.5.6 *Interface* 35
3.5.7 *Modul* 35
3.5.8 *Load* 36
3.6 Analisis Kerusakan Perkerasan 39

3.7 Nilai Sisa Umur Layan 41

3.8 Karakteristik Material 41

BAB IV METODE PENELITIAN 43

4.1 Lokasi Penelitian 43

4.2 Teknik Pengumpulan Data 44

4.3 Analisis Data 44

4.4 Bagan Alur Penelitian (*Flow Chart*) 46

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 48

5.1 Perhitungan Tebal Tiap Lapisan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017 48

5.1.1 Data Penelitian 48

5.1.2 Data Tebal Tiap Lapis Perkerasan Rekonstruksi 48

5.1.3 Kondisi Ruas Jalan 48

5.1.4 Data Lalu Lintas Harian 49

5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas 49

5.1.6 Menentukan Tebal tiap Lapis Perkerasan menggunakan Metode Bina Marga 2017 53

5.2 Perhitungan Tebal Tiap Lapisan Struktur Perkerasan dengan Metode *AASHTO 1993* 56

5.3 Evaluasi Tebal Setiap Lapis Struktur Menggunakan *KENPAVE* 61

5.3.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan Program *KENPAVE* dengan Permodelan Viskoelastik. 62

5.4 Evaluasi Desain Perkerasan Dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 Program *KENPAVE.* 72

5.4.1 Desain Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017. 72

5.5 Evaluasi Alternatif Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 75

5.5.1 Evaluasi Alternatif Menggunakan Bina Marga 2017 Dengan Desain *CTB* 75

5.5.2 Evaluasi Alternatif Menggunakan *AASHTO* 1993 78

5.5.3 Penggantian Material Pada Alternatif *AASHTO* 1993 80

5.6 Pembahasan 83

5.6.1 Desain Struktur Eksisting Perkerasan Lentur Ruas Pada ruas Jalan Cipatujah –Kalapagenep-Pangandaran Desain Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017 83

5.6.2 Tegangan dan Regangan Yang Terjadi Pada Struktur Perkerasan Lentur Dianalisis Menggunakan Program *KENPAVE* Dengan Pendekatan Viskoelastik 85

5.6.3 Desain Alternatif Struktur Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran Dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 87

5.6.4 Perbandingan Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan 89

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 93

6.1 Kesimpulan 93

6.2 Saran 94

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 7
Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR) 12
Tabel 3.2 Faktor Pertumbuhan Lalu lintas (i) minimum untuk Desain 12
Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL) 13
Tabel 3.4 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga 15
Tabel 3.5 Nilai VDF Masing – Masing Jenis Kendaraan 16
Tabel 3.6 Pemilihan Jenis Perkerasan 17
Tabel 3. 7 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan *CTB* 18
Tabel 3. 8 Faktor Distribusi Arah (DL) 19
Tabel 3. 9 Indeks Kemampuan Pelayanan Akhir (Pt) 20
Tabel 3. 10 Tingkat Realibilitas 20
Tabel 3. 11 Nilai Simpang Baku Normal (ZR) 21
Tabel 3. 12 Kualitas Drainase 23
Tabel 3. 13 Nilai Koefisien Drainase 23
Tabel 3. 14 Koefisien Lapisan (a_i) 24
Tabel 3. 15 Nilai Modulus (ESB dalam PSI) untuk pondasi 26
Tabel 3. 16 Nilai ESB untuk Pondasi Bawah 27
Tabel 3. 17 Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio* 30
Tabel 5. 1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting 48
Tabel 5. 2 Kondisi Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran 49
Tabel 5. 3 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas jalan Cipatujah-Kalapagenep –Pangandaran 49
Tabel 5. 4 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan 50
Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai *CESA* 4 51
Tabel 5. 6 Perhitungan Nilai *CESA* 5 52
Tabel 5. 7 Rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* Setiap Tahun 53
Tabel 5. 8 Pemilihan Jenis Perkerasan 54

Tabel 5. 9 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB 55
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan 62
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan 62
Tabel 5. 12 Data Masukan pada Menu *General* 63
Tabel 5. 13 Data *Input Layer* 65
Tabel 5. 14 Data *Input Moduli* 65
Tabel 5. 15 Data *Input Load* 66
Tabel 5. 16 Menu *General* Dengan Pendakatan *Viscoelastic* 68
Tabel 5. 17 *Time of Duration for Creep Compliance* 68
Tabel 5. 18 Nilai *Creep Compliance* 69
Tabel 5. 19 *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viskoelastik-Eksisting 70
Tabel 5. 20 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik 71
Tabel 5. 21 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Eksisting (%) 72
Tabel 5. 22 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* 72
Tabel 5. 23 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* dengan Pendekatan *Viscoelastic* 73
Tabel 5. 24 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* (%) Dengan Pemodelan *Viscoelastic* 73
Tabel 5. 25 Nilai Vertical dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastic AASHTO 1993 74
Tabel 5. 26 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan *AASHTO* 1993 dengan 74
Tabel 5. 27 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan *AASHTO* 1993(%) 75
Tabel 5. 28 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Alternatif Bina Marga 2017 *CTB* 75
Tabel 5. 29 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif Bina Marga 2017 *CTB* Dengan Pendekatan *Viscoelastic* 76
Tabel 5. 30 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* (%) 76

Tabel 5. 31 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Alternatif *AASHTO* 1993 78
Tabel 5. 32 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif *AASHTO* 1993 dengan Pendekatan *Viscoelastic* 79
Tabel 5. 33 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif *AASHTO* 1993(%) 79
Tabel 5. 34 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Penggantian Material Desain Alternatif *AASHTO* 1993 81
Tabel 5. 35 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Penggantian Material Alternatif *AASHTO* 1993 dengan Pendekatan *Viscoelastic* 81
Tabel 5. 36 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Pergantian Material Desain Alternatif *AASHTO* 1993 (%) 81
Tabel 5. 37 Rekapitulasi Tebal Desain Perkerasan Bina Marga 2017 84
Tabel 5. 38 Rekapitulasi Tebal Desain Perkerasan *AASHTO* 1993 84
Tabel 5. 39 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum Pendekatan Viskoelastik Desain Eksisting 85
Tabel 5. 40 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik 86
Tabel 5. 41 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Bina Marga 2017 Dengan Pendekatan Viskoelastik 86
Tabel 5. 42 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain *AASHTO* 1993 Dengan Pendekatan Viskoelastik 87
Tabel 5. 43 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Alternatif Bina Marga 2017 Dengan Pendekatan Viskoelastik 87
Tabel 5. 44 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Alternatif *AASHTO* 1993 Dengan Pendekatan Viskoelastik 88
Tabel 5. 45 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Alternatif Penggantian Material *AASHTO* 1993 Dengan Pendekatan Viskoelastik 89
Tabel 5. 46 Rekapitulasi Repetisi Beban Hingga Rusak 90
Tabel 5. 47 Rekapitulasi Repetisi Beban Hingga Rusak 90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Perkiraan Kekuatan Lapis Permukaan Beton Aspal a_1 25

Gambar 3.2 Variasi Koefisen Lapis Pondasi Atas dengan Material Berbutir a_2 untuk Beberapa Jenis Parameter Kekuatan Pondasi 26

Gambar 3.3 Grafik Variasi Koefisien Realtif Lapis Pondasi Bawah a_3 27

Gambar 3.4 Sistem Lapis Banyak 29

Gambar 3.5 Tampilan *General Software Kenpave* 31

Gambar 3.6 Tampilan *LAYERINP* 32

Gambar 3.7 *KENPAVE Input* 33

Gambar 3.8 Tampilan *Input Menu Zcoord* 34

Gambar 3.9 Tampilan *Menu Layer* 34

Gambar 3.10 Tampilan Jendela *Interface* 35

Gambar 3.11 Tampilan Jendela *Moduli* 35

Gambar 3.12 *Tampilan Menu Moduli* 36

Gambar 3.13 Tampilan menu *Load* 36

Gambar 3. 14 Data Input Menu NR or NPT 37

Gambar 3.15 Tampilan *General* pada *Viscoelastic* 37

Gambar 3.16 Tampilan Jendela *Time* pada Menu *Viscoelastic* 38

Gambar 3.17 Tampilan Jendela *Layer* pada *Viscoelastic* 38

Gambar 3.18 Tampilan Jendela *Creep* pada Menu *Viscoelastic* 39

Gambar 3.13 Tampilan Jendela *Temperature* pada *Viscoelastic* 39

Gambar 4.2 Bagan Alur Penelitian (*Flow Chart*) 46

Gambar 5.1 Tebal Perkerasan Lentur dengan CTB 55

Gambar 5.2 Nilai *Modulus Resilient* (M_R) E_{AC} 57

Gambar 5.3 Nilai *Modulus Resilient* (M_R) LPA 58

Gambar 5.4 Nilai *Modulus Resilient* (M_R) LPB 59

Gambar 5.5 Tebal Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 61

Gambar 5.6 Tampilan Awal *KENPAVE* 63

Gambar 5.7 Titik Tinjauan Kerusakan 65

Gambar 5.8 Plan View of Multiple Wheels 66

Gambar 5.9 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia 67

Gambar 5.10 Letak Titik Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda 67

Gambar 5.11 Grafik *Remaining Life* Alternatif Bina Marga 2017 Dengan Perkerasan Pendekatan Viskoelastik 77

Gambar 5.12 Grafik *Remaining Life* Alternatif *AASHTO* 1993 Dengan Perkerasan Pendekatan Viskoelastik 82

DAFTAR NOTASI

AASHTO = *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AC BC = *asphalt concrete-binder course*

AC WC = *asphalt concrete-wearing course*

a = koefisien lapis perkerasan

CBR = *California Bearing Ratio*

CESA = *cummulative equivalent standard axle*

CTB = *Cement Treated Base*

CP = *contact pressure on circular coaded area*

CR = *contact radius of circular loaded area*

DCP = *dinamic cone penetration*

E = modulus elastisitas (kPa)

DD = faktor distribusi arah

DL = faktor distribusi lajur

ESAL = *equivalent standar axle load* (Ekuivalent Sumbu Tunggal Standar)

i = tingkat pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

LHRT = lalu lintas harian rata-rata tahunan

LPA = lapis pondasi atas

LPB = lapis pondasi bawah

Mr = modulus resilien tanah dasar

Nd = jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan deformasi permanen

Nf = jumlah repetisi beban yang memicu terjadinya kerusakan *fatigue cracking*

Nr = jumlah repetisi beban yang diizinkan

PSI = indeks pelayanan kinerja jalan

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas xiii

SN = *Structural Number*

UR = umur rencana (tahun)

VDF = *vehichle Damage Factor*

XW = *center to center spacing between two axles along the X axis*

Zr = simpangan baku

μ = *poisson ratio*

ε = regangan

τ = tegangan geser σ

σ = tegangan (Pa)

θ = jumlah tegangan pokok

ABSTRAK

Ruas Jalan Cipatujah - Kalapagenep – Pangandaran adalah salah satu jalan nasional yang memiliki ± 90 km. Seiring dengan meredanya pandemi Covid-19 serta meningkatnya jumlah wisatawan yang berkunjung ke Pangandaran sebagai salah satu destinasi unggulan, pemerintah berupaya meningkatkan kelayakan Jalan Nasional di wilayah tersebut pada tahun 2022, yang kemudian direncanakan dibuka pada awal tahun 2023. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi ketebalan setiap lapisan perkerasan dan mengalisis tegangan regangan, mengusulkan alternatif desain perkerasa,n dan membandingkan setiap desain perkerasan supaya menghasilkan desain perkerasan yang efektif dan efisien.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode yang dipedomani dari data desain eksisting yang merupakan metode Bina Marga 2017 dan menggunakan metode *AASHTO* 1993 untuk perbandingan hasil yang lebih layak. Pada desain Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* dan metode *AASHTO* 1993 menggunakan material dari data yang sudah disesuaikan. Dari kedua metode yang sudah direncanakan, dievaluasi menggunakan *Software KENPAVE* untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan pada setiap desain perkerasan serta mengetahui prediksi kerusakan yang terjadi, maka dari itu akan mendapatkan sisa umur layan pada setiap kerusakan.

Hasil penelitian yang sudah dilakukan perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas untuk umur rencana yang sudah ditetapkan. Dengan demikian, dibutuhkan desain perkerasan alternatif dari setiap metode agar mampu menahan beban lalu lintas tersebut dan sesuai dengan umur rencana. Pada metode alternatif Bina Marga 2017 yang sudah dianalisis menggunakan *KENPAVE* lapisan yang digunakan *AC-WC* 40 mm, *AC-BC* 450 mm, *CTB* 150 mm dan LPA 150 mm. Pada alternatif penggantian material *AASHTO* 1993 yang sudah dianalisis menggunakan *KENPAVE* lapisan yang digunakan *AC-WC* 40 mm, *AC-BC* 100 mm, *AC BASE* 200 mm dan LPA 250 mm. Hasil yang optimal didapatkan pada desain perkerasan alternatif penggantian material *AASHTO* 1993 dikarenakan memiliki tebal yang paling efektif dan efisien dibandingkan dengan metode Bina Marga 2017.

Kata Kunci : Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993, Tegangan Regangan, *KENPAVE*, Umur Layan

ABSTRACT

The Cipatujah - Kalapagenep – Pangandaran road section is one of the national roads that spans approximately 90 km. Given that the impact of the Covid-19 pandemic has decreased and Pangandaran is a popular tourist destination, the government aims to improve the feasibility of this national road in 2022, with the road opening planned for early 2023. This study was conducted to evaluate the thickness of each pavement layer and analyze the stress-strain, propose alternative pavement designs, and compare each design to generate an effective and efficient pavement design.

This research was carried out using methods based on existing design data, following the 2017 Bina Marga guidelines and the AASHTO 1993 method for comparison to achieve more suitable results. The Bina Marga 2017 design used CTB, while the AASHTO 1993 method used materials adjusted based on the available data. Both planned methods were evaluated using the KENPAVE software to obtain stress and strain values for each pavement design and to predict the potential damage, which would help determine the remaining service life of each pavement condition.

The results of the study show that the existing pavement cannot withstand traffic loads for the planned service life. Therefore, alternative pavement designs from each method are needed to bear the traffic load and meet the planned service life. The alternative Bina Marga 2017 method, analyzed using KENPAVE, consists of layers of AC-WC 40 mm, AC-BC 450 mm, CTB 150 mm, and LPA 150 mm. For the alternative AASHTO 1993 material replacement method, analyzed with KENPAVE, the layers used are AC-WC 40 mm, AC-BC 100 mm, AC BASE 200 mm, and LPA 250 mm. The optimal result was achieved with the AASHTO 1993 material replacement method because it had the most effective and efficient thickness compared to the Bina Marga 2017 method.

Keywords: Bina Marga 2017, AASHTO 1993, Stress-Strain, KENPAVE, Service Life

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang mencakup seluruh jenis jalan yang berisi dari mulai struktur jalan serta pelengkap jalannya yang digunakan sebagai sarana lalu lintas transportasi darat. Sebagai prasarana transportasi, jalan mempunyai peran dalam beberapa bidang seperti, bidang ekonomi, sosial budaya, lingkungan hidup, politik dan pertahanan keamanan. Kondisi saat ini tingkat kelayakan jalan nasional sebesar 90 %, sedangkan sasaran keinginan pemerintah pada tahun 2019 untuk jalan nasional menargetkan tingkat kemantapan 98 % dari total panjang jalan nasional non tol 47.017 km (Direktorat Preservasi Jalan, 2016).

Ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran adalah salah satu jalan nasional yang memiliki ± 90 km. Dilihat dari keadaan musibah Covid-19 yang sudah berkurang, dan juga Pangandaran merupakan suatu objek wisata yang banyak dikunjungi, Pemerintah ingin meningkatkan kelayakan Jalan Nasional tersebut pada tahun 2022 hingga pembukaan jalan pada awal 2023, perkersasan eksisting direkontruksi diganti dengan desain eksisting jalan dengan ketebalan AC-WC sebesar 4 cm, AC-BC sebesar 6 cm, LPA sebesar 15 cm. Dengan itu diadakannya Proyek Preservasi Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran. Dengan adanya Proyek tersebut, maka akan ada *design* untuk memperbaiki Jalan agar menjadi lebih baik. Kemudian, berdasarkan desain tersebut penulis akan menganalisis perkerasan lentur yang sudah direncanakan menggunakan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 kemudian dilanjutkan dengan menghitung respon tegangan, regangan menggunakan *Software KENPAVE.*

Analisis *KENPAVE* merupakan perangkat lunak yang menggabungkan perkakas fleksibel kenolf dan perkerasan kaku kenslab, memungkinkan pengguna elastis linier, nonlinier dan sifat viskoelastik bahan untuk lapisan yang berbeda (Loulizi dkk., 2006). Hasil dari analisis tersebut adalah untuk mengevaluasi *design* yang sudah ada.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana ketebalan dari tiap lapis perkerasan pada Ruas Jalan Cipatujah - Kalapagenep – Pangandaran dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 ?
2. Berapa nilai tegangan dan regangan yang dianalisis menggunakan *Software KENPAVE* dengan acuan beban lalu lintas yang ada?
3. Bagaimana ketebalan dari tiap lapisan perkerasan Ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran yang optimal berdasarkan analisis *KENPAVE*?
4. Bagaimana hasil dari perhitungan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 yang dianalisis menggunakan *Software KENPAVE* apakah sudah sesuai dengan umur rencana yang sudah direncanakan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menghitung ketebalan setiap lapis perkerasan Ruas Jalan Cipatujah – Kalapaagenep – Pangandaran dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO 1993*
2. Menganalisis nilai tegangan dan regangan setiap lapisan akibat beban lalu lintas menggunakan *Software KENPAVE*
3. Menganalisis dan mengusulkan alternatif tebal perkerasan dengan software Kenpave berdasar desain dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993
4. Mengevaluasi dan membandingkan umur layan perkerasan, nilai sisa perkerasan dan prediksi kerusakan pada kondisi eksisting dan usullan alternatif desain dengan menggunakan software Kenpave.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilaksanakan oleh penulis, sebagai berikut:

1. Menemukan beberapa alternatifdan referensi untuk menentukan metode yang akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan jalan

2. Mengembangkan ilmu dan infirmasi untuk metode analisis perkerasan dengan menggunakan Bina Marga 2017 dan *AASHTO 1993*
3. Mengembangkan ilmu dan informasi tentang perhitungan tegangan dan regangan pada perkerasan jalan menggunakan *software KENPAVE*

1.5 Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan dalam pembahasan untuk penelitian disesuaikan dengan masalah yang ada.

1. Lokasi penelitian dilaksanakan pada ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran Jawa Barat pada STA 52+00 samai dengan 53+200.
2. Data yang dipakai dalam penelitian ini beracuan dari data sekunder yang didapatkan dari P2JN Jawa Barat.
3. Perhitungan ulang desain tebal lapis perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993.
4. Perhitungan tegangan regangan dan sisa umur rencana menggunakan metode mekanistik – empiris program *KENPAVE* dengan pemodelan viskoelastik.
5. Penelitian yang dibahas hanya sampai hasil nilai kondisi, respon tegangan dan regangan yang diakibatkan beban lalu lintas dan memprediksi sisa umur layan.

BAB II
TINJAUAN PUSAKA

2.1 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Menggunakan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993

Perkerasan lentur Jalan Kedah – Kong Bur (STA 2+00 – STA 4+000) dievaluasi perkerasan lenturnya, agar diketahui tebal yang optimal dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 oleh Mawaddah (2021). Metode Bina Marga 2017 yang digunakan oleh penerbit untuk mengevaluasi tebal setiap lapis perkerasannya mendapatkan ketebalan tiap lapis dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 yaitu AC – WC 4 cm, AC – BC 6 cm, LPA 40 cm LPB 0 cm, dan Timbunan Pilihan 10 cm. Evaluasi Metode *AASHTO* 1993 yang digunakan oleh penerbit menghasilkan *Surface* 7 cm, *Base Course* 18 cm, dan *Subbas Course* 20 cm. Eksisting jalan Denggung – Wonorejo dievaluasi menggunakan metode Bina Marga 2017 dan Metode *AASHTO* 1993 oleh Ottu dkk (2023). Dengan didapatkan hasil dari Metode Bina Marga 2017 AC – WC 4 cm, AC – BC 6 cm, AC *Base* 12.5 cm, *CTB* 15 cm, LPA 15 cm. Sedangkan untuk perhitungan menggunakan metode *AASHTO* 1993 didapatkan hasil AC – WC 5 cm, AC – BC 6 cm, LASTON MS 744 15 cm, dan LPA 15 cm. Pada penelitian yang dilakukan oleh Farida & Hakim (2021) pada ruas jalan Kota Leles segmen 2 STA 0+00 – STA 1+173 menggunakan perhitungan Bina Marga 2017 didapatkan ketebalan lapisan permukaan (*Surface course*) menggunakan lapen 5 cm, LPA (*Base*) menggunakan agregat kelas A 15 cm, dan lapisan bawah (*Subbase course*) menggunakan kelas B 15 cm. Pada ruas kawasan kampus UBT, penelitian dilakukan oleh Bakri M.D (2020) dengan metode *AASHTO* 1993 didapatkan tebal perkerasan sebagai berikut Lapis perkerasan 9 cm, LPA 15 cm, LPB 15 cm. Pada ruas jalan Lohbener – Cirebon dilakukan penelitian oleh Ariyanto & Sarwanta (2021) dengan metode *AASHTO* 1993 dan MDP 2017. Untuk perhitungan MDP 2017 didapatkan AC – WC 5 cm, AC -BC 6 cm, AC – *Base* 24.5 cm, LPA kelas A

30 cm, *Capping Layer* 30 cm sedangkan dengan metode *AASHTO* 1993 didapatkan Lapis permukaan 11.43 cm, LPA 15 cm, dan LPB 21 cm

2.2 Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Dengan *Software KENPAVE* dan Umur Sisa Layan

Penelitian yang sudah dilakukan ini mencantumkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki hubungan dengan penelitian ini serta dapat dijadikan sebuah tinjauan pustaka. Pambudi (2021) sudah melakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui ketebalan yang optimal dengan Metode Bina Marga 2017 dan juga Program *KENPAVE*. Supaya dapat menjadikan referensi bagi perencana bahwa Ketika kita merencanakan dengan Metode Bina Marga 2017 dengan umur rencana 20 tahun. Dengan digunakannya Program *KENPAVE*, akan ditemukannya kerusakan pada tahun kesekian dan lapisan-lapisan mana yang akan mengalami kerusakan. Penelitan dari penerbit menghasilkan ketebalan tiap lapisan yaitu AC -WC 40 mm, AC – BC 135 mm, CTB 150 mm, LPA kelas A 150 mm.. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Arianto & Fauziah (2023) pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran , Perhitungan desain perkerasan menggunakan Bina Marga 2017 menghasilkan 2 desain yaitu desain *AC Base* memiliki tebal perkerasan total yaitu 69,5 cm dengan tebal *AC-WC* sebesar 6 cm, *AC-BC* sebesar 6 cm, *AC Base* sebesar 24,5 cm dan LPA sebesar 33 cm sedangkan pada desain *CTB* memiliki tebal perkerasan total yaitu 65 cm dengan tebal *AC-WC* sebesar 5 cm, *AC-BC* sebesar 30 cm, *CTB* sebesar 15 cm dan LPA sebesar 15 cm. Perbandingan antara desain Bina Marga 2017 terlihat pada perbedaan terjadinya kerusakan seperti pada desain *AC Base* memiliki umur layan pada *rutting* lebih tinggi daripada desain *CTB,* hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan pada ketebalan *surface* desain tersebut. Pada desain *AC Base* memiliki tebal *surface* sebesar 12 cm sedangkan pada Desain *CTB* hanya memiliki tebal *surface* sebesar 5 cm. Perbedaan terjadi lagi pada umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation,* desain *CTB* memiliki nilai umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation* lebih tinggi daripada desain *AC Base.* Pada penelitian ini yang dilakukan oleh Dwiputra dkk (2021) didapatkan bahwa pada ruas jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro memiliki hasil pada umur

ke-8 perkerasan jalan diasumsikan sudah tidak dapat menahan beban repetisi kerusakan *permanent deformation* sebesar 13.444.693 ESAL, umur ke-17 untuk kerusakan *rutting* yang melebihi batas beban repetisi sebesar 38.286.385 ESAL, dan kerusakan *fatigue cracking* sebesar 147.165.814 ESAL terjadi pada tahun ke-36. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sumarsono & Fauziah (2022) pada ruas jalan Jogja – Solo km 14+800 – 16+800 didapatkan bahwa kerusakan awal terjadi pada *rutting* kemudian diikuti oleh kerusakan *permanent deformation* dan *fatigue cracking* maka pada ruas jalan ini ditentukan penambahan tebal *overlay* 9 cm. Pada ruas jalan cibadak-cikidang-pelabuhan ratu STA 0+000 – STA 35+810 dilakukan oleh Anisarida dkk (2023) didapatkan hasil yang mampu mencapai umur rencana yang rencanakan, dari mulai kerusakan *fatigue cracking, rutting dan permanent deformation* mendapatkan hasil yang mencapai umur rencana. Pada metode PtT-01-2002-B dan metode MDPJ 2017 diperoleh hasil yang sama yaitu diawali pada kerusakan *permanent deformation, lalu dilanjutkan oleh rutting* dan *fatigue cracking*.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993

Peneliti	Mawaddah (2021)	Ottu dkk (2023)	Farida dan Hakim (2021)	Bakri M.D (2020)	Ariyanto dan Sarwanta (2021)
Judul Penelitian	Kajian Komparasi Persiapan Tebal Lapisan Perkerasan Lentur Dengan Metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2017 Dan Metode Aashto 1993 Jalan Kedah – Kong Bur Sta 2+000 – 4+000	Evaluasi Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 Pada Jalan Denggung-Wonorejo, Sleman	Ketebalan Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO 1993 Dan Manual Perkerasan Jalan 2017	Analisis Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode *AASHTO* 1993 (Studi Kasus Pada Pembangunan Jalan Lingkungan Baru Dalam Kawasan Kampus Universitas Borneo Tarakan)	Perbandingan Perencanaan Tebal Lapisan Lentur Dengan Metode *AASHTO* 1993 Dan MDP
Tujuan Penelitian	Mencocokan tebal perkerasan lentur menggunakan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2017	Mencari tebal optimal dari perhitungan Bina Marga 2017 dan metode *AASHTO* 1993	Membandingkan tebal perkerasan lentur menggunakan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2017	Analisis Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode *AASHTO* 1993	Membandingkan tebal perkerasan lentur menggunakan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2017

Sumber: Mawaddah (2021), Ottu dkk (2023), Farida dan Hakim (2021), Bakri M.D (2020), Ariyanto dan Sarwanta (2021)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993

Peneliti	Mawaddah (2021)	Ottu dkk (2023)	Farida dan Hakim (2021)	Bakri M.D (2020)	Ariyanto dan Sarwanta (2021)
Lokasi Penelitian	Jalan Kedah – Kong Bur Sta 2+000 – 4+000	Jalan Denggung-Wonorejo, Sleman	Ruas alternatif jalan dalam kota Leles	Ruas kawasan kampus UBT	Ruas jalan Lohbener – Cirebon
Metode Perhitungan	Bina Marga 2017 dan metode *AASHTO* 1993	Bina Marga 2017 dan metode *AASHTO* 1993	Bina Marga 2017 dan metode *AASHTO* 1993	Metode *AASHTO* 1993	MDPJ 2017 dan *AASHTO* 1993
Hasil Penelitian	Perhitungan Bina Marga 2017 lapis permukaan 10 cm, lapis pondasi kelas A 40 cm, lapis pondasi kelas B 0 cm, urugan pilihan 10 cm sedangkan metode *AASHTO* 1993 lapis permukaan 7 cm, lapis pondasi kelas A 18 cm, lapis pondasi kelas B 20 cm, dan urugan pilihan 10 cm.	Dari kedua hasil perhitungan tebal perkerasan lentur tersebut maka diambil tebal perkerasan lentur dengan metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 untuk dianalisis gaya tegangan, regangan dan juga lendutan yang terjadi. Ini dikarenakan metode tersebut lebih efisien dan ekonomis dibandingkan metode AASHTO 1993	Perhitungan Bina Marga 2017 didapatkan lapisan permukaan 5 cm, lapis pondasi atas 15 cm, lapis pondasi bawah 15 cm sedangkan perhitungan menggunakan metode *AASHTO* 1993 didapatkan lapis permukaan 18 cm, lapis pondasi atas 3 cm, lapis pondasi bawah 15 cm.	Lapis perkerasan 9 cm, Lapis pondasi atas 15 cm, lapis pondasi bawah 15 cm.	Metode AASHTO mendapatkan tebal lapis permukaan yang lebih besar dari metode MDP dengan tahun yang sama, Hal ini dikarenakan perbedaan asumsi dalam perhitungan, batasan-batasan minimum tebal perkerasan masing-masing metode.

Sumber: Mawaddah (2021), Ottu dkk (2023), Farida dan Hakim (2021), Bakri M.D (2020), Ariyanto dan Sarwanta (2021)

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Metode Mekanistik Empirik

Peneliti	Pambudi dan Fauziah (2021)	Dwiputra dkk (2021)	Arianto dan Fauziah (2023)	Sumarsono dan Fauziah (2022)	Anisarida dkk (2023)	Azra (2025)
Judul Penelitian	Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program *KENPAVE* Menggunakan Pendekatan Elasitk Dan Viskoelastik	Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode Mekanistik-Empirik Ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodojodikoro Yogyakarta	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2017 Dengan Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik Pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran	Evaluasi Kondisi Perkerasan Penanganan Dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik Empirik	Metode Mekanistik-Empiris Untuk Mengevaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program	Evaluasi dan Usulan Alternatif Struktur Perkerasan pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalagenep-Pangandaran
Tujuan Penelitian	Mengetahui nilai tegangan dan regangan pada eksisting dan struktur perkerasan alternatif dengan menggunakan program KENPAVE menggunakan permodelan Elastik dan Viskoelastik.	Memprediksi umur sisa layan perkerasan dengan menggunakan program *KENPAVE*	Memprediksi kerusakan pada perkerasan lentur dan melakukan perbandingan umur sisa layan pada desain eksisting dan Bina Marga 2017	Mengevaluasi nilai sisa perkerasan lentur	Mengevaluasi tebal perkerasan lentur	Membandingkan tebal perkerasan lentur menggunakan metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 melalui pendekatan viskoelastik

Sumber: Pambudi dan Fauziah (2021), Dwiputra dkk (2021), Arianto & Fauziah (2023), Sumarsono & Fauziah (2022), Azra (2025)

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Metode Mekanistik Empirik

Peneliti	Pambudi dan Fauziah (2021)	Dwiputra dkk (2021)	Arianto dan Fauziah (2023)	Sumarsono dan Fauziah (2022)	Anisarida dkk (2023)	Azra (2025)
Lokasi Penelitian	Jalan Simpang Pundu – Tumbang Samba	Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodojodikoro Yogyakarta	Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran	Jalan Jogja-Solo km 14+800 – 16+800	Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan ratu	Jalan Cipatujah-Kalagenep-Pangandaran
Metode Penelitian	Program *KENPAVE* Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik	Mekanistik-Empirik pendekatan elastik dengan Program *KENPAVE*	Metode Mekanistik Empiris dan Bina Marga 2017	Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik Empirik	Metode mekanistik-empiris	AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 dengan pendekatan viskoelastik
Hasil Penelitian	Perbandingan antara elastik dan viskoelastik terdapat pada perbedaan umur sisa layan perkerasan. Pada pendekatan elastik memiliki umur sisa layan yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan viskoelastik	Umur ke-8 perkerasan jalan sudah tidak dapat menahan beban repetisi kerusakan *permanent deformation*, memasuki umur ke-17 untuk kerusakan rutting yang melebihi batas toleransi beban repetisi sebesar, dan kerusakan fatigue cracking terjadi memasuki tahun ke-36.	Perbandingan dilakukan pada desain *AC Base* dan *CTB,* diketahui bahwa desain *AC Base* memiliki umur sisa layan lebih tinggi pada kerusakan *rutting* sedangkan desain *CTB* memiliki umur sisa layan lebih tinggi pada kerusakan *permanent defrmation*	Kerusakan awal terjadi pada *rutting* kemudian diikuti oleh kerusakan *permanent deformation* dan *fatigue cracking* maka pada ruas jalan ini ditentukan penambahan tebal *overlay* 9 cm	Berdasarkan 2 jenis perhitungan diperoleh hasil yang sama yaitu diawali pada kerusakan *permanent deformation,* lalu dilanjutkan oleh *rutting* dan *fatigue cracking*.	Perbandingan antara perkeran metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 yang diuji menggunakan *KENPAVE,* alternatif yang paling memenuhi umur layan adalah perkerasan alternatif pernggantian material AASHTO 1993.

Sumber: Pambudi dan Fauziah (2021), Dwiputra dkk (2021), Arianto & Fauziah (2023), Sumarsono & Fauziah (2022), Azra (2025)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Desain Perkerasan Lentur Bina Marga 2017

Metode Bina Marga 2017 dalam mendesain perkerasan lentur berlandasan kepada Pt T-01-2002-B dengan beberapa perubahann penentuan umur rencana yamg terendah, pengerjaan konstruksi yang mudah, efisien penggunaan material, efektifitas waktu dan biaya. Berikut adalah prosedur desain perkerasan lentur menggunakan Metode Perkerasan jalan Nomor 04/SE/Db/2017 dijelaskan sebagai berikut.

3.1.1 Menghitung Lalu Lintas Harian

Lalu lintas harian rata-rata adalah jumlah data lalu lintas yang melewati jalan tersebut setiap harinya. Data Lalu lintas harian didapatkan dari survei perhitungan kendaraan yang melewati jalan tersebut. Data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder yang sudah ada. Cara mendapatkan data lalu lintas harian adalah dengan cara survei pada jalan yang akan dijadikan penelitian.

Fungsi data sekunder adalah ketika data primer tidak bisa didapatkan karena tidak bisa dilakukan penelitian gunakan data sekunder yang sudah ada pada tahun sebelum-sebelumnya. Data tersebut bisa dipakai untuk memperkirakan perhitungan agar bisa menghhitung data lalu lintas tahun selanjutnya. Persamaan 3.1 yang digunakan yaitu.

$$\mathbf{LHRn_{+1} = \boldsymbol{LHR_n} + (LHR_n \times I)} \quad (3.1)$$

d/ LHR_{n+1} = lalu lintas harian tahunan yang dicari,

LHR_n = lalu lintas tahun yang dicari, dan

I = pertumbuhan lalu lintas.

Dalam merrncanakan tebal lapisan perkerasan, harus adanya umur rencana jalan yang sudah ditentukan.

Umur rencana adalah perhitungan jalan yang harus dihitung dari mulai jalan dibuka hingga adanya kerusakan yang berat dan harus dilaksanakan perbaikan dan dilapisi permukaan yang baru. Aturan umur rencana bisa dilihat dari Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan 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: Bina Marga (2017))

Dalam merencanakan atau mendesain suatu tebal setiap lapisan dibutuhkan data data dalam Manual Desain Perkerasan yang berisi sebagai berikut.

Data lalu lintas yaitu volume lalu lintas, lalu lintas harian rata-rata dan juga jenis kendaraannya.

1. Faktor pertumbuhan lalu lintas, ini sendiri didapatankan dari data-data pertumbuhan dari tahun ke tahun. Dari tabel tersebut diambil sebagai nilai minimum untuk faktor pertumbuhan Lalu lintas disetiap daerah pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Faktor Pertumbuhan Lalu lintas (i) minimum untuk Desain

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

(Sumber: Bina Marga (2017))

Perhitungan pertumbuhan lalu lintas sesuai dengan umur rencana menggunakan faktor pertumbuhan kumulatif ynag memiliki Persamaan 3.2 yaitu

$$\boldsymbol{R = \frac{(1+0{,}01\,i)^{UR}-1}{0{,}01\,i}} \quad (3.2)$$

Dengan R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,
I = laju pertumbuhan lalu lintas tahuanan (%), dan
UR = umur rencana (tahun).

2. Faktor Distribusi Lajur dan Kapasitas Lajur, yang telah direncanakan dapat didasarkan dengan kumulatif beban gandar standar (ESA), faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Pemilihan faktor distribusi arah (DD) ditentukan dengan jenis jalan. Faktor distribusi dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 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 Bina Marga (2017))

3. Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). digunakan untuk mengkonversi beban lalu lintas ke beban standar (ESA). Ketika sudah mendapatkan jumlah kumulatif ESA pada jalur rencana selama umur yang sudah direncanakan maka bisa dilanjutkan dengan menganlisis atau mendesain struktur perkerasan. Nilai *VDF* setiap masing masing kendaraan terdapat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.

4. Beban Sumbu Standar, adalah kumulatif dari seluruh beban sumbu lalu lintas desain, yang terjadi pada lajur yang akan dilakukan pekerjaan sesuai umur rencana, perhitungan dilaksanakan dengan persamaan sebagai beirkut:
VDF yang digunakan sesuai dengan masing-masing kendaraan niaga pada Persamaan 3.3

$$ESA_{TH-1} = \left(\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}\right) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.3)$$

Dengan ESA_{TH-1} : kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen di tahun pertama,
LHR_{JK} : lalu lintas harian rerata untuk tiap jenis kendaraan,
VDF_{JK} : faktor ekivalen beban untuk tiap jenis kendaraan,
DD : faktor distribusi arah,
DL : faktor distribusi jalur, dan
CESAL : kumulatif seluruh beban sumbu lalu lintas desain selama umur rencana.

Tabel 3.4 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga

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

(Sumber: Bina Marga (2017)

Tabel 3.5 Nilai VDF Masing – Masing Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan		Uraian	KonfigurasiSumbu	Muatan - muatan yang diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi Tipikal		Faktor ekivalen beban (*VDF*) (*ESAL*/kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	*VDF* pangkat	*VDF* pangkat
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/angkot/pickup /stationwagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargoringan	1.1	Muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - carg sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2

(Sumber: Bina Marga (2017))

3.1.2 Penentuan Struktur Perkerasan dan Desain Tebal Perkerasan

Penentuan struktur perkerasan akan mendapatkan berbagai variasi untuk menyesuaikan dengan volume lalu lintas, umur rencana, dan fondasi jalan yang ada. Pilihan alternatif yang dapat dipilih terdapat pada Tabel 3.6 sebagai berikut

Tabel 3.6 Pemilihan Jenis Perkerasan

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

(Sumber: Bina Marga (2017)

Desain Tebal perkerasan disinkronkan dengan nilai *CESA* umur rencana, lalu pemilihan desain dapat menggunakan pada tabel Bina Marga 2017 di bawah. Pada Tabel 3.7 dapat dilihat untuk merencanakan Tebal Perkerasan yang sudah perhitungkan.

Tabel 3. 7 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan *CTB*

	F1[2]	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat Bagan Desain – 3A, 3B dan 3C	Lihat Bagan Desain – 4 Untuk alternatif perkerasan kaku[3]			
Repitisi beban sumbu Kumulatif 20 tahun padajalur rencana (10^6 ESA5)	>10 -30	>30 -50	>50 -100	>100 -200	>200 -500
Jenis permukaan berpengikat	*AC*	*AC*			
Jenis lapis Fondasi	*Cement Treated Base (CTB)*				
AC WC	40	40	40	40	50
AC BC[4]	60	60	60	60	60
AC BC atau *AC Base*	75	100	125	160	220
CTB[3]	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

(Sumber: Bina Marga (2017)

3.2 Desain Perkerasan Lentur Metode *AASHTO* 1993

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation)* adalah salah satu metode dalam menentukan strukutur perkerasan jalan yang tepat. Metode ini telah digunakan secara umum dalam perencanaan perkerasan jalan. Pada *AASHTO Guide for Design of Pavemnet Structure 1993* menyebutkan beberapa faktor dalam perencaaan struktur perkerasan jalan berisi sebagai berikut.

3.2.1 Structural *Number* (SN)

Structural Number (SN) dapat dihitung dari ketebelan lapisan, koefisien *relative* dan koefisien drainase dengan menggunakan Persamaan 3.4 berikut

$$SN = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 \quad (3.4)$$

Dengan SN = Nilai *Structural Number,*

α = koefisien *relative* setip lapisan,

D = tebal setiap lapisan perkerasan, dan

M = koefisien drainase setiap lapisan.

3.2.2 Lalu Lintas (*Traffic*)

Dalam prosedur perencanaan struktur perkerasan jalan, lalu lintas perlu didasari oleh nilai kumulatif 18 kips ekivalen beban sumbu tunggal selama dianalisa. Terdapat kondisi-kondisi perencanaan yang mengharapkan kontruksi perkerasan tanpa adanya peningkatan dan pelapisan ulang hingga akhir masa layan. Lalu lintas dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$W18 = DD \times DL \times w18 \quad (3.5)$$

Dengan DD = faktor distribusi berdasarkan arah,

DL = faktor dsitribusi berdasarkan jumlah lajur, dan

W18 = nilai kumulatif prediksi ESAL 18-kips.

Pada umumnya DD diambil 0,5. Faktor DL dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Faktor Distribusi Arah (DL)

Jumlah Lajur Tiap Arah	**%18 Kips *ESAL Design***
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

(Sumber: *AASHTO* 1993)

3.2.3 Kinerja Jalan (*Pavement Perfomance*)

Kinerja jalan memberikan peringatan bahwa dalam perancangan struktur perkerasan jalan didasari oleh total volume lalu lintas yang signifikan dengan pelayanan minimum hingga akhir umur rencana. Kinerja perkerasan jalan dapat diterangkan dalam indeks pelayanan (*Service Ability Index*) pada awal (Po) dan akhir (Pt) berikut :

1. Indeks kemampuan pelayanan awal (Po), untuk perkerasan lentur menggunakan nilai Po 4,2

2. Indeks kemampuan pelayanan akhir (Pt) terdapat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3. 9 Indeks Kemampuan Pelayanan Akhir (Pt)

Jenis jalan	Pt
Jalan raya utama	2,5
Jalan raya dengan lalu lintas rendah	2,0
Jalan raya relatif minor	1,5

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Faktor yang dapat merubah angka PSI adalah lalu lintas, umur perkerasan dan faktor lingkungan. Faktor lingkungan adalah perubahan tanah akibat air dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 berikut

$$\Delta PSI = Po - Pt \quad (3.6)$$

Dengan ΔPSI = total penurunan pelayanan,

Po = indeks kemampuan pelayanan awal, dan

Pt = indeks kemampuan pelayanan akhir.

3.2.4 Reliabilitas (R) dan Simpang Baku Keseluruhan (SO)

Reliabilitas merupakan nilai yang memastikan bahwa perkiraan beban lalu lintas yang akan melewati jalan tersebut mampu terpenuhi. Nilai realibilitas dalam dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3. 10 Tingkat Realibilitas

Fungsi Jalan	Tingkat Kendaraaan	
	Urban	***Rural***
Jalan Tol	85 – 99,9	85 – 99,9
Arteri	80 - 99	75 – 95
Kolektor	80 - 95	75 – 95
Lokal	50 - 80	50 – 80

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Berdasarkan tingkat realibilitas pada *AASHTO* 1993 dapat menentukan nilai simpang baku normal (ZR) yang biasa digunakan dalam merencanakan, Nilai simpang baku normal dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut

Tabel 3. 11 Nilai Simpang Baku Normal (ZR)

Reliabilitas	Simpangan Baku	Realibilitas	Simpangan Baku
R (%)	Normal, ZR	R (%)	Normal, ZR
50	-0,000	93	-1,476
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327
91	-1,340	99,9	-2,090

(Sumber: *AASHTO* 1993)

So atau simpangan baku keseluruhan adalah gabungan dari beberapa simpangan baku yang berasal dari perkiraan lalu lintas dan kinerja lalu lintas. Dari *AASHTO Guide for Design of Pavement Structure 1993* disebutkan beberapa kriteria sehubung dengan kinerja jalan yaitu :

1. Jika data-data simpangan baku kesulurahan didapatkan nilai 0,44 maka variasi lalu lintas yang disarankan menggunakan perkerasan lentur,
2. Jika perkiraan simpangan baku kesulurahan didaptrkan nilai 0,49 maka variasi lalu lintas yang disarankan untuk perkerasan kaku,
3. Jika perkerasan lentur maka disarankan nilai So berkisar 0,40 – 0,50

3.2.5 Lintas Ekivalen Permulaan (LEP)

Lintas ekivalen disaat jalan mulai digunakan dapat dirumuskan dengan Persamaan 3.7 berikut

$$LEP = LHR_0 \times E \times DD \times DL \quad (3.7)$$

Dengan LHR_0 = lintas harian saat awal umur rencana

E = distribusi untuk satu jenis kendaraan

DD = distribusi arah, dan

DL = distribusi jalur.

3.2.6 Lintas Ekivalen Selama Umur Rencana (W18)

Nilai lintas ekivalen selama umur rencana (W18) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.8 berikut.

$$W18 = LEP \times 365 \times N \quad (3.8)$$

d/ 365 = Total hari dalam setahun, dan

N = Faktor umur rencana yang disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas.

Nilai N didapatkan dengan Persamaan 3.9 berikut

$$N = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \quad (3.9)$$

Dengan i = Faktor pertumbuhan lalu lintas selama UR, dan

UR = Umur Rencana.

3.2.7 Faktor Drainase

Dalam kontruksi jalan raya, sistem drainase sangat mempengaruhi kepada kualitas dan kemampuan jalan tersebut. Tahap kelancaran pengeringan air dengan beban lalu lintas dan kondisi jalan menentukan umur layan perkerasan jalan tersebut. Kualitas drainase dapat dilihat pada Tabel 3.12 sebagai berikut.

Tabel 3. 12 Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan air
Baik Sekali	2 jam
Baik	1 hari
Cukup	1 minggu
Buruk	1 bulan
Buruk Sekali	Air tidak mungkin dikeringkan

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Berdasarkan kualitas drainase yang ada pada perkerasan dan waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan perkerasan air dapat ditentukan dari koefisien drainase dari lapisan lapisan tersebut. Koefisien drainase dapat dilihat pada Tabel 3.13 sebagai berikut

Tabel 3. 13 Nilai Koefisien Drainase

Kualitas Drainase	% Waktu Perkerasan Dalam Keadaan Lembab Basah			
	<1%	1%-5%	5%-25%	>25%
Baik Sekali	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Cukup	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,05 – 0,8	0,80
Buruk	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Buruk Sekali	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

(Sumber : *AASHTO* 1993)

3.2.8 Koefisien Relatif Lapisan (a)

Nilai koefisien relatif lapisan (a) didapatkan dari hubungan dari *CBR, modulus elastik,* dan *R-value.* Koefisien kekuatan relative dibagi 5 jenis yaitu beton aspal, lapis pondasi granular, lapis pondasi bawah granular, *cement-treated base,* dan *asphalt-treated base (ATB*). Pada *AASHTO 1993* diusulkan koefisien lapisan yang dapat dilihat pada Tabel 3.14 dan perkiraan nilai koefisien lapisan beton aspal terdapat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 14 Koefisien Lapisan (a_i)

Koefisien lapisan			**Kekuatan bahan**			**Jenis bahan**
a_1	a_2	a_3	**MS (kg)**	**Kt (kg/cm)**	**CBR (%)**	
0,4	-	-	733	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,2	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stabilisasi tanah-semen

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Lanjutan Tabel 3.14 Koefisien Lapisan (a_i)

Koefisien lapisan			Kekuatan bahan			Jenis bahan
a_1	a_2	a_3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stabilisasi tanah-kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah/lempung berpasir

(Sumber : *AASHTO* 1993)

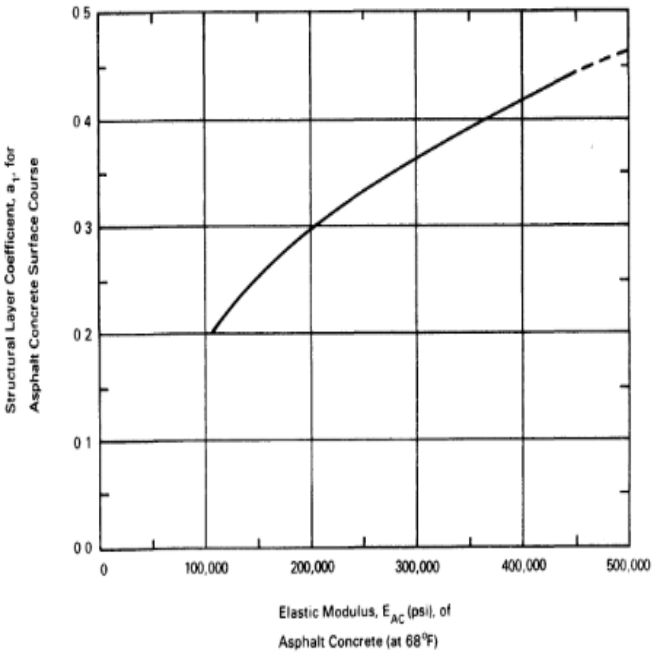


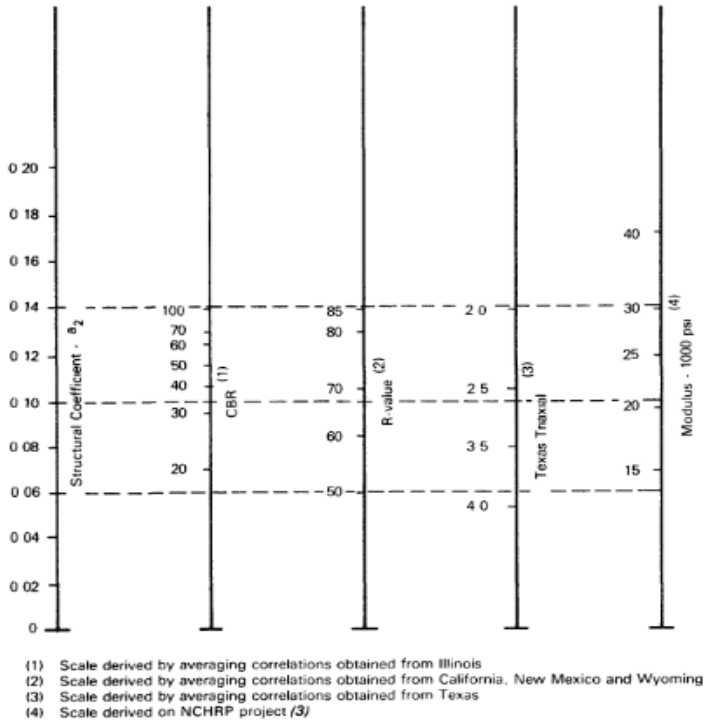
Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

Gambar 3.1 Grafik Perkiraan Kekuatan Lapis Permukaan Beton Aspal a_1

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Nilai koefisien lapis beton aspal a_1 dapat diperkirakan dengan Gambar 3.2 di bawah ini dan pada a_2 koefisien kekuatan relatif bisa didapatkan dari Persamaan 3.10 berikut.

$$a_2 = 0{,}249(\log_{10} Es_B) - 0{,}977 \quad (3.10)$$



Gambar 3.2 Variasi Koefisen Lapis Pondasi Atas dengan Material Berbutir a_2 untuk Beberapa Jenis Parameter Kekuatan Pondasi

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Menurut *AASHTO,* nilai modulus dilambangkan dengan ESB dalam PSI untuk pondasi dapat dilihat pada Tabel 3.15 berikut.

Tabel 3. 15 Nilai Modulus (ESB dalam PSI) untuk pondasi

Tingkat Kelembapan	Persamaan	Tegangan (N/m)			
		Θ = 5	**Θ = 10**	**Θ = 20**	**Θ = 30**
Kering	8000 x θ 0,6	21,012	31,848	48,273	61,569
Lembab	4000 x θ 0,6	10,506	15,924	24,136	30,784
Basah	3200 x θ 0,6	8,404	12,739	19,309	24,627

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Untuk perkiraan nilai koefisien lapisan (a_3) dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini. Pada a_3 dapat diperoleh dari Persamaan 3.11 berikut.

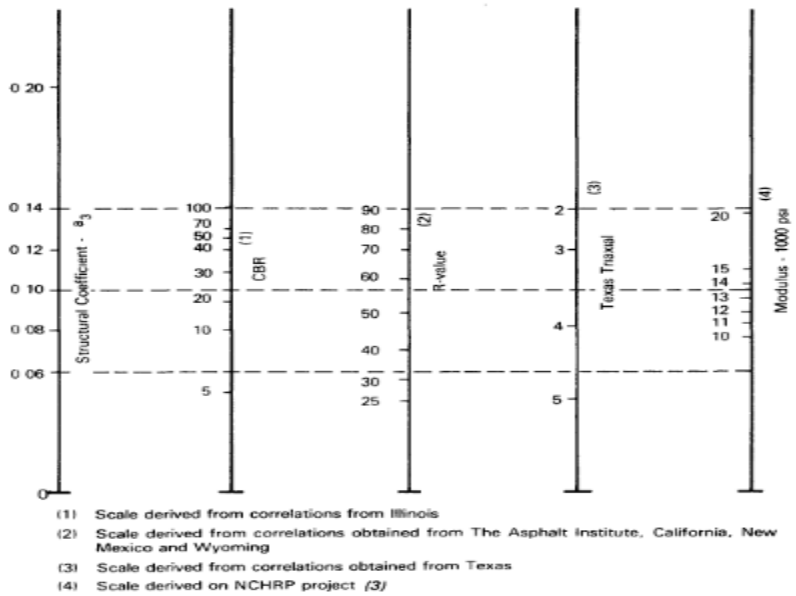
$a_3 = 0.227 (\log_{10} Es_B) 0{,}839$ (3.11)

Menurut *AASHTO,* nilai modulus dilambangkan dengan ESB dalam PSI untuk pondasi bawah dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut.

Tabel 3. 16 Nilai ESB untuk Pondasi Bawah

Kondisi Lembab	Persamaan	Nilai		
		Θ = 5	**Θ = 7,5**	**Θ = 10**
Lembab	Mr = 5400 x θ 0,6	14,183	18,090	21,497
Basah	Mr = 4600 x θ 0,6	12,082	15,410	18,312

(Sumber : *AASHTO* 1993)



Gambar 3.3 Grafik Variasi Koefisien Realtif Lapis Pondasi Bawah a_3

(Sumber : *AASHTO* 1993)

Berikut adalah beberapa langkah dalam penentuan table perkerasan dirumuskan pada Persamaan 3.12, 3.13, dan 3.14 dapat dilihat sebagai berikut.

$D_1 \geq \frac{SN_1}{D_1 \, a_1}$ (3.12)

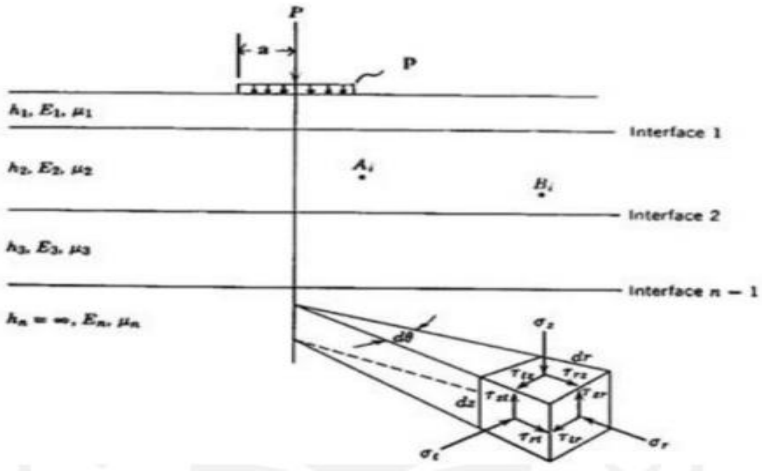
$$D_2 \geq \frac{SN_2 - (D_1\, a_1)}{a_2\, m_2} \quad (3.13)$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (D_1\, a_1 + a_2\, m_2)}{a_3\, m_3} \quad (3.14)$$

3.3 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris

Desain tebal perkerasan menggunakan Metode Mekanistik - Empiris ini adalah suatu gabungan antara metode mekanistik dan empiris untuk merencanakan perkerasan jalan. Dari kedua metode di atas setiap metodenya memiliki kekurangan untuk merencanakan desain perkerasan. Awal mulanya perencanaan desain perkerasan menggunakan metode mekanistik yang merujuk pada hasil *test*. Lalu dikembangkan metode tersebut dengan merujuk pada pada ilmu teoritis dan sifat sifat dari perkerasan yang di dalamnya dengan perhitungan respon dari struktur perkerasan kepada beban kendaraan dan metode ini disebut dengan metode analitik – mekanisme. Dengan berkembangnya teknologi, maka mempermudah dan juga untuk mengontrol suatu perhitungan desain perkerasan, dan metode mekanistik – empiris pun hadir.

Metode mekanistik – empiris didasari dengan mekanika material yang berhubungan dengan beban roda, respon struktur perkerasan dari mulai tegangan dan regangan. Nilai respon yang didapat bisa digunakan untuk memperkirakan respon struktur berupa tekanan dari tes di laboratorium ataupun pekerjaan di lapangan. Pengamatan pada pekerjaan harus dilakukan karena sangat dibutuhkan, karena setiap jenis bahan, lokasi, memiliki kondisi yang berbeda, sehingga perlu dilakukan tes yang akan membuktikan bahwa struktur perkerasan itu bagus atau tidak. *Multilayer Elastic System* adalah salah satu sistem analisis dalam metode mekanistik. Sistem ini berhubungan dengan tegangan, regangan serta lendutan yang terjadi, dan itu respon dari beban roda kendaraan yang bersentuhan dengan struktur perkerasaan, dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini



Gambar 3.4 Sistem Lapis Banyak

(Sumber: Yoder dan Witczak (1975))

3.3.1 Permodelan Lapis Perkerasan

1. Parameter Seiap Lapisan

a. Modulus Elastis

Mataerial elastis adalah bahan yang dapat berubah kebentuk awal ketika terkena tekanan atau regangan. Modulus elastisitas dilambangkan dengan E yang memiliki perbandingan antara regangan dan tegangan suatu material. Perhitungan nilai modulus elastisitas memiliki Persamaan 3.15 sebagai berikut

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \qquad (3.15)$$

Dengan E = modulus elastisitas (kPa atau Psi),

τ = tegangan (kPa), dan

ε = regangan.

Modulus elastisitas pada material memiliki batasan tegangan dan regangan elastisitasnya. Batas elastisitas suatu material tidak sama dengan kekuatan untuk menahan tegangan dan regangannya, alangkah baiknya jika material

tersebut bisa berubah ke ukuran dan bentuk semula. Berikut nilai modulus elastisitas dari jenis jenis material perkerasan dapat dilihat di Tabel 3.17 di bawah ini.

b. *Poisson's Ratio*

Parameter *Poisson's Ratio* adalah suatu angkat yang didapatkan dari perbandingan regangan horizontal dan regangan vertical yang terjadi karena beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Di bawah ini Tabel 3.17 tercantum beberapa nilai *Poisson's Ratio.*

Tabel 3. 17 Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio*

AC-WC	Modulus Elastisitas (Mpa)	1100
	Poisson's Ratio	0,4
AC-BC	Modulus Elastisitas (Mpa)	1200
	Poisson's Ratio	0,4
AC Base	Modulus Elastisitas (Mpa)	1600
	Poisson's Ratio	0,4
CTB	Modulus Elastisitas (Mpa)	500
	Poisson's Ratio	0,35
LPA Kelas A	Modulus Elastisitas (Mpa)	150
	Poisson's Ratio	0,35
Subgrade	Modulus Elastisitas (Mpa)	60
	Poisson's Ratio	0,45

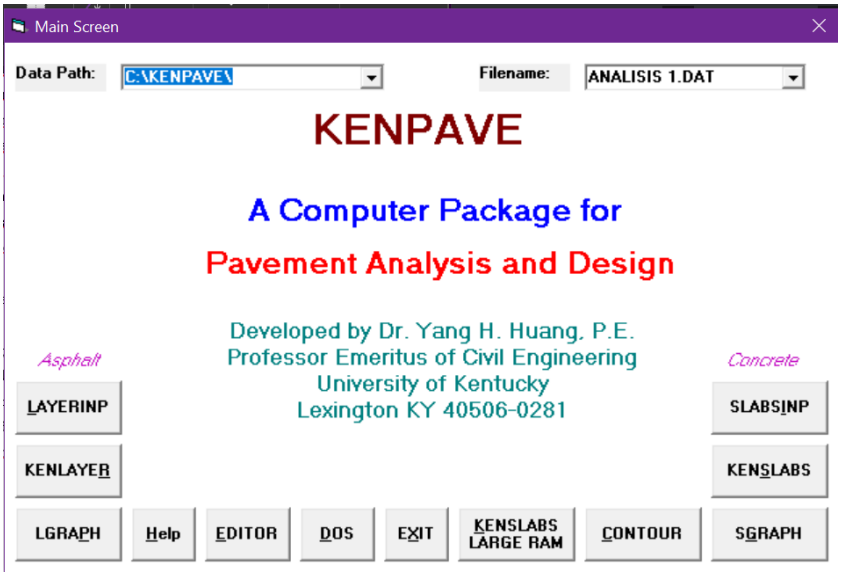
Sumber : Bina Marga 2017

2. Ketebalan setiap lapis perkerasan

Data lapis perkeresan merupakan suatu data yang dibutuhkan untuk menggunakan teori lapis perkerasan yang akan diselesaikan dengan suatu program. Ketebelan yang dihasilkan memiliki satuan mm atau *inch.*

3.4 Program *KENPAVE*

H. Huang mengembangkan program aplikasi untuk menganalisis struktur yang disebut *KENPAVE.* Program ini dijalankan menggunakan *Windows* 95 sampai dengan versi terbarunya. Program ini didasari dengan menggunakan *VisualBasic.* Berikut menu utama dari aplikasi program *KENPAVE* pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Tampilan *General Software Kenpave*

Dalam program *KENPAVE* memilik 4 (empat) menu untuk menganalasis perkerasan yaitu dari mulai *LAYERINP, KENLAYER* untuk struktur perkerasan lentur atau *Flexible*, *SLABINB* dan *KENSLAB* untuk strutur perkerasan kaku atau *Rigid*. Berikut pengertian dari masing-masing menu yang tersedia pada program *KENPAVE*.

3.4.1 *Data Path*

Data Path berfungsi untuk penyimpanan data hasil analisis yang sudah dilakukan, data tersebut akan tersimpan dilokasi penginstalan *KENPAVE*.

3.4.2 *File Name*

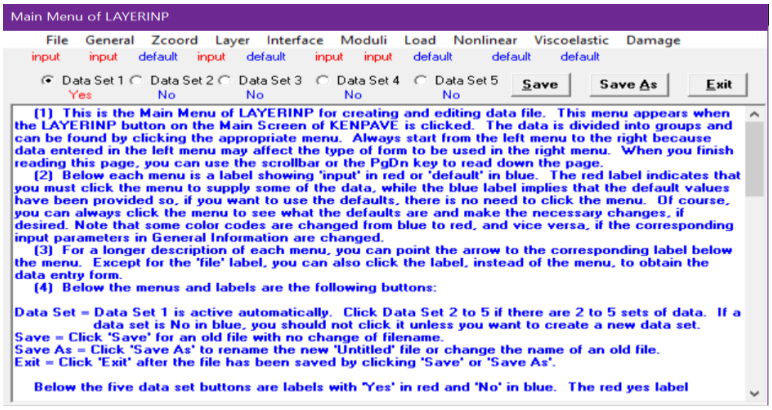
File Name berfungsi mengubah nama dari hasil analisis sesuai dengan dibutuhkan.

3.4.3 *Help*

Menu *Help* adalah suatu fitur yang memberikan informasi bantuan seperti penggunaan dan penjelasan mengenai parameter input data yang perlu dimasukan.

3.4.*4 LAYERINP* atau *SLABINP*.

LAYERINP dan *SLABINP* digunakan dalam pembuatan file data analisis struktur yang akan dianalisis. Berikut Gambar 3.6 jendela *LAYERINP*.



Gambar 3.6 Tampilan *LAYERINP*

Pada bagian bawah menu ada beberapa tulisan yang berbeda yaitu '*input'* dan '*default'*. Yang bertulisan '*input'* maka harus diisi data dengan data yang akan kita analisis, sedangkan yang '*default'* tidak perlu diisi.

3.5 *KENLAYER* atau *KENSLAB*

KENLAYER atau *KENSLAB* merupakan menu utama pada aplikasi program *KENPAVE* untuk menganalisis perkerasan, ketika *file* data sudah dibuat. Program ini akan memulai untuk menganalisis dari *file* data dan bisa melanjutkan ketahap selanjutnya.

3.5.1 *Program KENLAYER*

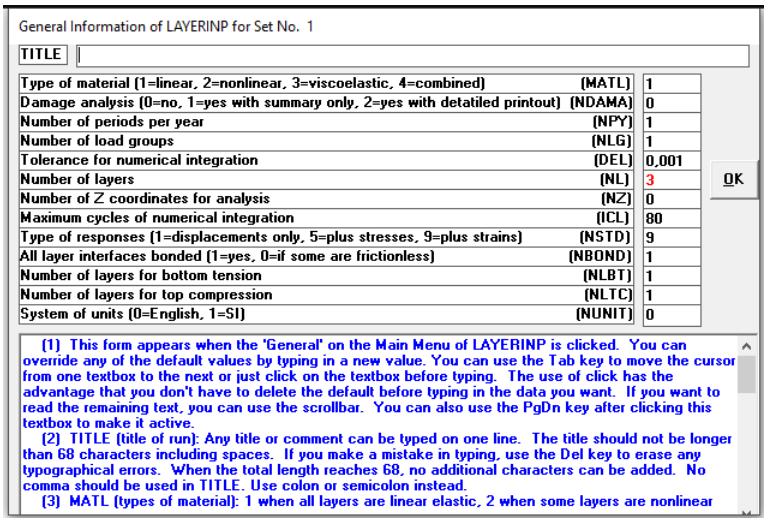
Program komputer *KENLAYER* ini hanya dapat dijalankan pada jenis perkerasan lentur tanpa sambungan dan lapisan kaku. Dasar *KENLAYER* ini sendiri adalah teori sistem lapis berlapis. *KENLAYER* dapat digunakan juga pada lapis yang berbeda, seperti linier, non linier, atau viskoelastis dan juga empat jenis sumbu roda, yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu triple. Menu ini untuk menentukan jenis struktur perkerasan lentur yang akan dianalisis jika sudah mengisi data pada menu *LAYERINP*.

3.5.2 *File*

Menu *file* memiliki fungsi untuk memulai analisis yang akan dilakukan dengan pilihan *new* atau *file* yang tertera, jika memiliki file lama untuk melanjutkan ada dengan pilihan *old.*

3.5.3 *General*

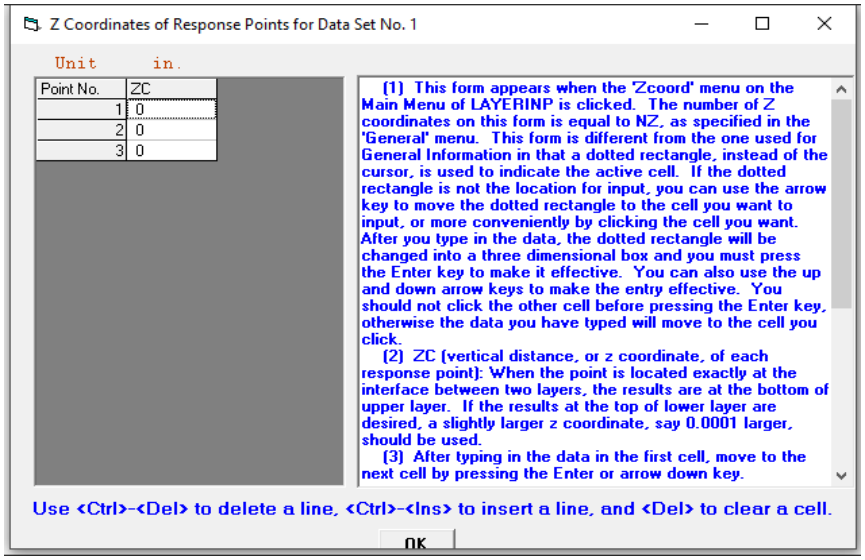
Menu *General* berfungsi untuk menunjukkan informasi dari perkerasan yang akan dianalisis. Berikut pada Gambar 3.7 tampilan dari *General.*



Gambar 3.7 *KENPAVE Input*

3.5.4 Zcoord

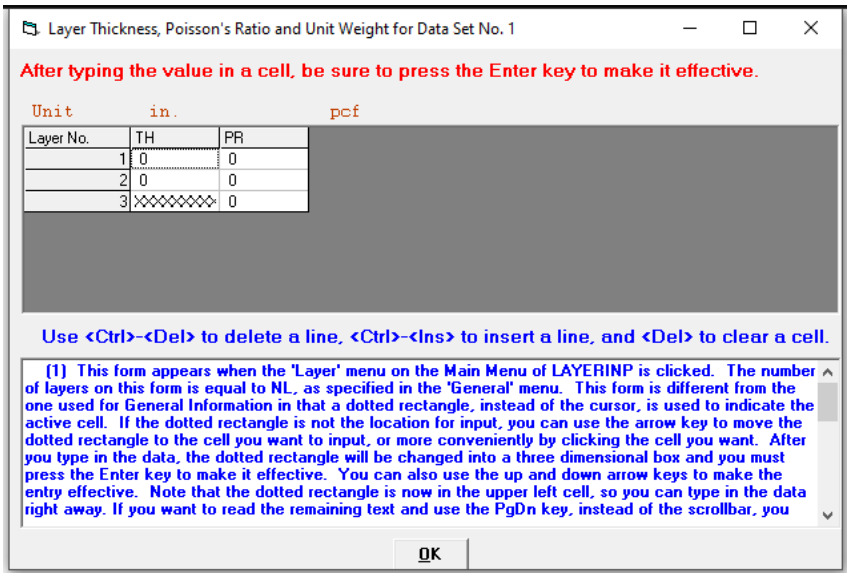
Zcoord merupakan menu untuk menganalisis struktur perkerasan pada titik jarak koordinat Z. Nilai *NZ* yang dimasukan pada menu general akan mempengaruhi jumlah point pada menu *Zcoord* ini. Contoh tampilan *Zcoord* terdapat pada Gambar 3.8 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Tampilan *Input Menu Zcoord*

3.5.5 *Layer*

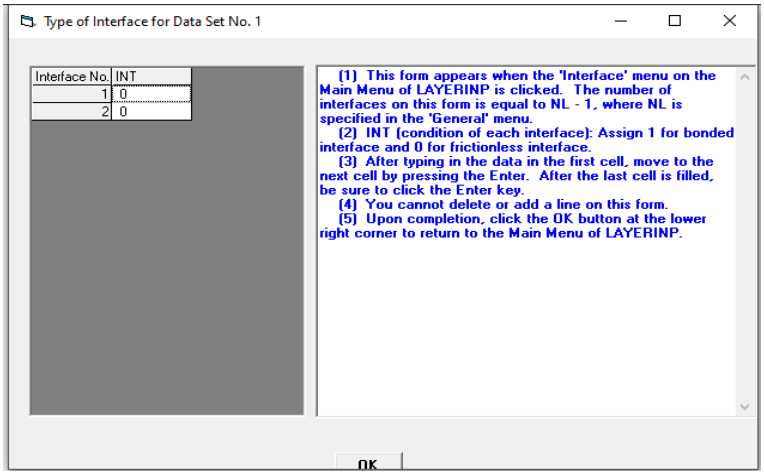
Pada menu *layer* terdapat dua kolom yang harus diisi dengan data yang akan dianalisis. Kolom pertama adalah TH yaitu tebal dari setiap *layer* dan kolom kedua PR yaitu *possion's ratio* setiap lapisan. Nilai yang dimasukan adalah masing maisnng tebal perkerasan dan nilai *possion's ratio* dari masing-masing lapisan perkerasan. Contoh tampilan terdapat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 Tampilan *Menu Layer*

3.5.6 *Interface*

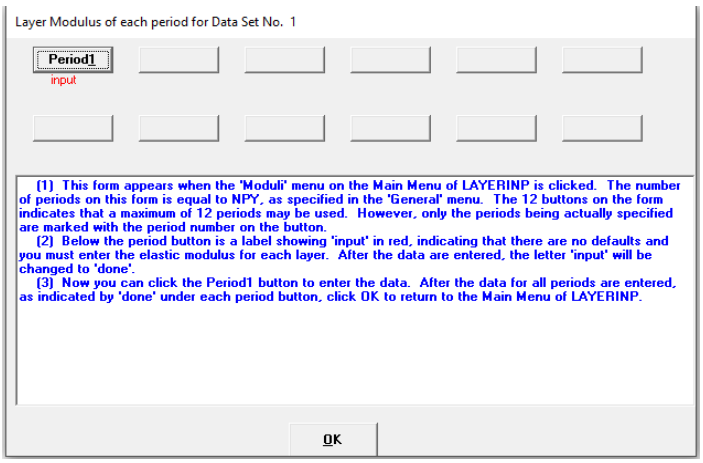
Nilai *NBOUND* pada menu *general* yang sudah diinput akan mempengaruhi dimenu ini, jika *NBOUND* = 1 maka menu akan menjadi *default* sedangkan jika *NBOUND* = 2 atau lebih maka menu akan aktif dan dapat melakukan input data. Contoh tampilan terdapat pada Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3.10 Tampilan Jendela *Interface*

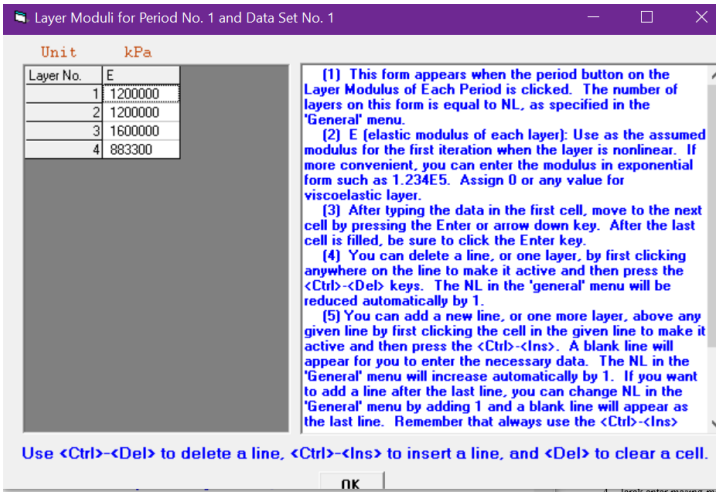
3.5.7 *Modul*

Dalam menu *modul* terdapat beberapa periode yang dapat diinput dengan data-data nilai E. Jumlah dari periode tergantung pada nilai *NY* dalam menu *general* di awal pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Tampilan Jendela *Moduli*

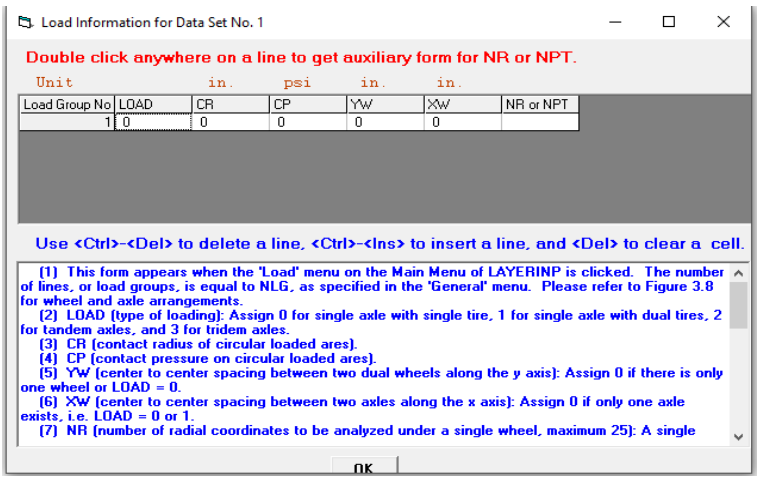
Nilai yang dimasukkan adalah nilai modulus elastisitas setiap lapisan perkerasan. Berikut contoh tampilan yang akan muncul Ketika period tersebut diklik pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 *Tampilan Menu Moduli*

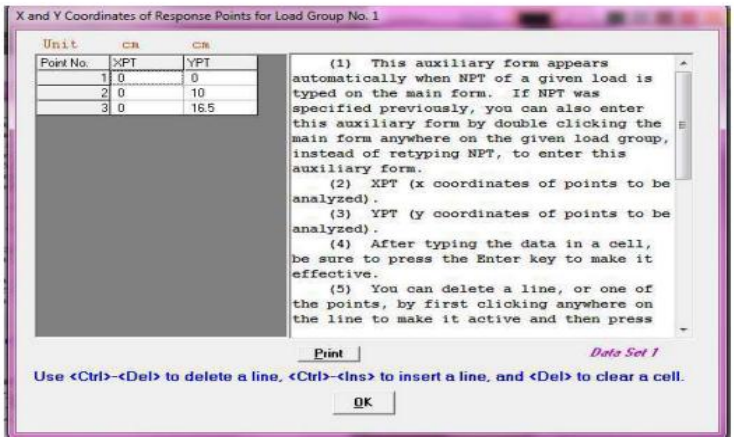
3.5.8 *Load*

Cara memasukan pada kolom *load,* (0) untuk kendaraan sumbu tunggal, (1) untuk kendaraan tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu *tandem,* (3) untuk sumbu *triple.* Kolom CR diisi dengan nilai radius dari sentuhan pembebanan kemudian kolom CP merupakan nilai beban. Untuk kolom *XW* dan *YW* adalah jarak antara roda arah x dan y. Kolom *NPT* dan *NR* adalah titik koordinat regangan-tegangan yang akan dianalisis. Contoh tampilan terdapat pada Gambar 3.13 sebagai berikut.



Gambar 3.13 Tampilan menu *Load*

Jika dalam kolom *NR or NPT* diisikan angka seperti pada contoh gambar 3.13 maka akan muncul menu selanjutnya untuk mengisi data. Cuplikan menu dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut.

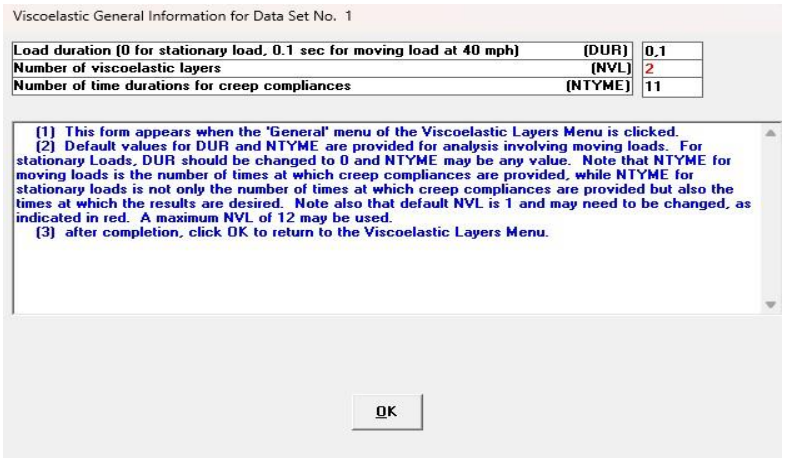


Gambar 3. 14 Data Input Menu NR or NPT

Sesudah semua data dimasukan, simpan data dan kembali kepada men utama. Setelah kembali ke menu utama pilih *KENLAYER* yang akan menjalankan data yang sudah dimasukan, dan didapatkan nilai tegangan dan regangan. Hasil dari analisa menggunakan Program *KENPAVE* dibuka pada menu pertama.

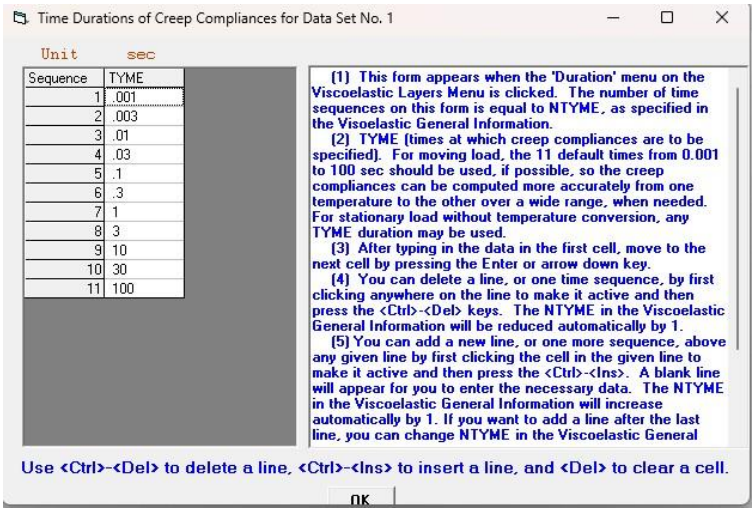
3.5.9 *Viscoelastic*

Menu *Viscoelastic* ini didalamnya teridir dari *General, Time, Layer, Creep* dan *Temperature*. Berikut ini adalah contoh tampilan menu *viscoelastic*



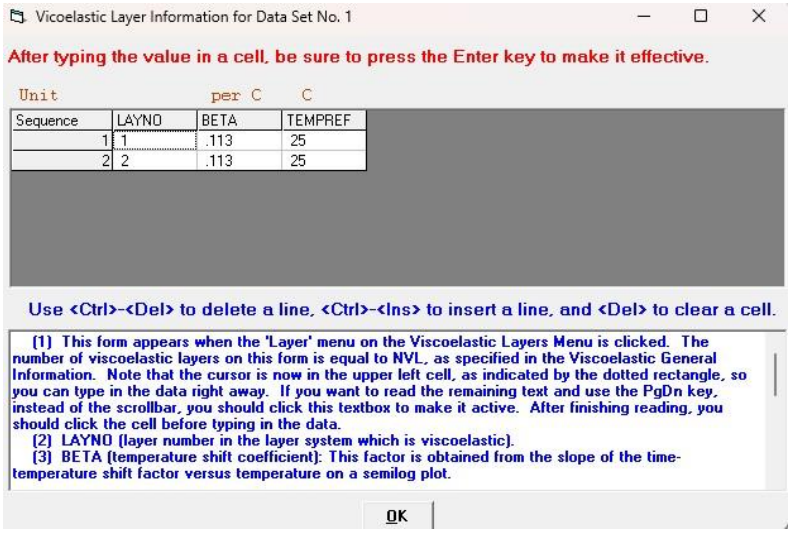
Gambar 3.15 Tampilan *General* pada *Viscoelastic*

Menu *Time* digunakan untuk data waktu durasi dari *creep compliance* yang sudah ditentukan oleh proram *KENPAVE.*



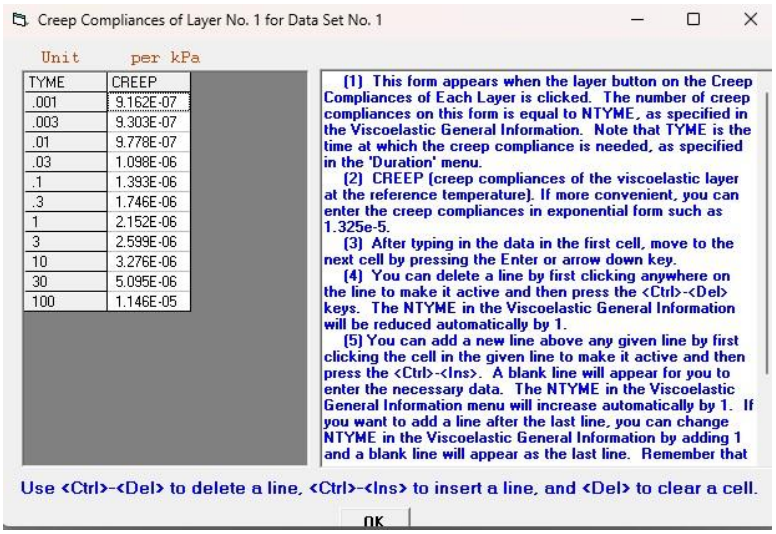
Gambar 3.16 Tampilan Jendela *Time* pada Menu *Viscoelastic*

Pada menu *Layer*, data yang diinput adalah data yang berhubungan dengan *layer viscoelastic* contohnya seperti penamaan *layer,* nilai *Beta*, dan temperatur dari *layer* itu sendiri.



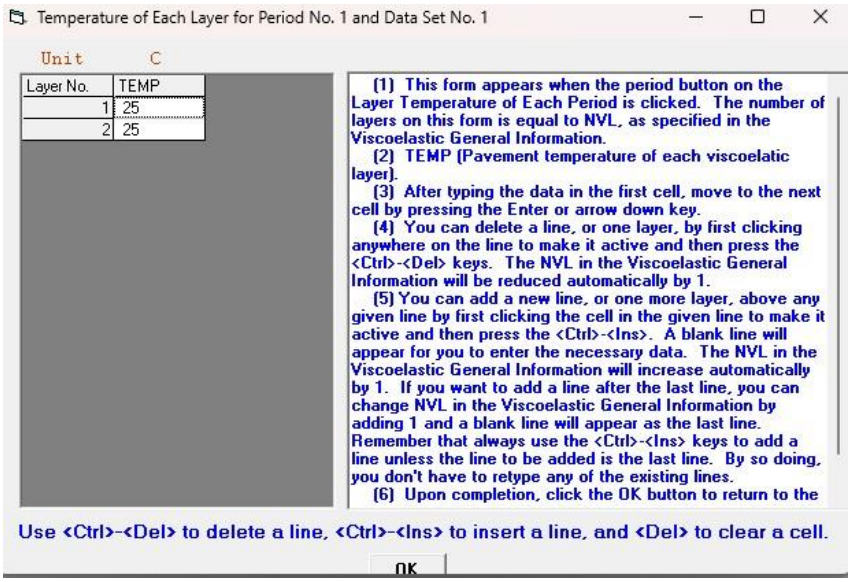
Gambar 3.17 Tampilan Jendela *Layer* pada *Viscoelastic*

Menu *Creep* digunakan untuk menginput data *creep compliance* yang sudah ditentukan oleh program *KENPAVE* dan setiap satuan waktu yang sudah dimasukkan pada menu sebelumnya.



Gambar 3.18 Tampilan Jendela *Creep* pada Menu *Viscoelastic*

Pada menu *Temperature* data yang diinput adalah data *temperature* yang sudah ditetapkan yaitu 25^o



Gambar 3.13 Tampilan Jendela *Temperature* pada *Viscoelastic*

3.6 Analisis Kerusakan Perkerasan

Kerusakan pada struktur lapis perkerasan kerap sering terjadi, salah satu penyebab utama yaitu beban kendaraan yang lewat diatasnya. Dengan analisi menggunakan *KENPAVE* didapatkan nilai tegangan dan nilai regangan yang dapat

mengetahui jenis kerusakan yang akan terjadi. Berikut beberapa jenis kerusakan yang akan terjadi seperi *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation.*

1. Retak fatik (*Fatigue Cracking)*

Retak Fatik terjadi karena beban yang terus berulang oleh lapis perkerasan jalan, dengan terusnya berulang, material akan menjadi aus dan terjadi *cracking.* Cara mengetahui repetisi ban berdasarkan regangan Tarik di bawah lapis permukaan. Dengan Rumus Persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$N_f = 0{,}0796\ (\varepsilon_t)^{-3{,}921}\ |E|^{-0{,}854} \quad (3.16)$$

Dengan Nf = Jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *fatigue cracking,*
εt = Regangan tarik horizontal di bagian bawah aspal, dan
$|E^*|$ = modulus dinamis dari campuran beton aspal.

2. *Rutting*

Kerusakan yang beralur pada lapisan permukaan jalan yang berdampak penumpukan semua deformasi plastis yang terjadi, mau yang dari lapis beraspal, agregat pondasi ataupun tanah dasar. Jumlah nilai repetisi beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$N_r = f_4(\varepsilon_c)^{f_5} \quad (3.17)$$

Dengan Nd = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting,*
εc = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar,
f5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan
f4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

3. Permanent Deformation

Deformasi permanen dapat ditemukan dari setiap lapisan struktur, membuat dengan adanya kerusakan ini, akan menjadi lebih sulit untuk memperhitungkan kerusakan pada retak lelah. Kerusakan deformasi permanen ini berada pada lapisan yang diatas tanah dasar (Dinata, 2017) Jumlah repetisi beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.18 berikut.

$$N_r = f_4(\varepsilon_c)^{f_5} \quad (3.18)$$

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

εc = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar,

f5 = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

f4 = koefisien kriteria deformasi permanen.

Nilai f4 dan f5 diambil dari Asphalt Institute 1970 yang memiliki nilai **f4 = 1,365 x 10^{-9} dan f5 = 4,477.**

3.7 Nilai Sisa Umur Layan

Struktur perkerasan memiliki kemampuan untuk menahan beban yang melalui pada struktur perkerasan jalan tersebut secara terus menerus sampai jalan tersebut mengalami kerusakan dan perlu perbaikan. Untuk menentukan umur sisa layan adalah menggunakan satuan tahun.

Nilai umur sisa layan akan didapatkan dengan cara menganalisis dan menghitung jumlah beban lalu lintas dan total repetisi beban ijin yang ditentukan dengan nilai satuan 18-Kip *ESAL*. Berikut Persamaan 3.19 untuk menghitung sisa umur layan.

$$RL = 100\ (1 - \frac{Np}{N_{1,5}}) \quad (3.19)$$

Dengan RL = *Remaining Life,*

Np = $\sum$ kumulatif W18 per tahun, dan

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

3.8 Karakteristik Material

Material memiliki beberapa jenis karakteristik, berikut ini adalah karakteristik pada material tersebut.

3.8.1 *Elastic Layer*

Pada material ini memiliki karakteristik yang elastis, isotropis dan homogan secara linear dari setiap lapisan struktur. Pemodelan elastis ini dapat menghitung regangan, tegangan dan defleksi pada setiap permukaan lapisan struktrur perkerasan yang mendapatkan beban lalu lintas dari kendaraan.

3.9.1 *Viscoelastic Layer*

Karakteristik pada material ini yaitu memiliki sifat beban yang diberikan akan mempengaruhi perilaku aspal. *Viscoelastic layer* bisa didapatkan dengan prinsip elastik-viscoelastik dengan cara melakukan *laplace transform* untuk menghilangkan variable waktu. *Creep compiances* diukur menggunakan 11 durasi waktu yang berbeda-beda setiap durasi nya. Analisis ini bertujuan untuk mengklasifikasi material *viscoelastic* sendiri yang akan dihitung menggunakan Persaman 3.20 berikut ini.

$$D(t)=\frac{\epsilon(t)}{\sigma} \tag{3.20}$$

Dengan $D(t)$ = *Creep compliance* pada durasi waktu tertentu,
$\varepsilon(t)$ = regangan pada durasi tertentu,
σ = tegangan.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian untuk melakukan Analisis pada ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran yang menjadi jalur utama untuk jalan lintas selatan. Jalan ini merupakan jalan utama untuk melintasi ketiga daerah tersebut. Peta Lokasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Ruas Jalan Cipatujah - Kalagenep - Pangandaran
(Sumber: P2JN Jawa Barat)

Lokasi pada ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran memiliki kondisi yang kurang memadai, sedangkan kendaraan yang melintas rata – rata kendaraan memiliki bobot besar. Berikut adalah spesifikasi jalan:

Status jalan = Arteri
Tipe Perkerasan = Perkerasan Lentur
Panjang Jalan (yang di Analisis) = 1.2 km
Lebar Jalan = 7 m

Struktur Perkerasan Lentur pada ruas tersebut menggunakan:

a. AC – WC = 40 mm

b. AC – BC = 60 mm

c. Lapis Pondasi Atas (LPA) = 150 mm

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknis untuk mengumpulkan data yang dilakukan pada analisis ini adalah studi literatur dan pengumpulan data sekunder yang bersangkutan, dari mulai peta dan titik yang akan diteliti, data LHR, tipe material untuk eksisting, data *CBR*. Data – data tersebut didapatkan dari kontraktor serta P2JN Jawa Barat. Untuk studi pedoman didapatkan dari buku yang berkaitan, majalah, artikel, tesis, jurnal, peraturan perundang – undangan, penelitian terdahulu serta *website.* Tujuan dari kajian Pustaka ini untuk mendapatkan teori yang dapat membantu data yang terkumpul serta untuk melakukan analisis tahap selanjutnya.

4.3 Analisis Data

Data yang sudah didapat dan dikumpulkan di lapangan serta data - data pendukung yang diperoleh yang bersangkut paut dengan inti permasalahan di atas dapat digunakan untuk melakukan proses analisis data.

1. Analisis desain tebal lapis perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993

   Langkah – Langkah desain tebal lapis perkerasan Metode Bina Marga 2017 adalah sebagai berikut:

   a. Menentukan Umur Rencana (UR)
   b. Analisis data lalu lintas harian rata – rata tahunan (LHRT)
   c. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas
   d. Menentukan faktor lajur rencana
   e. Menentukan faktor ekivalen beban
   f. Menghitung *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)*
   g. Menentukan desain pondasi jalan
   h. Melakukan pengujian *CBR* dilapangan
   i. Menentukan Desain Perkerasan

2. Analisis respon tegangan dan regangan perkerasan menggunakan desian Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 menggunakan program *KENPAVE* dengan menggunakan pemodelan viskoelastik. Berikut langkah – langkah sebagai berikut:
   a. Masukan judul file, jenis material, analisis kerusakan, akurasi hasil analisis kerusakan jumlah lapisan, letak koordinat arah Z, jenis respon yang dianalisis, jenis ikatan lapisan, satuan yang digunakan
      - *Input* material yang akan digunakan pada ” *linear 1 ”* unutk Analisa pemodelan elastik.
      -*Input* tipe material “*viscoelastic 3”* untuk Analisa pemodelan viskoelastik.
   b. Memasukan jumlah point yang akan dianalisa dan jarak vertikalnya
   c. Memasukan tebal dan nilai *Poisson’s Ratio* dari setiap lapisan perkerasan.
   d. Memasukan ikatan antar lapisannya
   e. Menentukan jumlah periode yang akan ditinjau dan nilai modulus elastisitas setiap lapisan.
   f. Memasukan data beban lalu lintas, dari mulai beban roda, radius kontak pembebanan, nilai beban, jarak antar roda arah Y dan X dan titik koordinat tegangan serta regangan yang ingin dianalisa
   g. Memasukan parameter lain seperti *non linear*, *viscoelastic, damage, Mohr Couloumb* akan mengikuti sendirirnya dengan nilai data yang sudah dimasukan sebelumnya
   h. Menentukan hasil output defleksi dari program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui nilai repetisi yang bisa membuat kegagalan pada struktur dilapangan.
3. Analisis sisa umur pelayanan perkarasan jalan.

Ketika sudah dilakukannya analisis perkerasan jalan, kemudian didapatkan nilai tegangan dan regangan, tegangan dan regangan tersebut dihubungkan dengan jenis kerusakan dengan nilai repetisi ban, maka bisa dilakukan analisis

prediksi sisa umur kelayakan perkerasan yang dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$RL = 100\left[1 - \left(\frac{N_P}{N_{1,5}}\right)\right] \quad (4.1)$$

Dengan

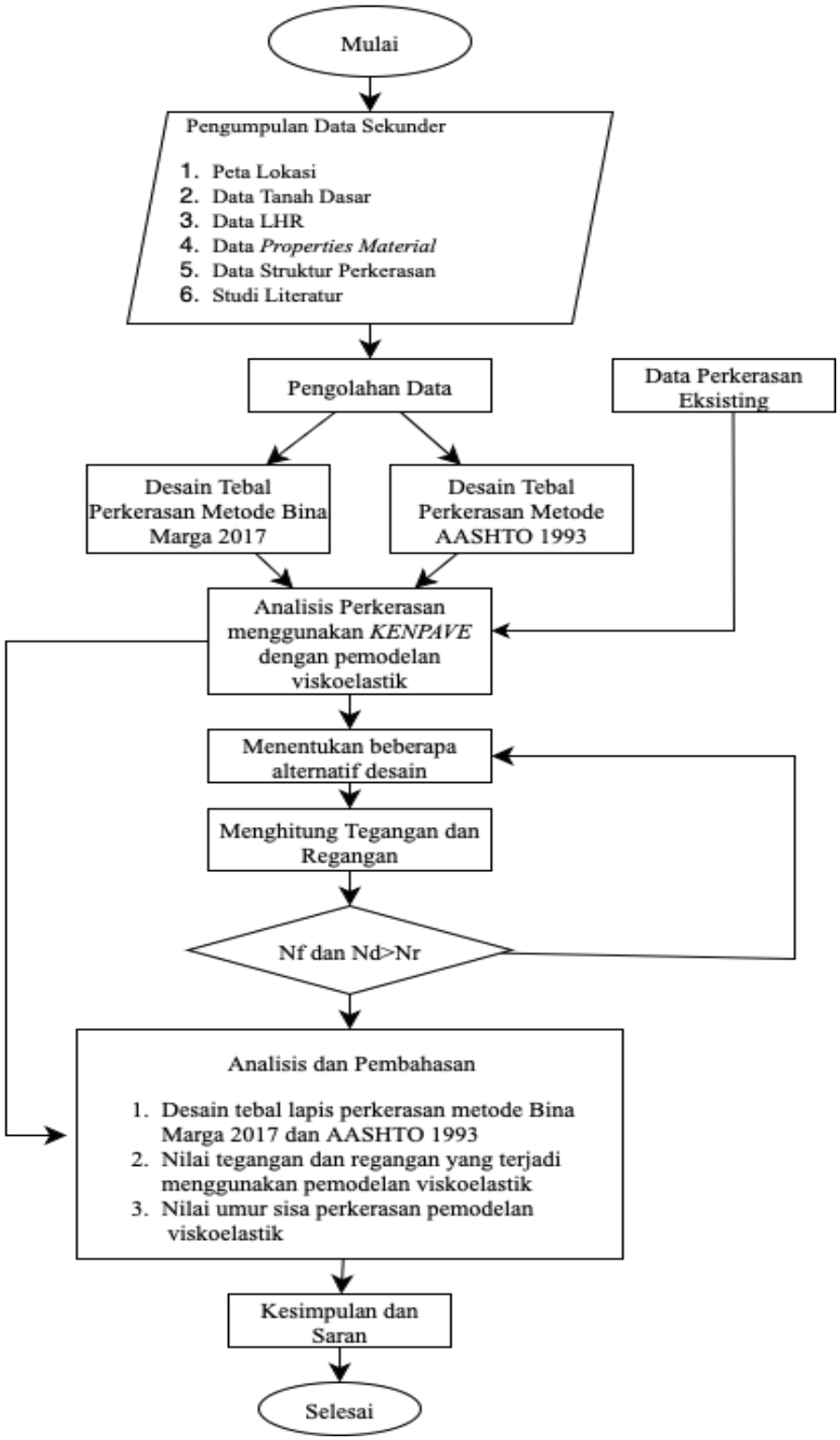
RL = *remaining Life (%),*

NP = *total Trraffic* yang telah melewati perkerasan (*ESAL),* dan

N1.5 = *total Traffic* pada kondisi perkerasan berakhir (*failure*) (*ESAL*).

4.4 Bagan Alur Penelitian (*Flow Chart*)

Desain perkerasan lentur memerlukan data-data yang berhubungan dengan objek yang akan dianalisis atau direncanakan. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data lalu lintas hari rata-rata (LHR) dan data daya dukung tanah dasar *(CBR)*, setelah data-data didapatkan, bisa dilanjutkan untuk melakukan perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2017 metode *AASHTO* 1993, kemudian dianalisis menggunakan program *KENPAVE* untuk menghasilkan tegangan-regangan pada stuktur perkerasan tersebut, dan juga mengetahui nilai sisa umur layak pada perkerasan eksisting dan perkerasan yang sudah di desain menggunakan metode Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993. Tahapan tersebut akan dijelaskan pada Bagan Alur pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Bagan Alur Penelitian (*Flow Chart*)

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Tebal Tiap Lapisan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017

5.1.1 Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang didapatkan dari P2JN Provinsi Jawa Barat. Data tersebut yaitu data tebal tiap lapis perkerasan eksisting dan data lalu lintas pada tahun 2020

5.1.2 Data Tebal Tiap Lapis Perkerasan Rekonstruksi

Ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran adalah jalan arteri dengan panjang 1,2 KM. Data tersebut didapatkan dari P2JN Provinsi Jawa Barat, tebal struktur perkerasan eksisting memiliki beberapa lapisan yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan (cm)
AC-WC	4
AC-BC	6
LPA kelas A	30

5.1.3 Kondisi Ruas Jalan

Kondisi ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran memiliki kriteria dan kondisi seperti pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5. 2 Kondisi Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran

No.	Data	Keterangan
1.	Jenis Jalan	Arteri
2.	Umur rencana (UR)	20 Tahun
3.	Pertumbuhan Lalu lintas (i)	14,84% (Hasil perhitungan LHR 2019 dan LHR 2020
4.	Distribusi Kendaraan	1 Jalur 2 Arah

(Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat 2020)

5.1.4 Data Lalu Lintas Harian

Data lalu lintas harian rata – rata pada ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran yang sudah didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5. 3 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran

Kode	Jenis Kendaraan	LHR 2019 (kend/jam)	LHR 2020 (kend/jam)
1	Sepeda Motor	10174	10052
2	Sedan, Jeep dan Station Wagon	2840	2071
3	Pick Up, Combi dan Mini Bus	246	1278
4	Pick Up, Mini Truk, dan Mobil Hataran	17	1065
5a	Bus Kecil	219	145
5b	Bus Besar	201	61
6a	Truk Ringan 2 Sumbu	278	659
6b	Truk Berat 2 Sumbu	396	467
7a	Truk Ringan 3 Sumbu	159	112
7b	Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	18	15
7c	Truk 4 Sumbu − Trailer	17	17

(Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat 2020)

5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas

Nilai *CESA* sudah didapatkan dari Tabel 5.3 di atas dan berikut ini adalah faktor faktor *CESA* yang akan digunakan.

a. Faktor pertembuhan lalu lintas

Fakor pertumbuan lalu lintas memiliki satuan persen pertahun (% tahun). Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas R(2022-2042) dapat ditemukan dengan menggunakan Persamaan 3.1, dengan cara memasukan umur rencana yaitu 20 tahun. Setelah itu akan didapatkan R dari umur rencana yaitu R(2022-2042)= 20,284

b. Faktor distribusi arah (D_D)

Bina Marga 2017 memaparkan untuk faktor ditribusi arah menggunakan nilai 0.3 sampai 0.7 sehingga diambil nilai 0.5 untuk nilai faktor distribusi arah.

c. Faktor distribusi lajur (D_L)

Faktor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel 3.3, dengan ketentuan untuk kendaraan niaga dengan jumlah lajur setiap arah adalah 1 maka memiliki nilai 1

d. VDF (*Vehicle Damage Factor)*

Setiap kendaraan memiliki nilai VDF masing – masing untuk digunakan dalam perhitungan ESA, nilai tersebut terdapat pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5. 4 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan

Kode	Jenis Kendaraan	Jawa	
		Beban Aktual	
		VDF 4	VDF 5
1	Sepeda motor	-	-
2,3,4	Mobil penumpang, *Pickup*	-	-
5A	Bus kecil	0,3	0,2
5B	Bus besar	1	1
6A	Truk ringan 2 sumbu	0,55	0,5
6B	Truk berat 2 sumbu	5,3	9,2
7A	Truk ringan 3 sumbu	8,2	14,4
7B	Truk 2 sumbu dan trailer penarik	11,8	18,2
7C	Truk 4 sumbu - trailer	11	19,8

(Sumber : Bina Marga 2017)

Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai *CESA* 4

Jenis Kendaraaan	LHR 2020 (kend/jam)	LHR 2022 (kend/jam)	VDF 4 Aktual	ESA4 (22-42)
1	10052	13257	-	-
2,3,4	4414	5822	-	-
5A	145	192	0,3	213230,5219
5B	61	81	1	299855,4214
6A	659	870	0,55	1771368,138
6B	467	616	5,3	12086024,44
7A	112	148	8,2	4492648,635
7B	15	20	11,8	873652,8328
7C	17	23	11	936585,4521
CESA 20 Tahun				20673365,44
				20.673.365,44
				20,67 x 10^6

Kendaraan 5A

LHR 2022 $= \text{LHR } 2020 \times (1+i)^{UR}$

$= 145 \times (1+14,84)^2$

$= 192$ kend/jam

$$R\ 2023\text{-}2042 = \frac{(1+0,01\times 14,84)^{19}-1}{0,01\times 14,84}$$

$=20,284$

ESA4 $= (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$

$= (145 \times 0,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 20,284$

$= 213.230,521$

Tabel 5. 6 Perhitungan Nilai *CESA* 5

Jenis Kendaraaan	LHR 2020 (kend/jam)	LHR 2022 (kend/jam)	VDF 5 Aktual	ESA5 (22-42)
1	10052	13257	-	-
2,3,4	4414	5822	-	-
5A	145	192	0,2	134945,4223
5B	61	81	1	284650,5001
6A	659	870	0,5	1528678,611
6B	467	616	9,2	19915695,23
7A	112	148	14,4	7489470,935
7B	15	20	18,2	1279170,148
7C	17	23	19,8	1600368,367
CESA 20 Tahun				32232979,22
				33.954.739,46
				33,95 x 10^6

LHR 2022 = LHR 2020 × $(1+i)^{UR}$

= 145 × $(1+14,84)^2$

= 192 kend/jam

ESA5 = $(\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$

= (145 × 0,2) × 365 × 0,5 × 1 × 20,284

= 134.945,4223

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh nilai $CESA^4$ sebesar 20,67 × 10^6 dan $CESA^5$ sebesar 33,95 × 10^6

Tabel 5. 7 Rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* Setiap Tahun

Tahun	*CESA4*	*CESA5*
2023	1.019.171,25	1.673.926,50
2024	2.039.854,95	3.350.337,11
2025	3.062.053,34	5.029.235,51
2026	4.085.768,68	6.710.625,39
2027	5.111.003,21	8.394.510,46
2028	6.137.759,19	10.080.894,41
2029	7.166.038,88	11.769.780,96
2030	8.195.844,53	13.461.173,82
2031	9.227.178,41	15.155.076,70
2032	10.260.042,79	16.851.493,33
2033	11.294.439,95	18.550.427,45
2034	12.330.372,15	20.251.882,78
2035	13.367.841,67	21.955.863,08
2036	14.406.850,80	23.662.372,08
2037	15.447.401,81	25.371.413,54
2038	16.489.497,01	27.082.991,22
2039	17.533.138,67	28.797.108,87
2040	18.578.329,10	30.513.770,28
2041	19.625.070,59	32.232.979,22
2042	20.673.365,44	33.954.739,46

5.1.6 Menentukan Tebal tiap Lapis Perkerasan menggunakan Metode Bina Marga 2017

Menentukan tebal dan jenis struktur yang akan didesain dapat ditentukan dari analisis beban lalu lintas. Dari Tabel 3.6 dapat dilihat beberapa bagan yang dapat menentukan jenis perkerasannya, dengan nilai *CESA* 4 sebesar 20,67 x 10^6 dapat menggunakan Bagan Desain 3 atau 3B. Bagan Desain 3 yaitu AC – WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan *CTB*, *AC* dengan *CTB,* sedangkan Bagan Desain 3B yaitu AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir.

Berdasarkan tabel tersebut, dipilihlah Bagan Desain 3 *AC* dengan *CTB*. Berikut ini adalah tabel untuk menunjukan pemilihan jenis struktur perkerasan pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Pemilihan Jenis Perkerasan

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

(Sumber : Bina Marga (2017))

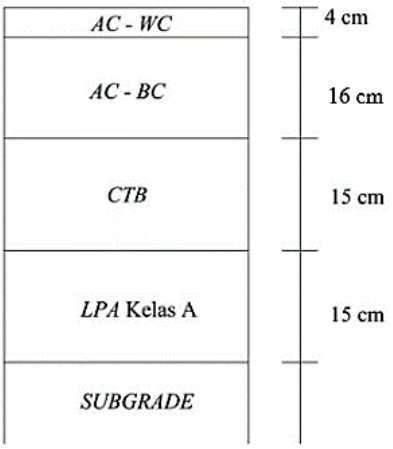
Untuk menentukan tebal struktur perkerasan lentur dapat dilihat dari nilai *CESA* 5 yang sudah didapatkan yaitu sebesar $33{,}95 \times 10^6$. Untuk mendapatkan tebal dari setiap lapisan sturuktur perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.9 yang menjadi acuan pada Bina Marga 2017.

Tabel 5. 9 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB

	F1[2]	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat Bagan Desain – 3A, 3B dan 3C	Lihat Bagan Desain – 4 Untuk alternatif perkerasan kaku[3]			
Repitisi beban sumbu Kumulatif 20 tahun padajalur rencana (10^6 ESA5)	>10 -30	>30 -50	>50 -100	>100 -200	>200 -500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	*Cement Treated Base (CTB)*				
AC WC	40	40	40	40	50
AC BC[4]	60	60	60	60	60
AC BC atau *AC Base*	75	100	125	160	220
CTB[3]	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : Bina Marga (2017)

Dari tabel di atas didapat kan ketebalan setiap lapis struktur perkerasan yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Tebal Perkerasan Lentur dengan CTB

Telah didapatkan jenis dan tebal struktur dari metode Bina Marga 2017. Setelah didapatkan dapat dilakukan analisis untuk mengeveluasi desain struktur yang sudah didapat menggunakan *Software KENPAVE*.

5.2 Perhitungan Tebal Tiap Lapisan Struktur Perkerasan dengan Metode *AASHTO 1993*

1. Menentukan Indeks Penilaian (Po dan Pt)

   Indeks nilai yang dipakai dapat ditentukan dari parameter yang sudah tertera pada buku pedoman metode *AASHTO* 1993. Nilai yang dipakai sebagai berikut:

   Fungsi Jalan = Arteri

   Initial serviceability (Po) =4.2 (diambil dari *AASHTO* 1993 halaman II-10)

   Terminal serviceability *index* jalur utama (Pt) = 2

   Total *loss of serviceability* (ΔPSI) = Po – Pt = 4.2 – 2 = 2.2

2. Reliabilitas (R)

   Tingkat reliabilitas dapat ditentukan dari fungsi jalan yaitu Arteri, dengan fungsi jalan tersebut maka nilai reliabilitas (R) dipakai sebesar 80%, nilai simpangan baku normal (Zr) sebesar -0.841, nilai *Standard deviation* (So) untuk perkerasan lentur So = 0.40-0.50 dipakai 0.4 (diambil dari *AASHTO* 1993 halaman I-62).

3. *Resilient Modulus* (Mr)

   a. *Resilient Modulus Sub-grade* (tanah dasar) (M_R) :

      - Mr = Cr (750 – 3000) x *CBR* (psi)
      - Mr = 1500 x *CBR*
      - Mr = 1500 x 7 = 10500 psi

   b. *Resilient Modulus Sub-base* (LPA) (M_R) :

      - Mr = 1500 x 90 = 135000 psi

   c. *Resilient Modulus Base* (LPB) (M_R) :

      - Mr = 1500 x 60 = 90000 psi

d. Koefisien drainase

- Kualitas drainase : Baik
- Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan air : 1 hari
- Persen waktu perkerasan dalam keadaan lembab – jenuh : 1-5
- Desain parameter koefisien drainase diambil : mi = 1.2

e. Koefisien *layer*

Koefisien layer *surface* AC WC dan AC BC

- *Marshall stability* = 1.000 kg = 2.204 lb
- Elastis / *reslient modulus* : $E_{AC} \geq 360.000$ psi
- *Structural layer coefficient* : ai = 0,4

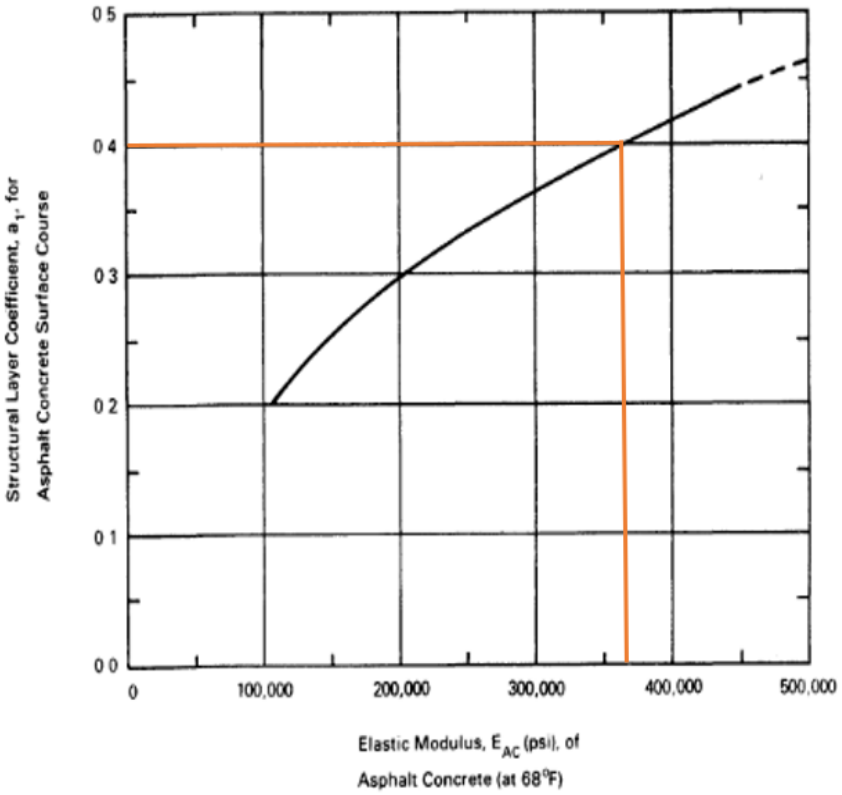
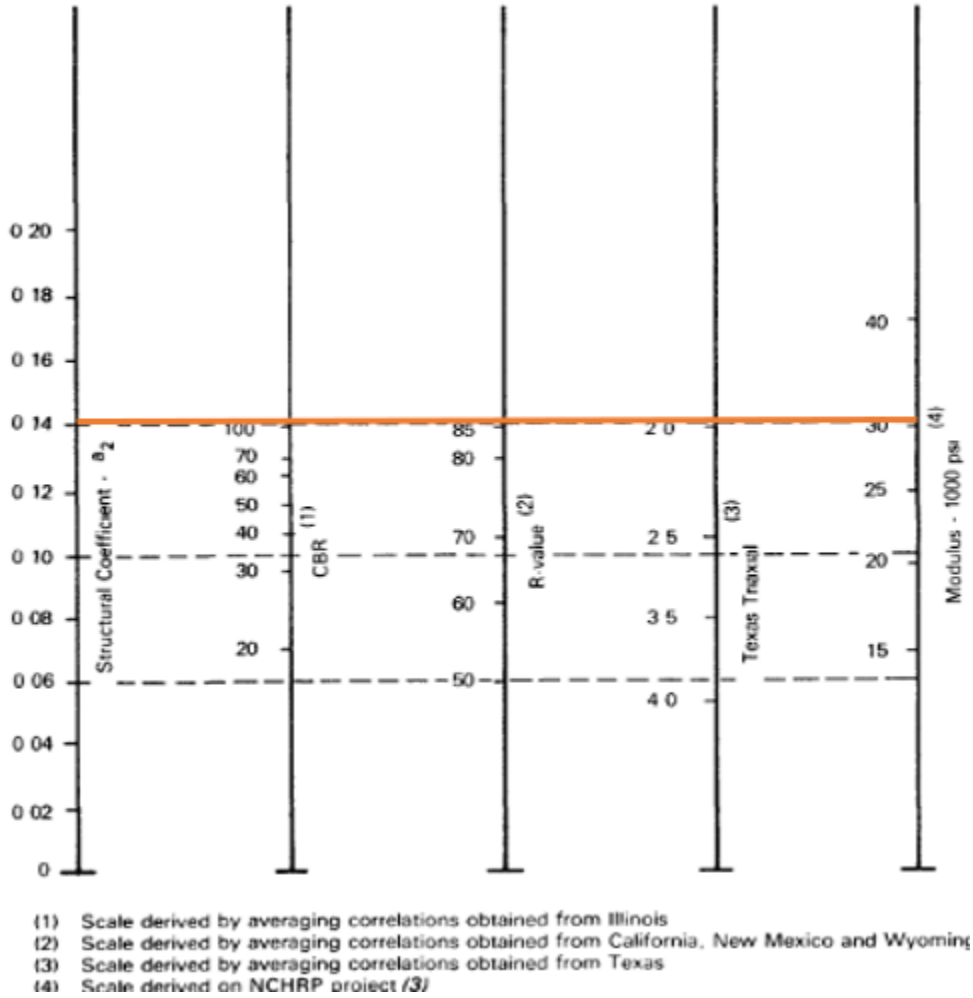


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

Gambar 5.2 Nilai *Modulus Resilient* (M_R) E_{AC}

Koefisien layer *base* agregat kelas A

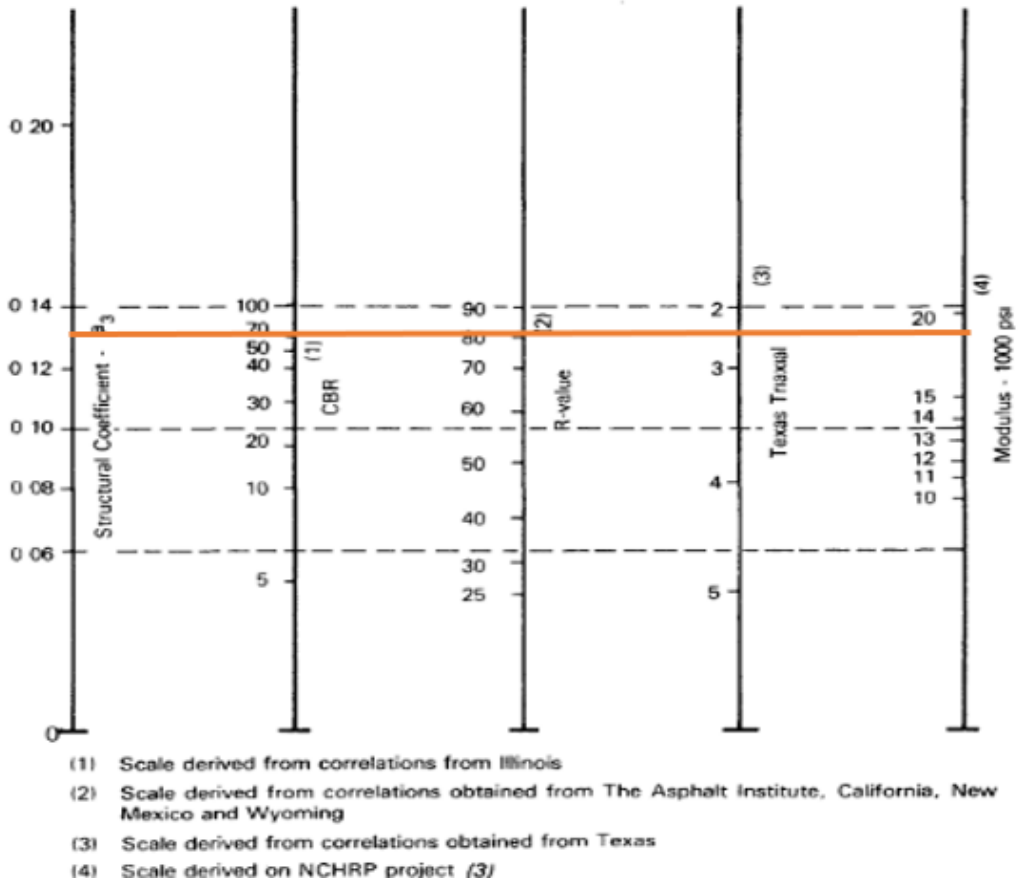
- CBR = 100
- *R Value* = 85
- *Structural layer coefficient* : ai = 0.14



Gambar 5.3 Nilai *Modulus Resilient* (M_R) LPA

Koefisien layer sub-*base* agregat kelas B

- CBR = 70
- *R Value* = 80
- *Structural layer coefficient* : ai = 0.13



Gambar 5.4 Nilai *Modulus Resilient* (M_R) LPB

f. *Structure number (SN)*

$$SN = a1d1 + a2D2m2 + a3D3m3$$

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 9{,}36 \log_{10}(SN+1) - 0{,}20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}\right]}{0{,}40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32 \log_{10} M_R - 8{,}07$$

Structure number AC – WC & AC - BC (SN_1)

ESAL (W18)	Log10 (W18)	*SN*1	ZR.So	9,36log10(*SN* +1)-0,2	Log10 (ΔPS/4,2-1,5)/ 0,4+109 4/(SN+1) ^5,19	2,32. Log10 MR8,07	*Control*
33954739	8,221933546	2.37	-0,3364	4,740004969	-0,023184737	3.832374	8,2127946

Structure number LPA (SN_2)

ESAL (W18)	**Log10 (W18)**	***SN*2**	**ZR.So**	**9,36log$_{10}$(*SN* +1)-0,2**	**Log10 (ΔPS/4,2-1,5)/ 0,4+109 4/(SN+1) ^5,19**	**2,32. Log10 MR8,07**	***Control***
33954739	8,221933546	2,83	-0,3364	5,254057499	-0,0038696257	3.423843	8,3028039

Structure number LPB (SN_3)

ESAL (W18)	**Log10 (W18)**	***SN*3**	**ZR.So**	**9,36log$_{10}$(*SN* +1)-0,2**	**Log10 (ΔPS/4,2-1,5)/ 0,4+109 4/(SN+1) ^5,19**	**2,32. Log10 MR8,07**	***Control***
33954739	8,221933546	4.93	-0,3364	7.41632014	-0,119278381	1,259159	8,2198009

f. Tebal perkerasan (Di)

Dari tabel diatas tabel nilai *structural number* telah didapatkan dari setiap struktur lapis perkerasan, maka dapat dilanjutkan perhitungan untuk mendapatkan tebal struktur lapis perkerasan sebagai berikut.

Lapis Permukaan *Surface* (D_1)

$D_1 = \frac{SN1}{a1}$

$= \frac{2.37}{0.44}$

= 5,39 inch = 13,69 cm ≈ 14 cm

Lapis Permukaan Base (D_2)

$D_2 = \frac{SN2-a1.D1}{a2.m2}$

$= \frac{2.83-0.44\ x\ 5,39}{0,138\ x\ 1.2}$

= 2,42 inch = 6,14 cm ≈ 7 cm < Dmin, maka gunakan 15 cm

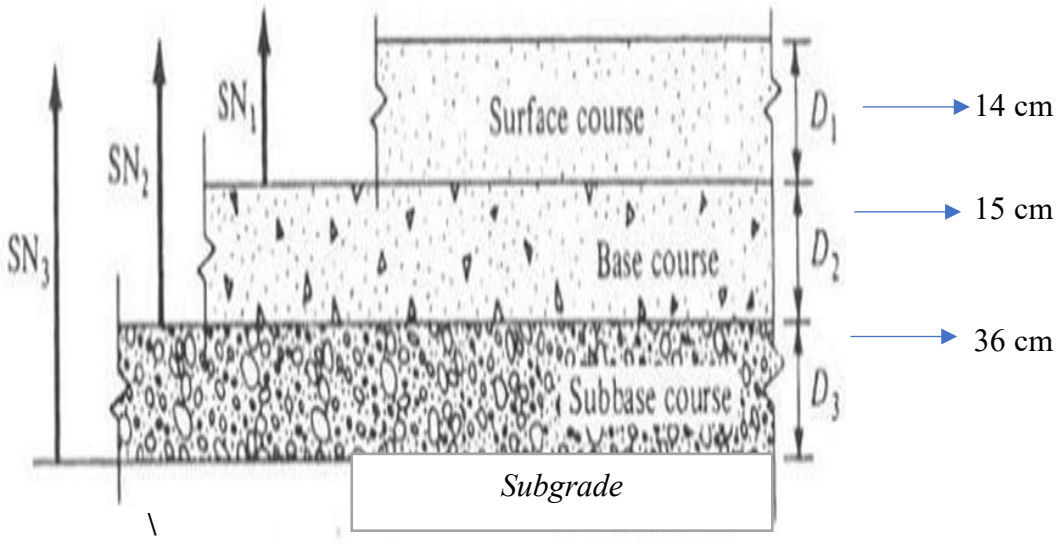
Lapis Permukaan *Subbase* (D_3)

$$D_3 = \frac{SN3 - a1.D1 + a2.m2.D2}{a3.m3}$$

$$= \frac{5{,}51 - 0.44\ x\ 5{,}39 + 0.138\ x\ 1.2\ x\ 2{,}42}{0.127\ x\ 1.2}$$

$$= 13{,}84 \text{ inch} = 35{,}15 \text{ cm} \approx 36 \text{ cm}$$

Setelah dilakukan analisis sebelumnya, maka dapat disimpulkan tebal setiap lapis struktur perkerasan yang didesain mengunakan metode *AASHTO* 1993 dapat dilihat pada Gambar 5.5 Berikut ini.



Gambar 5.5 Tebal Perkerasan Metode *AASHTO* 1993

5.3 Evaluasi Tebal Setiap Lapis Struktur Menggunakan *KENPAVE*

Evaluasi tebal tiap lapis struktur perkerasan menggunakan program *KENPAVE* ini untuk mencari nilai tegangan-regangan serta lendutan. Nilai nilai yang dibutuhkan seperti nilai *Poisson's Ration* dan modulus elastisitas pada setiap lapisan struktur perkerasan. Hasil yang akan didapatkan adalah nilai repetisi beban dari nilai regangan pada lapisan *surface* dan dibawah lapis *subbase*. Desain struktur yang akan dievaluasi adalah tebal eksisting yang sudah ada, desain menggunakan metode Bina Marga 2017 menggunakan *CTB,* dan metode *AASHTO* 1993. Di bawah ini adalah Tabel 5.10 rekapitulasi tebal desain struktur perkerasan.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan

Lapis Perkerasan	Eksisting (mm)	Bina Marga 2017 (mm)	*AASHTO* 1993 (mm)
Surface	40	40	140
Base	60	160	150
Subbase	300	300	360

5.3.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan Program *KENPAVE* dengan Permodelan Viskoelastik.

Tahap ini adalah tahap mengevaluasi tebal desain struktur perkerasan eksisting yang dianalisis menggunakan program *KENPAVE* yang akan ditemukan beberapa kemungkinan kerusakannya. Berikut data data yang digunakan dan dimasukan pada program *KENPAVE*.

1. Data yang diperlukan untuk analisis *KENPAVE*

Di bawah ini adalah data dari jenis-jenis material dari setiap lapis perkerasan terdapat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan

AC-WC	Modulus Elastisitas (Mpa)	1100
	Poisson's Ratio	0,4
AC-BC	Modulus Elastisitas (Mpa)	1200
	Poisson's Ratio	0,4
AC Base	Modulus Elastisitas (Mpa)	1600
	Poisson's Ratio	0,4
CTB	Modulus Elastisitas (Mpa)	500
	Poisson's Ratio	0,35
LPA Kelas A	Modulus Elastisitas (Mpa)	150
	Poisson's Ratio	0,35
Subgrade	Modulus Elastisitas (Mpa)	60
	Poisson's Ratio	0,45

Sumber : Bina Marga (2017)

2. Penggunaan *KENPAVE* untuk Mengevaluasi Tebal Struktur Perkerasan

Penggunaan *KENPAVE* ini bertujua untuk menghitung tegangan-regangan pada perkerasan lentu. Tebal struktur perkerasan eksisting ini yang akan dihitung menggunakan *KENPAVE.* Ketika *KENPAVE* dibuka tampilan pertama dari program ini adalah *Main Screen*, berikut contoh gambar ditunjukan pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.6 Tampilan Awal *KENPAVE*

Pilihlah *LAYERINP* pada menu tersebut. Setelah dipilih *LAYERINP* maka akan masuk kepada menu selanjutnnya untuk melakukan *Input* data pada setiap *Toolbar.*

a. *General*

Toolbar pertama ini yaitu untuk mengisi nilai nilai pada *Toolbar General* ini. *Toolbar* akan berhubungan dengan semua *Toolbar* berikut berikutnya. Berikut tata cara pengisian *Toolbar General* pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Data Masukan pada Menu *General*

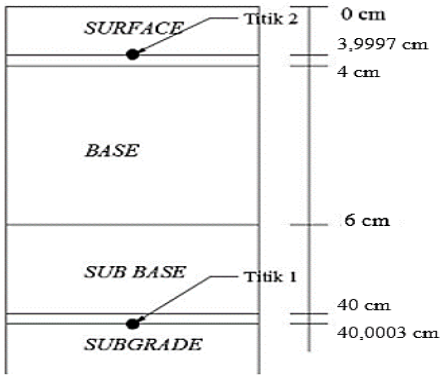
Istilah	Nilai	Keterangan
Title	Eksisting	Diisi sesuai dengan desain yang dimasukkan
MATL	1	Analisis lapisan perkerasan dengan metode linier

Lanjutan Tabel 5.12 Data Masukan pada Menu *General*

Istilah	Nilai	Keterangan
NDAMA	0	Tidak adanya analisis kerusakan
NPY	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NLG	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
DEL	0,001	Standar akurasi
NL	4	Jumlah *layer* perkerasan yang dianalisis
NZ	4	Letak titik koordinat arah Z yang akan dianalisis
ICL	80	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NSDT	9	Untuk nilai tegangan-regangan dan vertikal *displacement*
NBOND	1	Semua lapisan saling mengikat
NLBT	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NLCT	1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NUNIT	1	SI (Standar International

b. *Zcoord*

Toolbar ini diisi sesuai dengan *Toolbar* sebelumnya yaitu *General*. *Toolbar* ini berfungsi untuk mengetahui titik tinjau kerusakan, titik tinjau kerusakannya disesuaikan dengan Nilai NZ yaitu 4 titik. Titik tinjau 1 terletak pada bagian bawah perkerasan, pada titik tinjau ini akan menganalisis kerusakan *Permanent Deformation*. Untuk titik tinjau 2 terletak pada bagian atas perkerasan. Pada titik tinjau ini akan menganalisis kerusak *Rutting* dan *Fatigue Cracking*. Berikut gambar penempatan titik tinjau pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Titik Tinjauan Kerusakan

c. *Layer*

Pada *Toolbar Layer* ini nilai *Poisson's Ratio* dari setiap lapisan struktur perkerasan di *Input* pada *Toolbar* tersebut agar bisa menganalisis. Berikut Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Data *Input Layer*

No *Layer*	*Thickness*	*Poisson's Ratio*
1	4	0,4
2	6	0,4
3	30	0,35
4	∞	0,45

d. *Moduli*

Data-data yang diperlukan pada *Toolbar Moduli* adalah nilai modulus elastisitas dari setiap lapis struktur perkerasan. Nilai-nilai modulus elastisitas dari setiap lapis perkerasan terdapat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 14 Data *Input Moduli*

No.	Modulus Elastisitas (kPa)	Bahan
1	1100000	*AC-WC*
2	1200000	*AC-BC*
3	150000	LPA Kelas A
4	60000	*Subgrade*

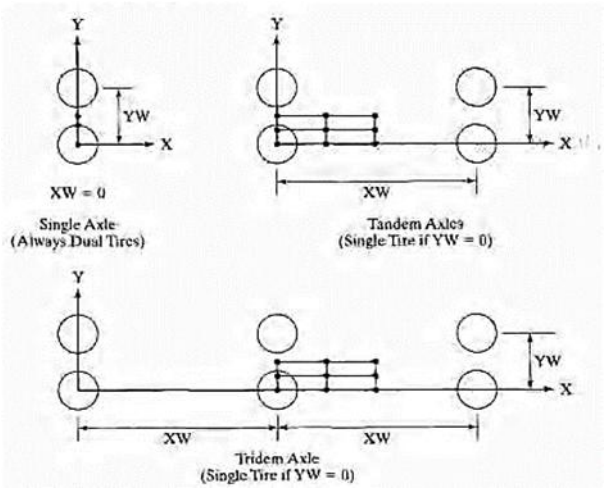
e. *Load*

Pada *Toolbar Load* meng *Input* beberapa nilai. Berikut ini Tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Data *Input Load*

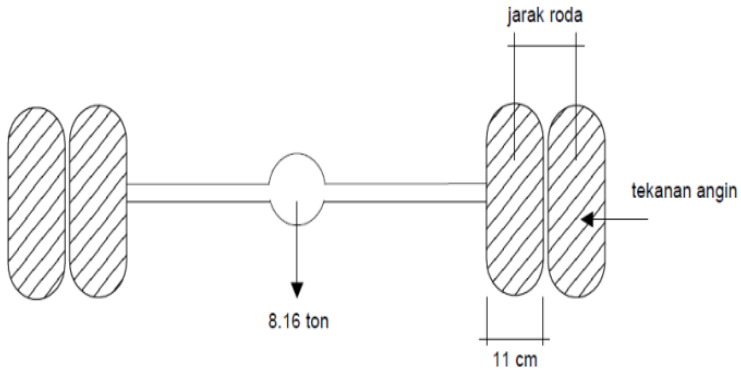
Data No.	1	Grup
Load	1	*Single axle load, roda gandar tunggal*
CR	11	Berdasarkan jarak antar ban (cm)
CP	550	Nilai tekanan ban (kPa)
YW	33	Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*
XW	0	Berdasarkan *Plan View of Multiple Wheels*
NPT or NR	3	Jumlah titik koordinat tinjaun

Pada analisis ini menggunakan *Single Axle With Dual Tires*, nilai *XW* dan dan *YW* didapatkan dari *Plan view of Multiple Wheels* pada Gambar 5.8. Untuk nilai *NPT* dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



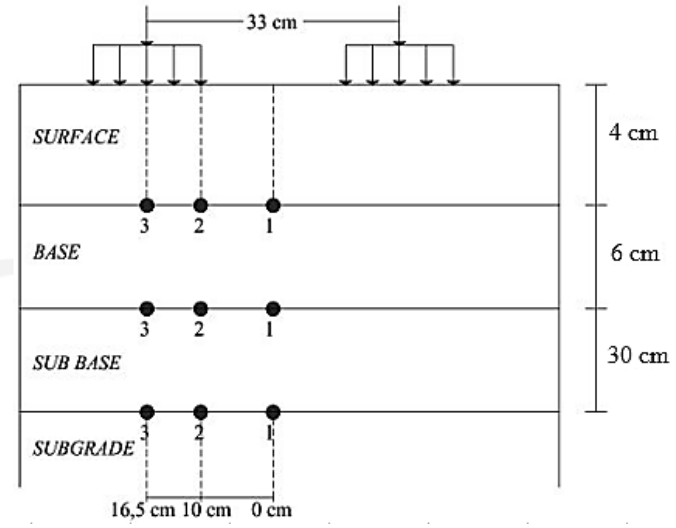
Gambar 5.8 Plan View of Multiple Wheels

Sumber : Huang (2004)



Gambar 5.9 Sumbu Standar Ekivalen di Indonesia

(Sumber: Sukirman (2010))



Gambar 5.10 Letak Titik Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda

Setelah semua data sudah dimasukan kepada setiap *Toolbar* maka dapat melanjutkan dengan menyimpan *File* dan lalu kembali kepada menu utama. Setelah itu dapat melakukan peninjauan hasil dari analisis dengan cara membuka menu *KENLAYER*. Proses analisis tersebut akan muncul dengan format *file '.textdocument'*.

f. *Viscoeslastic*

Pada menu ini terdapat beberapa toolbar yaitu *general, time, creep dan temperature.* Berikut ini langkah langkah untuk mengisi pada menu *viscoelastic*.

a. Genereal

Langkah pertama yang dilakukan yaitu mengisi nilai pada *Toolbar General*. Berikut Tabel 5.16 tata cara mengisi nilai pada *general.*

Tabel 5. 16 Menu *General* Dengan Pendakatan *Viscoelastic*

Istilah	Nilai	Keterangan
DUR	0.1	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*
NVL	2	Analisis lapisan perkerasan dengan viscoelastis
NYTME	11	Mengikuti ketentuan *KENPAVE*

b. Time

Nilai waktu yang diinput pada *toolbar time* pada menu *viscoelastic* terdapat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5. 17 *Time of Duration for Creep Compliance*

Sequence	***Time* (waktu)**
1	0,001
2	0,003
3	0,01
4	0,03
5	0,1
6	0,3
7	1
8	3
9	10
10	30
11	100

Sumber: Huang (2004)

c. Layer

Nilai *Beta* (β) = 0,113

Suhu = 25^{o} C

d. Creep Compliance

Pada menu ini nilai yang harus diinput yaitu nilai *creep compliance* sesuai satuan waktu yang sudah tersedia, nilai tersebut memiliki satuan Kpa dan akan terkonversikan secara otomatis. Berikut tabel 5.18 yang berisi nilai *creep compliance*.

Tabel 5. 18 Nilai *Creep Compliance*

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

(Sumber: Huang,2013)

3. Hasil Analisis *KENLAYER*

Hasil dari program *KENLAYER* adalah nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap lapisan desain struktur perkerasan jalan. Berikut ini adalah Tabel 5.19 nilai tegangan dan regangan dari setiap lapis perkerasan ketika struktur perkerasan jalan mengalami pembebanan pada titik koordinat yang ditinjau.

Tabel 5. 19 *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan Viskoelastik-Eksisting

Pengulangan Beban	*Horizontal Strain* pada kedalaman 3,9997	*Vertical Strain* pada kedalaman 3,9997	*Vertical Strain* pada kedalaman 40,0003
1	0,0000249	0,0003361	0,0011550
2	0,0000548	0,0000781	0,0011840
3	0,0001029	0,0001617	0,0011660
Maksimum	0,0001029	0,0003361	0,0011840

Dari tabel di atas didapatkan nilai regangan pada bagian *Surface* sebesar 0,0001029, nilai tersebut adalah hasil analisa kerusakan *Fatigue Cracking*. Pada kerusakan *Rutting* dan *Permanent Deformation* mendapatkan nilai 0,003361 dan 0,0011840.

Hasil regangan dan tegangan yang sudah didapatkan lalu dihitung menggunakan Persamaan 3.16 sampai Persamaan 3.18. Persamaan tersebut untuk menghitung nilai kerusakan *fatigue cracking, rutting* dan *permanent deformation*.

a. Perhitungan jumlah repitisi beban kerusakan *fatigue cracking*

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

$Nf = 0{,}0796\ (0.0001029)^{-3{,}921}\ |1200000|^{-0{,}854}$

$Nf = 7{,}190E{+}06$ *ESAL*

b. Perhitungan nilai Nd kerusakan *rutting*

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

$N_d = 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0003361)^{-4{,}477}$

$N_d = 4.854E{+}06$ *ESAL*

c. Perhitungan nilai Nd kerusakan *permanent deformation*

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

$N_d = 1{,}365 \times 10^{-9}(0{,}0011840)^{-4{,}477}$

$N_d = 1.729E{+}04$ *ESAL*

4. Umur Sisa Layan Perkerasaan

Setelah didapatkan nilai-nilai kerusakan perkerasan dari hasil analisa di atas, maka dapat dilakukan perhitungan nilai sisa umur perkerasan

$$RL_{Fatigue} = 100 \times (1 - \frac{N_p}{N1{,}5})$$

$$= 100 \times (1 - \frac{1.673.926{,}50}{7.190.349{,}66}) = 76.720\ \%$$

$$RL_{Rutting} = 100 \times (1 - \frac{N_p}{N1{,}5})$$

$$= 100 \times (1 - \frac{1.673.926{,}50}{4.854.372{,}75}) = 65{,}517\ \%$$

$$RL_{Deform} = 100 \times (1 - \frac{N_p}{N1{,}5})$$

$$= 100 \times (1 - \frac{1.673.926{,}50}{17.827{,}69}) = \text{-}9.582\ (\textit{Fail})$$

Berikut ini adalah hasil nilai analisis beban lalu lintas dengan desain eksisting menggunakan pendekatan *viscoelastic* pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 5	Repetisi Beban (*ESAL*)		Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	7,190E+06	Nf < Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *rutting*	4,854E+06	Nf < Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *deformation*	0,01729E+06	Nf < Nr (*no*)

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.20 di atas, bisa dilanjukan dengan menghitung umur sisa layan menggunakan Persamaan 3. dan berikut hasil dari perhitungan umur sisa layan pada Tabel 5.21.

Tabel 5. 21 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Eksisting (%)

Tahun	Np	*Fatique* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
1	1.673.926,50	76,720	65,517	*Fail*
2	3.350.337,11	53,405	30,983	
3	5.029.235,51	30,056	*Fail*	
4	6.710.625,39	6,672		
5	7.886.844,15	*Fail*		

5.4 Evaluasi Desain Perkerasan Dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 Program *KENPAVE.*

5.4.1 Desain Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017.

Desain struktur perkerasan jalan yang sudah ditentukan menggunakan Bina Marga 2017 yaitu menggunakan *CTB* akan dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan *viscoelastic*, yang akan didapatkan nilai tegangan dan regangan dari setiap lapisan yang tertera pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5. 22 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Bina Marga 2017 menggunakan *CTB*

Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* pada kedalaman 13,9997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 13,9997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 50,0003**
1	0,0001502	0,000232	0,000348
2	0,0001503	0,000168	0,000377
3	0,000152	0,000187	0,000379
Maksimum	0,000152	0,000232	0,000379

Berikut adalah hasil dari analisis beban lalu lintas dengan desain Bina Marga 2017 yang dianalisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai dari perkerasan tersebut dengan pemodelan *viscoelastic* pada ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran pada Tabel 5.23.

Tabel 5. 23 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* dengan Pendekatan *Viscoelastic*

CESA 5	Repetisi Beban (*ESAL*)		Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	1,556E+06	Nf < Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *rutting*	25,37E+06	Nd<Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *deformation*	2,825E+06	Nd<Nr (*no*)

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.23 di atas, bisa dilanjukan dengan menghitung umur sisa layan menggunakan Persamaan 3. dan berikut hasil dari perhitungan umur sisa layan pada Tabel 5.24

Tabel 5. 24 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* (%) Dengan Pemodelan *Viscoelastic*

Tahun	Np	*RL Fatique* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
1	1.673.926,50	*Fail*	93,402	40,747
2	3.350.337,11		86,794	*Fail*
3	5.029.235,51		80,177	
4	6.710.625,39		73,550	
5	8.394.510,46		66,912	
6	10.080.894,41		60,265	
7	11.769.780,96		53,609	
8	13.461.173,82		46,942	
9	15.155.076,70		40,265	
10	16.851.493,33		33,579	
11	18.550.427,45		26,882	
12	20.251.882,78		20,176	
13	21.955.863,08		13,459	
14	23.662.372,08		6,733	
15	25.371.413,54		*Fail*	

5.4.2 Desain Struktur Perkerasan dengan Metode *AASHTO* 1993.

Desain struktur perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 sudah didesain ketebalannya menggunakan buku pedoman *AASHTO* 1993, setelah didapatkan ketebalan setiap lapisannya dilanjutkan dengan menganalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan *viscoelastic,* yang akan didapatkan nilai tegangan dan regangan dari setiap lapisan yang tertera pada Tabel 5.25 Berikut ini.

Tabel 5. 25 Nilai Vertical dan Horizontal Strain Pendekatan Viscoelastic AASHTO 1993

Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* pada kedalaman 13,9997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 13,9997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 65,0003**
1	0,000386	0,000506	0,000322
2	0,000370	0,000305	0,000349
3	0,000380	0,000364	0,000346
Maksimum	0,000386	0,000506	0,000349

Berikut adalah hasil dari analisis beban lalu lintas dengan desain *AASHTO* 1993 yang dianalisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai dari perkerasan tersebut dengan pemodelan *viscoelastic* pada Tabel 5.26.

Tabel 5. 26 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan *AASHTO* 1993 dengan Pendekatan *Viscoelastic*

CESA 5	Repetisi Beban (*ESAL*)		Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	0,07205E+06	Nf < Nr (no)
33,9E+06	Nd *rutting*	0,7795E+06	Nd < Nr (no)
33,9E+06	Nd deformation	4,122E+06	Nd < Nr (no)

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.26 di atas, bisa dilanjukan dengan menghitung umur sisa layan menggunakan Persamaan 3. dan berikut hasil dari perhitungan umur sisa layan pada Tabel 5.27.

Tabel 5. 27 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan *AASHTO* 1993(%)

Tahun	Np	RL Fatique (%)	Rutting (%)	Permanent Deformation (%)
1	1.673.926,50	*Fail*	*Fail*	59,393
2	3.350.337,11			18,725
3	5.029.235,51			*Fail*

5.5 Evaluasi Alternatif Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993

5.5.1 Evaluasi Alternatif Menggunakan Bina Marga 2017 Dengan Desain *CTB*

Dari hasil analisis program *KENPAVE* pada desain eksisting mendapatkan hasil yang kurang baik untuk menahan beban lalu lintas, oleh karena itu direncakan kembali menggunakan desain tebal perkerasan alternatif. Berikut adalah desain alternatif yang akan dianalisis.

AC-WC = 40 mm

AC-BC = 500 mm

CTB = 150 mm

LPA Kelas A = 150 mm

Desain struktur perkerasan alternatif yang ditentukan menggunakan Bina Marga 2017 yaitu menggunakan *CTB* dianalisis menggunakan program *KENPAVE* pendekatan *viscoelastic*, didapatkan nilai tertera pada Tabel 5.28 berikut.

Tabel 5. 28 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Alternatif Bina Marga 2017 *CTB*

Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* pada kedalaman 33,997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 33,997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 64.003**
1	0,0000494	0,0000707	0,000128
2	0,0000522	0,0000769	0,000135
3	0,0000519	0,0000763	0,000134
Maksimum	0,0000522	0,0000769	0,000135

Berikut adalah hasil dari analisis beban lalu lintas dengan desain alternatif menggunakan Bina Marga 2017 *CTB* yang dianalisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai dari perkerasan tersebut dengan pemodelan *viscoelastic* pada Tabel 5.29.

Tabel 5. 29 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif Bina Marga 2017 *CTB* Dengan Pendekatan *Viscoelastic*

CESA 5	Repetisi Beban (*ESAL*)		Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	52,55E+06	Nf >Nr (yes)
33,9E+06	Nd *rutting*	3588E+06	Nd >Nr (yes)
33,9E+06	Nd deformation	289,1E+06	Nd>Nr (yes)

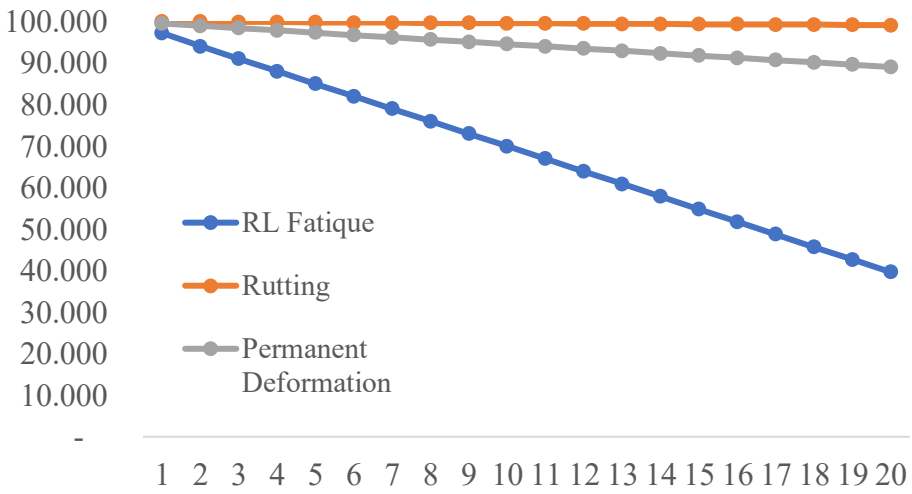
Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.29 di atas, bisa dilanjukan dengan menghitung umur sisa layan menggunakan Persamaan 3. dan berikut hasil dari perhitungan umur sisa layan pada Tabel 5.30.

Tabel 5. 30 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* (%)

Tahun	Np	*RL Fatique* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
1	1.673.926,50	96,814	99,953	99,421
2	3.350.337,11	93,624	99,907	98,841
3	5.029.235,51	90,429	99,860	98,260
4	6.710.625,39	87,230	99,813	97,679
5	8.394.510,46	84,025	99,766	97,096
6	10.080.894,41	80,816	99,719	96,513
7	11.769.780,96	77,602	99,672	95,929
8	13.461.173,82	74,383	99,625	95,344
9	15.155.076,70	71,160	99,578	94,758
10	16.851.493,33	67,931	99,530	94,171
11	18.550.427,45	64,698	99,483	93,584

Lanjutan Tabel 5.30 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* (%)

12	20.251.882,78	61,460	99,436	92,995
13	21.955.863,08	58,218	99,388	92,406
14	23.662.372,08	54,970	99,341	91,816
15	25.371.413,54	51,718	99,293	91,224
16	27.082.991,22	48,461	99,245	90,632
17	28.797.108,87	45,199	99,167	90,040
18	30.513.770,28	41,932	99,150	89,446
19	32.232.979,22	38,660	99,102	88,851
20	33.954.739,46	35,384	99,054	88,256



Gambar 5.11 Grafik *Remaining Life* Alternatif Bina Marga 2017 Dengan Perkerasan Pendekatan Viskoelastik

Berdasarkan dari grafik diatas dengan pendekatan viskoelastik didapatkan hasil sisa umur layan *fatique cracking* mengalami penururan yang paling curam sedangkan sisa umur layan untuk *rutting* dan *permanent deformation* mendapatkan hasil sisa umur layan yang sangat baik.

5.5.2 Evaluasi Alternatif Menggunakan *AASHTO* 1993

Dari hasil analisis program *KENPAVE* pada desain *AASHTO* 1993 mendapatkan hasil yang kurang baik untuk menahan beban lalu lintas, oleh karena itu direncakan 78embali menggunakan desain tebal perkerasan alternatif. Berikut adalah desain alternatif yang akan dianalisis.

AC WC = 40 mm
AC BC = 450 mm
LPA Kelas A = 150 mm
LPA Kelas B = 150 mm

Desain struktur perkerasan alternatif yang sudah ditentukan menggunakan *AASHTO* 1993 akan dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan *viscoelastic*, yang akan didapatkan nilai tegangan dan regangan dari setiap lapisan yang tertera pada Tabel 5.31 berikut ini.

Tabel 5. 31 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Alternatif *AASHTO* 1993

Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* pada kedalaman 38,9997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 38,997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 69,003**
1	0,0000845	0,000110	0,000152
2	0,0000899	0,000120	0,000160
3	0,0000894	0,000119	0,000160
Maksimum	0,0000899	0,000120	0,000160

Berikut adalah hasil dari analisis beban lalu lintas dengan desain alternatif *AASHTO* 1993 yang dianalisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai dari perkerasan tersebut dengan pemodelan *viscoelastic* pada Tabel 5.32

Tabel 5. 32 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif *AASHTO* 1993 dengan Pendekatan *Viscoelastic*

CESA5/20 Thn (Nr)	Repetisi Beban (*ESAL*)		Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	8,772E+06	Nf < Nr (no)
33,9E+06	Nd *rutting*	493,7E+06	Nd>Nr (yes)
33,9E+06	Nd *deformation*	133,2E+06	Nd>Nr (yes)

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.32 di atas, bisa dilanjukan dengan menghitung umur sisa layan menggunakan Persamaan 3. Dan berikut hasil dari perhitungan umur sisa layan pada Tabel 5.33.

Tabel 5. 33 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif *AASHTO* 1993(%)

Tahun	Np	*RL Fatique*	*Rutting*	*Permanent Deformation* (%)
1	1.673.926,50	80,918	99,661	98,743
2	3.350.337,11	61,808	99,321	97,484
3	5.029.235,51	42,669	98,981	96,224
4	6.710.625,39	23,502	98,641	94,961
5	8.394.510,46	4,306	98,300	93,697
6	10.080.894,41	*Fail*	97,958	92,431
7	11.769.780,96		97,616	91,162
8	13.461.173,82		97,274	89,892
9	15.155.076,70		96,931	88,620
10	16.851.493,33		96,587	87,347
11	18.550.427,45		96,243	86,071
12	20.251.882,78		95,898	84,793
13	21.955.863,08		95,553	83,514
14	23.662.372,08		95,208	82,233
15	25.371.413,54		94,861	80,949
16	27.082.991,22		94,515	79,664

Lanjutan Tabel 5.33 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Alternatif AASHTO 1993(%)

17	28.797.108,87		94,168	78,377
18	30.513.770,28		93,820	77,088
19	32.232.979,22		93,472	75,797
20	33.954.739,46		93,123	74,504

Dilihat dari hasil analisi alternatif *AASHTO* 1993 ,dapat disimpulkan umur sisa layan yang memenuhi pada bagian *Rutting* dan *Permanent Deformation.* Untuk hasil *Fatique Cracking* belum memenuhi umur layan yang sudah ditentukan. Meskipun setiap lapisan sudah mencapai ketebalan maksimalnya, tetapi beberapa kerusakan sudah terjadi sebelum umur rencana yang sudah ditentukan. Pada desain ini, terjadi perubahan material lapisan *Sub Base* yang sebelumnya LPA Kelas B akan dirubah menjadi LPA Kelas A, dan pada bagian *Base,* merubah material yang Sebelumnya LPA Kelas A menjadi *AC Base*.

5.5.3 Penggantian Material Pada Alternatif *AASHTO* 1993

Dari hasil analisis program *KENPAVE* pada desain alternatif *AASHTO* 1993 mendapatkan hasil yang kurang baik untuk menahan beban lalu lintas, oleh karena itu direncakan 80embali dengan pergantian material pada desain tebal perkerasan alternatif. Berikut adalah desain alternatif yang akan dianalisis.

AC WC = 40 mm
AC BC = 100 mm
AC BASE = 200 mm
LPA = 250 mm

Penggantian material pada desain struktur perkerasan alternatif yang sudah ditentukan menggunakan *AASHTO* 1993 akan dianalisis menggunakan program *KENPAVE* dengan pendekatan *viscoelastic*, yang akan didapatkan nilai tegangan dan regangan dari setiap lapisan yang tertera pada Tabel 5.34 berikut ini.

Tabel 5. 34 Nilai *Vertical* dan *Horizontal Strain* Pendekatan *Viscoelastic* Penggantian Material Desain Alternatif *AASHTO* 1993

Pengulangan Beban	***Horizontal Strain* pada kedalaman 13,997**	***Vertical Strain* pada kedalaman 14,000**	***Vertical Strain* pada kedalaman 59,003**
1	0,0000469	0,000204	0,000190
2	0,0000338	0,0000564	0,000204
3	0,0000470	0,0000965	0,000203
Maksimum	0,0000470	0,000204	0,000204

Berikut adalah hasil dari analisis beban lalu lintas dengan Penggantian Material desain alternatif *AASHTO* 1993 yang dianalisis menggunakan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai dari perkerasan tersebut dengan pemodelan *viscoelastic* pada Tabel 5.35.

Tabel 5. 35 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Penggantian Material Alternatif *AASHTO* 1993 dengan Pendekatan *Viscoelastic*

CESA5/20 Thn (Nr)	Repetisi Beban (*ESAL*)		Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	74,48E+06	Nf >Nr (yes)
33,9E+06	Nd *rutting*	45,59E+06	Nd>Nr (yes)
33,9E+06	Nd *deformation*	45,59E+06	Nd>Nr (yes)

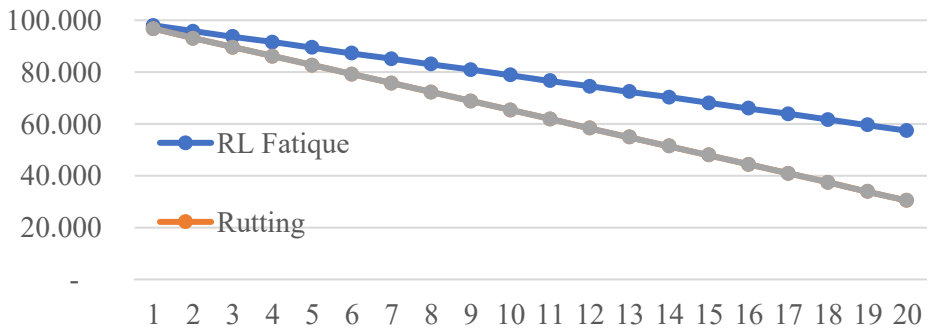
Berdasarkan perhitungan pada Tabel 5.35 diatas, bisa dilanjukan dengan menghitung umur sisa layan menggunakan Persamaan 3. Dan berikut hasil dari perhitungan umur sisa layan pada Tabel 5.36.

Tabel 5. 36 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Pergantian Material Desain Alternatif *AASHTO* 1993 (%)

Tahun	Np	*RL Fatique* (%)	*Rutting* (%)	*Permanent Deformation* (%)
1	1.673.926,50	97,753	96,328	96,328
2	3.350.337,11	95,502	92,650	92,650

Lanjutan Tabel 5.36 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Pergantian Material Desain Alternatif *AASHTO* 1993 (%)

3	5.029.235,51	93,248	88,967	88,967
4	6.710.625,39	90,990	85,279	85,279
5	8.394.510,46	88,730	81,585	81,585
6	10.080.894,41	86,466	77,886	77,886
7	11.769.780,96	84,198	74,181	74,181
8	13.461.173,82	81,927	70,470	70,470
9	15.155.076,70	79,653	66,755	66,755
10	16.851.493,33	77,375	63,033	63,033
11	18.550.427,45	75,094	59,306	59,306
12	20.251.882,78	72,810	55,574	55,574
13	21.955.863,08	70,522	51,836	51,836
14	23.662.372,08	68,231	48,092	48,092
15	25.371.413,54	65,937	44,343	44,343
16	27.082.991,22	63,639	40,588	40,588
17	28.797.108,87	61,337	36,828	36,828
18	30.513.770,28	59,033	33,062	33,062
19	32.232.979,22	56,724	29,291	29,291
20	33.954.739,46	54,413	25,514	25,514



Gambar 5.12 Grafik *Remaining Life* Alternatif *AASHTO* 1993 Dengan Perkerasan Pendekatan Viskoelastik

Berdasarkan dari grafik diatas dengan pendekatan viskoelastik didapatkan hasil sisa umur layan *fatique cracking* mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sisa umur layan *rutting* dan *permanent deformation* memiliki nilai yang sama, dengan demikian ketiga umur sisa layan sudah dapat memenuhi yang sudah ditentukan.

5.6 Pembahasan

Struktur perkerasan lentur pada ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran telah di analisis menggunakan metode mekanistik empiris, dengan demikian dari hasil analisis tersebut mendapatkan *output* sebagai berikut.

1. Desain struktur eksisting perkerasan lentur ruas pada ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran di desain menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017
2. Nilai tegangan dan regangan struktur perkerasan eksisting, Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993, dan alternatif desain untuk ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran di analisis menggunakan *software KENPAVE* menggunakan pendekatan viskoelastik
3. Desain alternatif struktur perkerasan lentur pada ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran di desain menggunakan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993
4. Penggantian material pada desain alternatif *AASHTO* 1993 ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran
5. Perbandingan sisa umur layan pada desain struktur perkerasan eksisting, Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993 dan desain alternatif dari kedua metode

5.6.1 Desain Struktur Eksisting Perkerasan Lentur Ruas Pada ruas Jalan Cipatujah –Kalapagenep-Pangandaran Desain Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017

Eksisting pada jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran di desain menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017, data yang diperlukan didapatkan melalui P2JN Jawa Barat yang sudah melakukan survei

untuk ruas jalan tersebut. Perencanaan desain struktur perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017. Data yang digunakan adalah LHR, *CBR,* faktor distribusi jalur, faktor distribusi arah, nilai *VDF.* Setelah direncanakan didapatkan desain perkerasan yang menggunakan material *CTB* untuk metode Bina Marga 2017, Berikut adalah Tabel 5.37 adalah rekapitulasi material perkerasan dan tebal dari perkerasan pada penelitian yang sudah dilaksanakan.

Tabel 5. 37 Rekapitulasi Tebal Desain Perkerasan Bina Marga 2017

Desain Tebal Perkerasan (cm)		
Eksisting	*CTB*	Alternatif *CTB*
4	4	4
-	-	-
5	16	45
-	-	-
-	15	15
30	15	15

Desain *AASHTO* 1993 diperoleh dari perhitungan menggunakan data yang LHR, faktor pertumbuhan lalu lintas, umur rencana, faktor distribusi arah dan faktor distribusi lajur. Setelah direncanakan peneliti bisa memilih material yang akan dipakai untuk desain tersebut lalu mendapatkan nilai tebal tiap material dari setiap perkerasan. Berikut adalah Tabel 5.38 rekapitulasi material perkeresan dan tebal dari perkerasan pada penelitian yang sudah dilaksanakan.

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Tebal Desain Perkerasan *AASHTO* 1993

Jenis Perkerasan	Desain Tebal Perkerasan (cm)		
	AASHTO 1993	Alternatif 1	Alternatif penggantian material
AC-WC	4	4	4
AC-BC	-	-	10
AC-BC	10	45	-
AC Base	-	-	20
LPA Kelas A	15	15	25
LPA Kelas B	36	15	-

5.6.2 Tegangan dan Regangan Yang Terjadi Pada Struktur Perkerasan Lentur Dianalisis Menggunakan Program *KENPAVE* Dengan Pendekatan Viskoelastik

Berikut adalah nilai tegangan dan regangan yang sudah dianalisis pada struktur perkerasan lentur dengan desain eksisting, Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993 dan desain alternatif direkapitulasi pada Tabel 5.39.

Tabel 5. 39 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum Pendekatan Viskoelastik Desain Eksisting

Desain Perkerasan	*Fatigue*		*Rutting*		*Permanent deformation*	
	Tegangan (kPa)	Regangan (10^{-6})	Tegangan (kPa)	Regangan (10^{-6})	Tegangan (kPa)	Regangan (10^{-6})
Eksisting	428,122	0,0152	454,683	0,0306	79,218	0,0801
BM 2017	51,774	0,0152	128,298	0,00232	23,075	0,00379
AASHTO 1993	357,096	0,00387	150,962	0,00506	21,759	0,00349
Alternatif BM 2017	54,785	0,0522	25,474	0,0769	8,098	0,00135
Alternatif *AASHTO 1993* (1)	103,812	0,0899	23,580	0,00120	10,003	0,00160
Alternatif *AASHTO 1993* (2)	134,247	0,0470	295,046	0,00204	13,037	0,0204

Perkerasan desain eksisting yang sudah di desain telah diketahui setelah dianalisis mengggunakan *software KENPAVE* dengan pendekatan viskoelastik dan didapatkan nilai tegangan dan regangan dengan *output* kerusakan *fatique cracking, rutting* dan *permanent deformation* yang tertera pada Tabel 5.40 dibawah ini.

Tabel 5. 40 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 20/LHR	Tipe Kerusakan	Repetisi Beban (*ESAL*)	Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	7,190E+06	Nf < Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *rutting*	4,854E+06	Nf < Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *deformation*	0,01729E+06	Nf < Nr (*no*)

Dari tabel 5.39. desain eksisting analisis dengan pendekatan viskoelastik yang sudah didapatkan dapat diketahui kerusakan pada desain eksisting *fatique cracking* sebesar 7,190E x 10^6 *ESAL, rutting* 4,854E x 10^6 *ESAL* dan *permanent deformation* 0,001729E x 10^6 *ESAL,* yang dimana desain eksisting belum mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan. Hal yang sama terjadi dalam penelitian, terdahulu oleh Utari & Fauziah (2024) bahwa desain eksisting yang sudah ada, belum mampu memenuhi umur rencana dan sisa umur layan, dilakukan desain metode Bina Marga 2017 dan material yang dipilih *CTB* dan *Ac Base.* Berikut Tabel 5.41 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Bina Marga 2017.

Tabel 5. 41 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Bina Marga 2017 Dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 20/LHR	Tipe Kerusakan	Repetisi Beban (*ESAL*)	Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	1,556E+06	Nf < Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *rutting*	25,37E+06	Nd<Nr (*no*)
33,9E+06	Nd *deformation*	2,825E+06	Nd<Nr (*no*)

Dari tabel 5.40 desain Bina Marga 2017 analisis dengan pendekatan viskoelastik yang sudah didapatkan dapat diketahui kerusakan pada desain eksisting *fatique cracking* sebesar 1,556E x 10^6 *ESAL, rutting* 25,37E x 10^6 *ESAL* dan *permanent deformation* 2,825E x 10^6 *ESAL,* yang dimana desain Bina Marga 2017 belum mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan. Berikut adalah Tabel 5.42 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain *AASHTO* 1993

Tabel 5. 42 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain *AASHTO* 1993 Dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 20/LHR	Tipe Kerusakan	Repetisi Beban (*ESAL*)	Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	0,07205E+06	Nf < Nr (no)
33,9E+06	Nd *rutting*	0,7795E+06	Nd < Nr (no)
33,9E+06	Nd *deformation*	4,122E+06	Nd < Nr (no)

Dari tabel 5.41 desain *AASHTO* 1993 analisis dengan pendekatan viskoelastik yang sudah didapatkan dapat diketahui kerusakan pada desain eksisting *fatique cracking* sebesar 0,07205E x 10^6 *ESAL, rutting* 0,7795E x 10^6 *ESAL* dan *permanent deformation* 4,122E x 10^6 *ESAL,* yang dimana desain *AASHTO* 1993 belum mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan

5.6.3 Desain Alternatif Struktur Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran Dengan Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993

Disaat dilakukan analisis tegangan - regangan, desain eksisting, desain Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993 tidak mampu menahan beban dilalui pada ruas jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran. Dengan demikian dibutuhkan desain alternatif yang mampu menahan beban lalu lintas sesuai dengan umur rencana yang sudah ditentukan. Desain alternatif Bina Marga 2017 memiliki ketebalan total sebesar 79 cm, *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 45 cm, *CTB* 15 cm dan LPA 15 cm. Desain alternatif *AASHTO* 1993 memiliki ketebalan total 79 cm, *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 45 cm, LPA 15 cm, LPB 36 cm. Berikut adalah Tabel 5.42 dan Tabel 5.43 rekapitulasi analisis beban dari setiap desain alternatif.

Tabel 5. 43 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Alternatif Bina Marga 2017 Dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 20/LHR	Tipe Kerusakan	Repetisi Beban (*ESAL*)	Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	52,55E+06	Nf >Nr (yes)
33,9E+06	Nd *rutting*	3588E+06	Nd >Nr (yes)
33,9E+06	Nd *deformation*	289,1E+06	Nd>Nr (yes)

Dari tabel 5.42 desain alternatif Bina Marga 2017 analisis dengan pendekatan viskoelastik yang sudah didapatkan dapat diketahui kerusakan pada desain alternatif Bina Marga 2017 *fatique cracking* sebesar 52,55E x 10^6 *ESAL, rutting* 3588E x 10^6 *ESAL* dan *permanent deformation* 289,1E x 10^6 *ESAL,* yang dimana desain alternatif Bina Marga 2017 sudah mampu menahan sisa umur layan. Alternatif desain dengan penambahan ketebalan pada penelitian Arianto & Fauziah (2023) dilakukan penambahan tebal pada struktur pada lapisam *AC-BC* agar mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan dan sudah lebih dari umur rencana.

Tabel 5. 44 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Alternatif *AASHTO* 1993 Dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 20/LHR	Tipe Kerusakan	Repetisi Beban (*ESAL*)	Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	8,772E+06	Nf < Nr (no)
33,9E+06	Nd *rutting*	493,7E+06	Nd>Nr (yes)
33,9E+06	Nd *deformation*	133,2E+06	Nd>Nr (yes)

Dari tabel 5.42 desain alternatif *AASHTO* 1993 analisis dengan pendekatan viskoelastik yang sudah didapatkan dapat diketahui kerusakan pada desain alternatif *AASHTO* 1993 *fatique cracking* sebesar 8,772E x 10^6 *ESAL, rutting* 493,7E x 10^6 *ESAL* dan *permanent deformation* 133,2E x 10^6 *ESAL,* yang dimana desain alternatif *AASHTO* 1993 belum mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan, dikarenakan kerusakan *fatique cracking* sudah terjadi sebelum umur rencana dan belum sesuai dengan sisa umur layan yang sudah ditentukan dan tebal dari lapisan tersebut sudah mencapai ketebalan maksimal, maka dilakukan desain alternatif kedua untuk metode *AASHTO* 1993, desain alternatif kedua di desain dengan penggantian material pada lapisan *base* dan *subbase.*

Pada alternatif pertama diketahui bahwa pada *base* menggunakan material LPA dengan tebal 15 cm dan *subbase* menggunakan material LPB dengan 36 cm. Untuk alternatif kedua perubahan pada lapisan *base* diganti menggunakan material *AC Base* dengan tebal 20 cm dan pada bagian *subbase* menggunakan LPA dengan

tebal 25 cm. Berikut adalah Tabel 5.44 rekapitulasi rekapitulasi analisis beban dari setiap desain alternatif kedua dari metoe *AASHTO* 1993.

Tabel 5. 45 Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas Desain Alternatif Penggantian Material *AASHTO* 1993 Dengan Pendekatan Viskoelastik

CESA 20/LHR	Tipe Kerusakan	Repetisi Beban (*ESAL*)	Analsis Beban Lalulintas
33,9E+06	Nf	74,48E+06	Nf >Nr (yes)
33,9E+06	Nd *rutting*	45,59E+06	Nd>Nr (yes)
33,9E+06	Nd *deformation*	45,59E+06	Nd>Nr (yes)

Dari tabel 5.42 desain alternatif *AASHTO* 1993 penggantian material analisis dengan pendekatan viskoelastik yang sudah didapatkan dapat diketahui kerusakan pada desain alternatif *AASHTO* 1993 penggantian material *fatique cracking* sebesar 74,48E x 10^6 *ESAL, rutting* 45,59E x 10^6 *ESAL* dan *permanent deformation* 45,59E x 10^6 *ESAL,* yang dimana desain alternatif *AASHTO* 1993 penggantian material sudah mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan. Desain alternatif *AASHTO* 1993 sendiri tidak diperlukan penggantian material jika hasil dari analisis sudah mampu menahan sisa umur layan yang sudah ditentukan dan sudah lebih dari umur rencana, seperti penelitian yang sudah dilakukan oleh Ottu, M. A., Ircham, I., dan Anggorowati, V. D. A. (2023) pada Jalan Denggung–Wonorejo tidak adanya diperlukannya alternatif dan juga penggantian material.

5.6.4 Perbandingan Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan

Analisis bisa dilanjutkan untuk mendapatkan umur sisa layan struktur perkerasan pada desain Eksisting, Bina Marga 2017 dan Alternatif. Berikut Tabel 5.45 rekapitulasi beban sampai terjadi kerusakan dan Tabel 5.46 rekapitulasi umur layan dalam bentuk tahun.

Tabel 5. 46 Rekapitulasi Repetisi Beban Hingga Rusak

Jenis Perkerasan	Jenis Kerusakan (ESAL 10^6)		
	Fatigue	*Rutting*	*Permanent Deformation*
Desain Eksisting	7,190	4,854	0,01729
Desain Bina Marga 2017	1,556	25,37	2,825
Desain *AASHTO* 1993	0,07205	0,779	4,122
Desain Alternatif Bina Marga 2017	52,55	3588	289,1
Desain Alternatif*AASHTO* 1993	8,772	493,7	133,2
Desain Alternatif *AASHTO* 1993 Penggantian Material	74,48	45,59	45,59

Tabel 5. 47 Rekapitulasi Repetisi Beban Hingga Rusak

Jenis Perkerasan	Jenis Kerusakan (Tahun)		
	Fatigue	*Rutting*	*Permanent Deformation*
Desain Eksisting	4	2	0
Desain Bina Marga 2017	1	14	1
Desain *AASHTO* 1993	0	0	2
Desain Alternatif Bina Marga 2017	30	50(97,631%)	50(70,595%)
Desain Alternatif*AASHTO* 1993	5	50(82,418%)	50(34,814%)
Desain Alternatif *AASHTO* 1993 Penggantian Material	45	26	26

Nilai umur sisa layan desain eksisting dengan pendekatan viskoelastik mengalami kerusakan *fatique cracking* pada tahun ke – 5, *rutting* tahun ke – 3 dan *permanent deformation* tahun ke – 2, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa desain eksisting belum mampu menahan beban yang diberikan dilalu lintas. Hasil desain Bina Marga 2017 terlihat belum bisa memenuhi sisa umur layan dan umur rencana yang sudah ditentukan, dapat dilihat kerusakan *fatique cracking* dan *permanent deformation* mengalami kerusakan pada tahun ke – 2, kerusakan *rutting* memiliki kerusakan berbeda karena mengalami kerusakan pada tahun ke – 14. Kerusakan tersebut bisa terjadi karena kurangnya tebal lapisan yang direncanakan, oleh karena itu di desainnya desain alternatif agar dapat memenuhi sisa umur layan dan umur rencana yang sudah direncanakan, desain alternatif Bina Marga 2017 memiliki lapis struktur perkerasan *AC-WC* dengan tebal 4 cm, *AC-BC* 45 cm, *CTB* dan LPA memiliki tebal yang sama yaitu 15 cm, hasil dari analisis desain alternatif Bina Marga 2017 mendapatkan hasil yang mampu memenuhi sisa umur layan dan umur rencana.

Hasil desain *AASHTO* 1993 memiliki nilai yang belum bisa memenuhi sisa umur layan dan umur rencana, dapat dilihat desain tersebut sudah mengalami kerusakan sebelum memenuhi nilai yang sudah tentukan, oleh karena itu dibuat desain alternatif agar mampu memenuhi nilai nilai yang sudah ditentukan, dan alternatif tersebut hingga mengganti material lapisan, karena dengan ditambahkannya tebal setiap lapisan dan sudah sampai maksimal belum mendapatkan hasil yang mampu memenuhi sisa umur layan dan umur rencana. Material yang dipilih untuk diganti yaitu pada lapisan *base* dan *subbase*. Dengan memasukannya material *Ac Base* sebagai lapisan *base*.

Pada penelitian ini tidak ada perhitungan RAB pada setiap desain, sehingga ada dua cara untuk memilih desain yang akan digunakan, berdasarkan total ketebalan yang sudah direncanakan atau berdasarkan umur yang lebih panjang. Peneliti memilih desain dengan ketebalan yang efektif tidak terlalu tebal. Desain yang mampu memenuhi umur rencana dan umur sisa layan yaitu desain alternatif *AASHTO* 1993 dengan penggantian material, yang dapat diketahui dengan ketebalan total 59 cm. Pemilihan berdasarkan total ketebalan perkerasan sudah

dilakukan oleh Hakim & Farida (2021) yang dimana dalam penelitian tersebut membandingkan hasil tebal dari desain Bina Marga 2017 dan *AASHTO* 1993, pada penelitian tersebut desain Bina Marga 2017 memiliki ketebalan yang lebih rendah dibandingkan dengan ketebalan desain *AASHTO* 1993. Jatiko & Fauziah (2024) sudah melakukan penelitian dengan perkerasan kaku dan lentur. Dari hasil penelitian tersebut hasil yang dipilih yaitu perkerasan kaku, karena memiliki kerusakan yang lebih lama selama 46 tahun, sedangkan perkerasan lentur selama 42 tahun.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil yang sudah didapatkan pada penelitian ini pada desain eksisting, Bina Marga 2017, *AASHTO* 1993 dan alternatif pada ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Desain perkerasan eksisting dengan susunan AC-WC 40 mm, AC-BC 60 mm, dan LPA 300 mm tidak mampu memenuhi umur rencana karena kerusakan fatique cracking, rutting, dan permanent deformation terjadi lebih awal dari umur layan yang ditentukan. Begitu pula desain Bina Marga 2017 dengan komposisi AC-WC 40 mm, AC-BC 160 mm, CTB 150 mm, dan LPA 150 mm juga belum mampu menahan beban lalu lintas sesuai umur rencana. Kerusakan terutama ditunjukkan pada fatique cracking yang terjadi sangat dini, walaupun nilai rutting masih lebih tinggi. Desain AASHTO 1993 dengan AC-WC 40 mm, AC-BC 100 mm, LPA 150 mm, dan LPB 360 mm mengalami kerusakan paling parah pada seluruh lapisannya sehingga tidak layak untuk diterapkan.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain alternatif Bina Marga 2017 dengan penambahan tebal AC-BC dari 160 mm menjadi 500 mm, CTB 150 mm, dan LPA kelas A 150 mm mampu menahan beban lalu lintas sesuai umur rencana. Nilai fatique cracking, rutting, dan permanent deformation jauh berada di atas kebutuhan beban lalu lintas rencana sehingga desain ini dapat diterima. Sementara itu, desain alternatif AASHTO 1993 dengan penambahan AC-BC dari 100 mm menjadi 450 mm dan pengurangan LPB dari 360 mm menjadi 150 mm belum mampu menahan beban lalu lintas. Kerusakan fatique cracking masih terjadi lebih awal dari umur layan yang direncanakan.
3. Modifikasi lebih lanjut dilakukan dengan penggantian material pada desain alternatif AASHTO 1993, yaitu mengganti LPA menjadi AC Base dan LPB menjadi LPA dengan ketebalan lapisan AC-WC 40 mm, AC-BC 100 mm, AC

Base 200 mm, dan LPA 250 mm. Hasil analisis menunjukkan nilai fatique cracking, rutting, dan permanent deformation sudah sesuai dengan beban lalu lintas rencana. Dengan demikian, desain alternatif AASHTO 1993 dengan penggantian material dapat dinyatakan mampu menahan beban lalu lintas dan layak digunakan.

4. Berdasarkan perbandingan umur layan, desain eksisting mengalami kerusakan pada tahun ke-0 hingga ke-4, desain Bina Marga 2017 mengalami kerusakan pada tahun pertama, sedangkan desain AASHTO 1993 mengalami kerusakan sejak tahun pertama pula. Desain alternatif Bina Marga 2017 memberikan hasil lebih baik dengan fatique cracking baru terjadi pada tahun ke-30 dan rutting serta permanent deformation bertahan hingga mendekati tahun ke-50. Desain alternatif AASHTO 1993 hanya mampu bertahan hingga tahun ke-5 untuk fatique cracking. Sementara itu, desain alternatif AASHTO 1993 dengan penggantian material menunjukkan hasil terbaik dengan fatique cracking pada tahun ke-45 serta rutting dan permanent deformation pada tahun ke-26. Dari hasil perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa desain paling efektif dan efisien adalah desain alternatif AASHTO 1993 dengan penggantian material, karena mampu memenuhi umur layan dan menahan beban lalu lintas sesuai rencana.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan didapatkan hasil akhir yang hasil tersebut dapat memberikan saran untuk penelitian yang akan dilakukan kedepannya. Berikut beberapa saran yang dapat ditarik dari penelitian yang sudah dilakukan.

1. Merencanakan menggunakan jenis material lainnya pada desain Bina Marga 2017 atau versi terbaru
2. Diperlukannya perhitungan menggunakan metode Bina Marga dan *AASHTO* 1993 versi terbaru agar mampu mendapatkan hasil yang maksimal
3. Perlu dilakukan perhitungan jumlah biaya dari setiap desain agar mampu menjadi tolak ukur dan perbandingan metode yang lebih efektif dari secara pengerjaan dan efisien secara biaya.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structure*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

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

Apriyadi, F., & Fauziah, M. (2018). Pengaruh beban berlebih kendaraan berat terhadap umur rencana perkerasan kaku pada Jalan Diponegoro, Cilacap. *Seminar Nasional Teknik Sipil 2018*.

Arianto, R., & Fauziah, M. (2023). Evaluasi struktur perkerasan lentur dengan pendekatan elastik dan viskoelastik pada ruas Jalan Cipatujah–Kalapagenep–Pangandaran.

Ariyanto, A. S., & Sarwanta, S. (2021). Perbandingan perencanaan tebal lapisan perkerasan lentur dengan metode AASHTO dan MDP. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 7(2), 1–6.

Badan Statistika Provinsi Jawa Barat. (2021). Output tabel dinamis wisatawan. Tersedia pada: https://jabar.bps.go.id/indicator/16/220/1/jumlah-kunjungan-wisatawan-ke-objek-wisata.html

Bakri, M. D. (2020). Analisis tebal perkerasan lentur menggunakan metode AASHTO 1993. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 30–44.

Direktur Jendral Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. No. 04/SE/Db/2017.

Dwiputra, A. Y., Utomo, S. H. T., & Mulyono, A. T. (2021). Prediksi sisa umur perkerasan lentur dengan metode mekanistik-empirik ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodojodikoro Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, 21(3), 173–186.

Farida, I., & Hakim, G. N. (2021). Ketebalan perkerasan lentur dengan metode AASHTO 1993 dan Manual Perkerasan Jalan 2017. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (JTSC)*, 2(1), 127–136.

Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022). Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik. *Teknisia*, 27(2), 71–82.

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

Jatiko, H., & Fauziah, M. (2024). Evaluasi dan usulan alternatif desain struktur perkerasan kaku pada ruas Jalan Cipatujah–Kalapagenep–Pangandaran.

Mawaddah, A. U. (2021). Kajian komparasi persiapan tebal lapisan perkerasan lentur dengan metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993 Jalan Kedah–Kong Bur STA 2+000–4+000. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik (JIMT)*, 1(4).

Nasution, H. A., & Fauziah, M. (2024). Analisis kerusakan perkerasan lentur dengan Pedoman Bina Marga 2017 dan Bina Marga 2024 menggunakan metode viskoelastik pada Jalan Peureulak Aceh Timur. *Prosiding Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KNILT) 2024*. FTSP UII.

Ottu, M. A., Ircham, I., & Anggorowati, V. D. A. (2023). Evaluasi perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 pada Jalan Denggung–Wonorejo, Sleman. *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan*, 2(2), 86–93.

Pambudi, R. A., & Fauziah, M. (2021). Evaluasi perancangan struktur perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dan program KENPAVE menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik (studi kasus Jalan Simpang Pundu–Tumbang Samba).

Pambudi, R. A., & Fauziah, M. (2020). Evaluasi perancangan struktur perkerasan dengan metode Bina Marga 2017 dan program KENPAVE menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik. *Seminar Nasional DPPM UII*.

Safari, R. S. I., & Fauziah, M. (2024). Analisis pengaruh overload kendaraan terhadap umur jalan: Perbandingan Metode Bina Marga 2017 dan Bina Marga 2024 menggunakan simulasi Kenpave. *Prosiding Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KNILT) 2024*. FTSP UII.

Saputra, A., Purwanto, E., & Fauziah, M. (2023). Alternatif desain perkerasan jalan dan perkuatan lereng longsor. *Rekayasa Sipil*, 17(2), 192–198.

Sumarsono, A., & Fauziah, M. (2022). Evaluasi kondisi perkerasan, penanganan, dan nilai sisa perkerasan lentur jalan dengan metode Bina Marga 2013 dan metode mekanistik-empirik (studi kasus: Jalan Jogja–Solo Km 14+800–16+800). *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 9(1), 10–27.

Tolab, L. Z., Hadi, M., & Fauziah, M. (2022). Analisis perbandingan perkerasan AC-WC berbahan ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 menggunakan metode elastik linear.

Utari, N. N. N., & Fauziah, M. (2024). Prediksi kerusakan dan umur layan dengan pemodelan elastik dan viskoelastik pada ruas Jalan Siulak Derasi/Letter W–Batas Sumatera Barat.

Widhiatmoko, G., & Fauziah, M. (2024). Analisis perbandingan tebal perkerasan lentur dengan metode viskoelastik pada MDPJ 2017 dan MDP 2024 menggunakan Kenpave (studi kasus ruas Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo pada STA 02+00–STA 07+500). *Prosiding Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KNILT) 2024*. FTSP UII.

Zuasri, & Fauziah, M. (2024). Komparasi alternatif desain perkerasan lentur jalan Metode Bina Marga 2017 dan 2024 menggunakan Kenpave (studi kasus ruas Jalan Peureulak Aceh Timur STA 7+750–STA 16+500). *Prosiding Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (KNILT) 2024*. FTSP UII.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran

DATA LALU LINTAS – PPK 3.2

LALU LINTAS HARIAN RATA – RATA DAN RASIO VOLUME KAPASITAS

NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	Kelas Kendaraan (kend/hari)											
						1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	7A	7B	7C	8
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran																	
1	066			CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	10.052	2.071	1.278	1.065	145	61	659	467	112	15	17	52
2	065			KALAPAGENEP - CIMERAK	20,830	2020	2.906	178	164	302	11	10	15	845	6	0	0	7

NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	Prosentase Kendaraan				Volume kendaraan (kend/hari)	LHRT (kend/hari)
						MC	LV	HV	UM		
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran											
1	066			CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	62,85%	32,62%	4,21%	0,33%	15.994	5.890
2	065			KALAPAGENEP - CIMERAK	20,830	2020	65,41%	15,06%	19,37%	0,17%	4.447	1.531

NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	DERAJAT KEJENUHAN (DS)								
						2022	2026	2031	2036	2041	2046	2051	2056	2061
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran														
1	066			CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	0,47	0,54	0,64	0,76	0,90	1,07	1,27	1,51	1,79
2	065			KALAPAGENEP - CIMERAK	20,830	2020	0,13	0,15	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,43	0,51

NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	LEVEL OF SERVICE (LOS)								
						2022	2026	2031	2036	2041	2046	2051	2056	2061
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran														
1	066			CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	C	C	C	D	E	F	F	F	F
2	065			KALAPAGENEP - CIMERAK	20,830	2020	A	A	A	B	B	B	B	B	C

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENLAYER* Program *KENPAVE* Perkerasan Eksisting

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	0,08404	550,000	1264,883	548,493	1122,382
	(STRAIN)		-3,695E-04	5,423E-04	-3,695E-04	3,609E-04
1	3,99970	0,08445	454,683	461,238	390,210	232,576
	(STRAIN)		1,134E-04	1,217E-04	3,133E-05	3,968E-05
1	40,00000	0,08229	203,403	203,992	-808,112	-673,323
	(STRAIN)		6,631E-04	6,638E-04	-5,170E-04	-5,170E-04
1	40,00030	0,06795	75,968	78,138	6,434	13,379
	(STRAIN)		7,241E-04	1,154E-03	-5,791E-04	-5,791E-04
2	0,00000	0,08523	550,000	1218,054	556,298	952,473
	(STRAIN)		-2,836E-04	5,587E-04	-2,836E-04	2,207E-04
2	3,99970	0,08549	303,117	508,636	104,893	325,876
	(STRAIN)		4,418E-05	3,058E-04	-2,081E-04	5,347E-05
2	40,00000	0,08413	159,516	160,554	-655,200	-296,909
	(STRAIN)		4,500E-04	4,512E-04	-5,005E-04	-5,005E-04
2	40,00030	0,07120	79,503	79,649	6,789	17,868
	(STRAIN)		7,904E-04	1,143E-03	-6,182E-04	-6,182E-04
3	0,00000	0,08288	0,000	709,957	-2,029	321,792
	(STRAIN)		-3,770E-04	5,291E-04	-3,770E-04	3,511E-05
3	3,99970	0,08398	39,395	267,324	39,395	428,122
	(STRAIN)		3,056E-04	1,441E-04	-1,460E-04	9,990E-05
3	40,00000	0,08346	127,320	127,320	-529,828	-43,223
	(STRAIN)		2,971E-04	2,971E-04	-4,696E-04	-4,696E-04
3	40,00030	0,07169	79,218	79,218	6,839	19,047
	(STRAIN)		8,013E-04	1,126E-03	-6,230E-04	-6,230E-04

Lampiran 3. Hasil Analisis *KENLAYER* Program *KENPAVE* Perkerasan *CTB* Metode Bina Marga 2017

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	0.04771	550.000	930.128	575.220	912.905
	(STRAIN)		-9.811E-05	1.950E-04	-1.002E-04	1.789E-04
1	19.99700	0.04302	128.298	131.428	-127.144	-96.287
	(STRAIN)		2.323E-04	2.371E-04	-1.503E-04	-1.502E-04
1	20.00000	0.04301	128.265	131.393	-127.214	-96.348
	(STRAIN)		2.323E-04	2.371E-04	-1.504E-04	-1.502E-04
1	50.00300	0.03554	21.738	22.328	0.148	1.227
	(STRAIN)		3.476E-04	3.618E-04	-1.742E-04	-1.742E-04
2	0.00000	0.04606	0.000	577.305	252.654	523.396
	(STRAIN)		-1.084E-04	1.555E-04	-1.100E-04	1.101E-04
2	19.99700	0.04409	96.535	96.535	-117.629	-37.255
	(STRAIN)		1.697E-04	1.697E-04	-1.503E-04	-1.503E-04
2	20.00000	0.04409	96.521	96.521	-117.685	-37.300
	(STRAIN)		1.698E-04	1.698E-04	-1.504E-04	-1.504E-04
2	50.00300	0.03652	23.232	23.232	-0.001	1.358
	(STRAIN)		3.770E-04	3.770E-04	-1.844E-04	-1.844E-04
3	0.00000	0.04674	550.000	671.903	330.393	611.445
	(STRAIN)		-1.059E-04	1.726E-04	-1.075E-04	1.211E-04
3	19.99700	0.04405	105.467	105.592	-121.443	-51.725
	(STRAIN)		1.872E-04	1.875E-04	-1.521E-04	-1.521E-04
3	20.00000	0.04405	105.448	105.572	-121.503	-51.774
	(STRAIN)		1.872E-04	1.876E-04	-1.521E-04	-1.521E-04
3	50.00300	0.03642	23.075	23.140	0.019	1.340
	(STRAIN)		3.739E-04	3.755E-04	-1.833E-04	-1.833E-04

Lampiran 4. Hasil Analisis *KENLAYER* Program *KENPAVE* Perkerasan Metode *AASHTO* 1993

'OINT 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	0.05824	550.000	1048.330	455.795	1024.207
	(STRAIN)		-2.134E-04	2.688E-04	-2.176E-04	2.459E-04
1	13.99700	0.05508	150.991	151.560	-444.837	-357.096
	(STRAIN)		5.057E-04	5.066E-04	-3.869E-04	-3.869E-04
1	14.00000	0.05508	150.962	151.531	-445.120	-357.343
	(STRAIN)		5.059E-04	5.068E-04	-3.871E-04	-3.871E-04
1	65.00300	0.03397	20.339	20.848	0.519	1.237
	(STRAIN)		3.220E-04	3.343E-04	-1.570E-04	-1.570E-04
2	0.00000	0.05800	0.000	801.812	252.495	689.511
	(STRAIN)		-1.977E-04	2.461E-04	-2.003E-04	1.539E-04
2	13.99700	0.05597	117.220	117.220	-334.388	-85.563
	(STRAIN)		3.049E-04	3.049E-04	-3.702E-04	-3.702E-04
2	14.00000	0.05597	117.214	117.214	-334.563	-85.608
	(STRAIN)		3.050E-04	3.050E-04	-3.704E-04	-3.704E-04
2	65.00300	0.03492	21.759	21.759	0.525	1.351
	(STRAIN)		3.486E-04	3.486E-04	-1.646E-04	-1.646E-04
3	0.00000	0.05876	550.000	921.769	329.971	808.683
	(STRAIN)		-2.084E-04	2.712E-04	-2.115E-04	1.768E-04
3	13.99700	0.05616	127.957	128.261	-369.179	-160.206
	(STRAIN)		3.635E-04	3.646E-04	-3.802E-04	-3.802E-04
3	14.00000	0.05616	127.944	128.243	-369.388	-160.305
	(STRAIN)		3.636E-04	3.647E-04	-3.804E-04	-3.804E-04
3	65.00300	0.03481	21.599	21.658	0.522	1.335
	(STRAIN)		3.456E-04	3.470E-04	-1.637E-04	-1.637E-04

Lampiran 5. Hasil Analisis *KENLAYER* Program *KENPAVE* Perkerasan Alternatif *CTB* Metode Bina Marga 2017

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	0.03064	550.000	667.323	518.946	667.942
	(STRAIN)		-1.602E-05	1.088E-04	-7.908E-06	1.133E-04
1	53.99700	0.02326	23.158	24.188	-57.076	-50.834
	(STRAIN)		7.066E-05	7.235E-05	-4.955E-05	-4.947E-05
1	54.00000	0.02326	23.155	24.183	-57.085	-50.842
	(STRAIN)		7.067E-05	7.235E-05	-4.955E-05	-4.947E-05
1	84.00300	0.02073	7.772	7.895	-0.067	0.121
	(STRAIN)		1.282E-04	1.312E-04	-6.124E-05	-6.124E-05
2	0.00000	0.02624	0.000	213.166	118.197	207.287
	(STRAIN)		-2.872E-05	5.007E-05	-2.926E-05	4.381E-05
2	53.99700	0.02375	25.474	25.474	-60.725	-54.785
	(STRAIN)		7.686E-05	7.686E-05	-5.220E-05	-5.220E-05
2	54.00000	0.02375	25.470	25.470	-60.736	-54.795
	(STRAIN)		7.687E-05	7.687E-05	-5.221E-05	-5.221E-05
2	84.00300	0.02105	8.098	8.098	-0.096	0.100
	(STRAIN)		1.349E-04	1.349E-04	-6.308E-05	-6.308E-05
3	0.00000	0.02791	550.000	349.330	235.502	333.856
	(STRAIN)		-2.294E-05	7.213E-05	-2.278E-05	5.851E-05
3	53.99700	0.02364	25.221	25.336	-60.392	-54.434
	(STRAIN)		7.625E-05	7.644E-05	-5.196E-05	-5.194E-05
3	54.00000	0.02364	25.217	25.332	-60.403	-54.444
	(STRAIN)		7.625E-05	7.644E-05	-5.196E-05	-5.194E-05
3	84.00300	0.02095	8.050	8.064	-0.110	0.085
	(STRAIN)		1.342E-04	1.346E-04	-6.294E-05	-6.294E-05

Lampiran 6. Hasil Analisis *KENLAYER* Program *KENPAVE* Perkerasan Alternatif Metode *AASHTO* 1993

OINT 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	0.03376	550.000	613.784	444.075	609.830
	(STRAIN)		-2.897E-05	1.128E-04	-2.760E-05	1.101E-04
1	48.99700	0.02717	21.757	21.981	-107.941	-93.876
	(STRAIN)		1.098E-04	1.103E-04	-8.460E-05	-8.458E-05
1	49.00000	0.02717	21.755	21.979	-107.962	-93.894
	(STRAIN)		1.098E-04	1.103E-04	-8.461E-05	-8.459E-05
1	79.00300	0.02332	9.587	9.738	0.313	0.538
	(STRAIN)		1.523E-04	1.559E-04	-7.186E-05	-7.186E-05
2	0.00000	0.03092	0.000	292.232	152.320	281.422
	(STRAIN)		-4.553E-05	6.898E-05	-4.621E-05	5.997E-05
2	48.99700	0.02781	23.580	23.580	-116.274	-103.812
	(STRAIN)		1.197E-04	1.197E-04	-8.993E-05	-8.993E-05
2	49.00000	0.02781	23.578	23.578	-116.297	-103.832
	(STRAIN)		1.198E-04	1.198E-04	-8.995E-05	-8.995E-05
2	79.00300	0.02369	10.003	10.003	0.299	0.538
	(STRAIN)		1.604E-04	1.604E-04	-7.407E-05	-7.407E-05
3	0.00000	0.03174	550.000	363.547	215.104	348.377
	(STRAIN)		-4.034E-05	8.204E-05	-4.107E-05	6.807E-05
3	48.99700	0.02771	23.395	23.419	-115.473	-102.914
	(STRAIN)		1.188E-04	1.188E-04	-8.939E-05	-8.939E-05
3	49.00000	0.02771	23.393	23.417	-115.496	-102.934
	(STRAIN)		1.188E-04	1.189E-04	-8.940E-05	-8.940E-05
3	79.00300	0.02361	9.957	9.974	0.291	0.528
	(STRAIN)		1.597E-04	1.601E-04	-7.392E-05	-7.392E-05

Lampiran 7. Hasil Analisis *KENLAYER* Program *KENPAVE* Perkerasan Alternatif Penggantian Material Metode *AASHTO* 1993

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	0.03444	550.000	731.154	593.637	732.309
	(STRAIN)		-2.760E-06	1.113E-04	8.395E-06	1.181E-04
1	13.99700	0.03112	295.046	298.097	128.950	134.247
	(STRAIN)		2.038E-04	2.084E-04	-4.661E-05	-4.659E-05
1	14.00000	0.03112	294.972	298.027	128.974	134.270
	(STRAIN)		2.037E-04	2.083E-04	-4.656E-05	-4.654E-05
1	59.00300	0.02666	12.609	12.860	0.975	1.425
	(STRAIN)		1.903E-04	1.963E-04	-9.088E-05	-9.088E-05
2	0.00000	0.03145	0.000	322.292	185.216	310.653
	(STRAIN)		-4.098E-05	7.245E-05	-4.172E-05	6.189E-05
2	13.99700	0.03119	136.539	136.475	76.816	134.556
	(STRAIN)		5.642E-05	5.641E-05	-3.338E-05	-3.338E-05
2	14.00000	0.03119	136.540	136.448	76.819	134.527
	(STRAIN)		5.645E-05	5.639E-05	-3.335E-05	-3.335E-05
2	59.00300	0.02718	13.307	13.307	0.938	1.462
	(STRAIN)		2.038E-04	2.038E-04	-9.513E-05	-9.513E-05
3	0.00000	0.03271	550.000	456.589	311.818	428.300
	(STRAIN)		-2.539E-05	9.359E-05	-2.513E-05	6.959E-05
3	13.99700	0.03127	180.158	205.200	91.360	111.218
	(STRAIN)		9.647E-05	1.348E-04	-3.767E-05	-3.753E-05
3	14.00000	0.03127	180.136	205.175	91.374	111.186
	(STRAIN)		9.645E-05	1.348E-04	-3.763E-05	-3.750E-05
3	59.00300	0.02710	13.238	13.267	0.940	1.454
	(STRAIN)		2.025E-04	2.032E-04	-9.474E-05	-9.474E-05

Lampiran 8. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan Eksisting (%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	Eksisting		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*
		7,190E+06	4,854E+06	0,01729E+06
1	1,47E+06	76,720	65,517	*Fail*
2	3,15E+06	53,405	30,983	
3	4,73E+06	30,056	*Fail*	
4	6,31E+06	6,672		
5	7,89E+06	*Fail*		

Lampiran 9. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan *CTB* Bina Marga 2017 Dan Alternatif *CTB* (%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*CTB* Bina Marga 2017			Alternatif *CTB* Bina Marga 2017		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*	*Fatique*	*Rutting*	*P. Deformation*
		1,556E+06	25,37E+06	2,825E+06	52,55E+06	3588E+06	289,.1E+06
1	1,47E+06	*Fail*	94,217	48,064	97,208	99,959	99,493
2	3,15E+06		87,579	*Fail*	94,003	99,912	98,910
3	4,73E+06		81,362		91,001	99,868	98,364
4	6,31E+06		75,140		87,997	99,824	97,818
5	7,89E+06		68,913		84,991	99,780	97,272
6	9,47E+06		62,682		81,983	99,736	96,725
7	11,0E+06		56,446		78,972	99,692	96,178
8	12,6E+06		50,206		75,959	99,648	95,630
9	14,2E+06		43,961		72,944	99,604	95,082
10	15,8E+06		37,711		69,927	99,560	94,534
11	17,4E+06		31,457		66,907	99,515	93,985
12	19,0E+06		25,198		63,885	99,471	93,436
13	20,6E+06		18,934		60,861	99,427	92,886
14	22,2E+06		12,666		57,835	99,382	92,336
15	23,7E+06		6,393		54,806	99,338	91,786
16	25,3E+06		0,116		51,775	99,294	91,235
17	26,9E+06		*Fail*		48,742	99,249	90,684

Lanjutan Lampiran 9. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan *CTB* Bina Marga 2017 Dan Alternatif *CTB* (%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*CTB* Bina Marga 2017			Alternatif *CTB* Bina Marga 2017		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*	*Fatique*	*Rutting*	*P. Deformation*
		1,556E+06	25,37E+06	2,825E+06	52,55E+06	3588E+06	289,.1E+06
18	28,5E+06				45,707	99,205	90,132
19	30,1E+06				42,669	99,160	89,580
20	31,7E+06				39,629	99,116	89,027
21	33,3E+06				36,587	99,071	88,474
22	34,9E+06				33,543	99,027	87,921
23	36,5E+06				30,496	98,982	87,367
24	38,1E+06				27,447	98,937	86,813
25	39,7E+06				24,396	98,893	86,259
26	41,3E+06				21,343	98,848	85,148
27	42,9E+06				18,287	98,803	84,592
28	44,5E+06				15,229	98,758	84,036
29	46,2E+06				12,169	98,714	83,480
30	47,8E+06				9,107	98,669	82,923
31	49,4E+06				6,042	98,624	82,365
32	51,0E+06				2,975	98,579	81,807
33	52,6E+06				*Fail*	98,534	81,249
34	54,2E+06					98,489	80,690

Lanjutan Lampiran 9. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan *CTB* Bina Marga 2017 Dan Alternatif *CTB* (%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*CTB* Bina Marga 2017			Alternatif *CTB* Bina Marga 2017		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*	*Fatique*	*Rutting*	*P. Deformation*
		1,556E+06	25,37E+06	2,825E+06	52,55E+06	3588E+06	289,.1E+06
35	55,8E+06					98,444	80,131
36	57,4E+06					98,399	79,572
37	59,1E+06					98,354	79,012
38	60,1E+06					98,309	78,451
39	62,3E+06					98,264	77,891
40	63,9E+06					98,218	77,329
41	65,6E+06					98,173	76.768
42	67,2E+06					98,128	76,206
43	68,8E+-06					98,083	75,643
44	70,4E+06					98,037	75,081
45	72,0E+06					97,992	74,517
46	73,7E+06					97,947	73,954
47	75,3E+06					97,901	73,389
48	76,9E+-6					97,856	72,825
49	78,6E+06					97,810	72,260
50	80,2E+06					97,765	71,695

Lampiran 10. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan *AASHTO* 1993 Dan Alternatif *AASHTO* 1993(%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*AASHTO* 1993			Alternatif *AASHTO* 1993		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*	*Fatique*	*Rutting*	*P. Deformation*
		0,07205E+06	0,7795E+06	4,122E+06	52,55E+06	3588E+06	289,.1E+06
1	1,47E+06	*Fail*	*Fail*	64,407	83,274	99,703	98,898
2	3,15E+06			23,555	64,077	99,362	97,634
3	4,73E+06			*Fail*	46,096	99,042	96,449
4	6,31E+06				28,101	98,723	95,264
5	7,89E+06				10,093	98,403	94,078
6	9,47E+06				*Fail*	98,082	92,891
7	11,0E+06					97,762	91,703
8	12,6E+06					97,441	90,514
9	14,2E+06					97,121	89,325
10	15,8E+06					96,799	88,134
11	17,4E+06					96,478	86,942
12	19,0E+06					96,156	85,750
13	20,6E+06					95,835	84,557
14	22,2E+06					95,512	83,363
15	23,7E+06					95,190	82,168
16	25,3E+06					94,868	80,972
17	26,9E+06					94,545	79,775

Lanjutan Lampiran 10. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan *AASHTO* 1993 Dan Alternatif *AASHTO* 1993(%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*AASHTO* 1993			Alternatif *AASHTO* 1993		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*	*Fatique*	*Rutting*	*P. Deformation*
		0,07205E+06	0,7795E+06	4,122E+06	52,55E+06	3588E+06	289,.1E+06
18	1,47E+06					94,222	78,578
19	3,15E+06					93,898	77,379
20	4,73E+06					93,575	76,180
21	6,31E+06					93,251	74,979
22	7,89E+06					92,927	73,778
23	9,47E+06					92,603	72,576
24	11,0E+06					92,278	71,373
25	12,6E+06					91,954	70,169
26	14,2E+06					91,629	68,964
27	15,8E+06					91,304	67,759
28	17,4E+06					90, 978	66,552
29	19,0E+06					90,652	65,344
30	20,6E+06					90,326	64,136
31	22,2E+06					90,000	62,927
32	23,7E+06					89,674	61,717
33	25,3E+06					89,347	60,506
34	26,9E+06					89,020	59, 294

Lanjutan Lampiran 10. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan *AASHTO* 1993 Dan Alternatif *AASHTO* 1993(%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*AASHTO* 1993			Alternatif *AASHTO* 1993		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*	*Fatique*	*Rutting*	*P. Deformation*
		0,07205E+06	0,7795E+06	4,122E+06	52,55E+06	3588E+06	289,.1E+06
35	1,47E+06					88,693	58,081
36	3,15E+06					88,366	56,867
37	4,73E+06					88,038	55,652
38	6,31E+06					87,710	54,437
39	7,89E+06					87,382	53,220
40	9,47E+06					87,054	52,003
41	11,0E+06					86,396	50,785
42	12,6E+06					86,067	49,566
43	14,2E+06					85,738	48,346
44	15,8E+06					85,408	47,125
45	17,4E+06					85,079	45,903
46	19,0E+06					84,749	44,680
47	20,6E+06					84,418	43,456
48	22,2E+06					84,088	42,232
49	23,7E+06					83,757	41,006
50	25,3E+06					83,426	39,780

Lampiran 11. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan Alternatif *AASHTO* 1993 Penggantian Material(%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*AASHTO* 1993 Penggantian Material		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*
		74,48E+06	45,59E+06	45,59E+06
1	1,47E+06	98,030	96,781	96,781
2	3,15E+06	95,769	93,087	93,087
3	4,73E+06	93,651	89,627	89,627
4	6,31E+06	91,532	86,164	86,164
5	7,89E+06	89,411	82,699	82,699
6	9,47E+06	87,289	79,231	79,231
7	11,0E+06	85,165	75,760	75,760
8	12,6E+06	83,039	72,287	72,287
9	14,2E+06	80,912	68,811	68,811
10	15,8E+06	78,783	65,333	65,333
11	17,4E+06	76,653	61,852	61,852
12	19,0E+06	74,521	58,369	58,369
13	20,6E+06	72,387	54,883	54,883
14	22,2E+06	70,252	51,394	51,394
15	23,7E+06	68,116	47,903	47,903
16	25,3E+06	65,977	44,409	44,409
17	26,9E+06	63,837	40,913	40,913
18	1,47E+06	61,696	37,414	37,414
19	3,15E+06	59,553	33,192	33,192
20	4,73E+06	57,408	30,408	30,408
21	6,31E+06	55,262	26,902	26,902
22	7,89E+06	53,114	23,392	23,392
23	9,47E+06	50,965	19,880	19,880
24	11,0E+06	48,814	16,366	16,366
25	12,6E+06	46,661	12,848	12,848
26	14,2E+06	44,507	9,329	9,329
27	15,8E+06	42,351	5,806	5,806
28	17,4E+06	40,194	2,281	2,281
29	19,0E+06	38,035	*Fail*	*Fail*

Lanjutan Lampiran 11. Rekapitulasi Sisa Umur Layan Perkerasan Alternatif *AASHTO* 1993 Penggantian Material(%)

Tahun Ke-	NP (*ESAL)*	*AASHTO* 1993 Penggantian Material		
		Fatique	*Rutting*	*P. Deformation*
		74,48E+06	45,59E+06	45,59E+06
30		35,874		
31		33,712		
32		31,548		
33		29,383		
34		27,216		
35		25,047		
36		22,877		
37		20,705		
38		18,532		
39		16,357		