TUGAS AKHIR

EVALUASI DESAIN STRUKTUR PERKERASAN LENTUR DENGAN PEMODELAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK: STUDI KASUS PADA RUAS JALAN SIULAK DERAS – BATAS SUMATERA BARAT (STA. 4+600)

(*EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURAL DESIGN WITH ELASTIC AND VISCOELASTIC METHODS: STUDY CASE SIULAK DERAS – BATAS SUMATERA BARAT ROAD SECTION STA. 4+600*)

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

Nathania Nastiti Nur Utari
19511162

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024

TUGAS AKHIR

EVALUASI DESAIN STRUKTUR PERKERASAN LENTUR DENGAN PEMODELAN ELASTIK DAN VISKOELASTIK: STUDI KASUS PADA RUAS JALAN SIULAK DERAS– BATAS SUMATERA BARAT (STA. 4+600)

(EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURAL DESIGN WITH ELASTIC AND VISCOELASTIC METHODS: STUDY CASE SIULAK DERAS– BATAS SUMATERA BARAT ROAD SECTION STA. 4+600)

Disusun oleh

Nathania Nastiti Nur Utari
19511162

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

Diuji pada tanggal
19 Agustus 2024
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
hul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	Dr.Eng.Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.	Muhammad Abdul Hadi S.T., M.T
955110103	NIK: 145110101	NIK: 215111307

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

24/9/2024

Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 12 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Nathania Nastiti Nur Utari

(19511162)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik Dan Viskoelastik: Studi Kasus Pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat (Sta. 4+600)***.** Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menempuh gelar Sarjana Strata Satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Ibu Dr. Eng, Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi untuk menjadi pribadi yang lebih baik ke depannya.
3. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas nasihat, dorongan, serta bimbingan yang telah diberikan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir,
4. Bapak Eko Tjahjo Poernomo dan Ibu Leni Oktiana selaku orang tua penulis yang selalu mendoakan, memberikan kasih saying, materi, dan semangat hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Terima kasih atas segalanya yang

telah diberikan. Semoga Bapak dan Ibu selalu dikaruniai kebahagiaan, kesehatan, dan segala berkah yang telah diberikan dapat dibalas oleh Allah SWT dengan sebaik-baiknya.

5. Bagus Pandu Hari Respati dan Yudistira Sebastian Saftari selaku adik kandung penulis. Terima kasih atas dukungan selalu diberikan. Semoga kalian selalu diberikan kebahagiaan tanpa henti.
6. Alya Kamila Farrahdisa Siregar, Dody Gunawan, Widha Tsany Atharya selaku sahabat penulis yang selalu hadir di suka dan duka, selalu memberikan semangat dan nasihat, dan selalu menemani hari-hari penulis dengan penuh canda-tawa. Semoga kita selalu hadir di hari-hari besar satu sama lain!
7. Andien Salsabila Zahra, Rini Sulistiawati, Anisya Meilania, dan Maulana Gita Cahyadi selaku sahabat penulis yang ceria. Terima kasih telah mewarnai hari-hari penulisan skripsi penulis dengan kebahagiaan. Semoga kalian selalu diberikan alasan untuk bahagia.
8. Galdy Putra Andra selaku sahabat penulis yang selalu menjaga penulis dengan tulus seperti adik sendiri. Terima kasih atas nasehat dan pelajaran yang pernah diberikan. *Until we meet again gal*!
9. Rekan-rekan HAHA-HIHI yang selalu menghibur kepada penulis semasa perkuliahan. Semoga kita selalu diberikan kesuksesan dan keberkahan di kehidupan setelah kuliah.
10. Rekan-rekan SABHU GANG, Alif, Faras, Reza, Pam, Salma, dan Vini
11. Azzahra Putri Juliesha, Mohammad Fachrihadi Samudra, dan Mayo Ramza Pratama yang telah menemani penulis semasa SMA hingga kini. Terima kasih atas dukungan moral dan perhatian yang selalu diberikan selama 8 tahun pertemanan. Semoga kita menjadi orang yang sukses di kemudian hari.
12. Hana Adikti, Anggun Dwi Patricia, Audita Shasabilla Amin, dan Winda Rivany Putri selaku teman SMP penulis yang selalu memberikan semangat sejak 10 tahun yang lalu. Semoga kita menjadi orang yang sukses di kemudian hari.7

13. Rekan-rekan PESBUKERS, Terima kasih atas canda tawa yang selalu diberikan semasa perkuliahan. Semoga kita selalu diberikan kesuksesan dan keberkahan di kehidupan setelah kuliah.
14. Rekan-rekan Teknik Sipil 2019. Terima kasih telah membuat hari-hari penulis dalam menjalani perkuliahan di Teknik Sipil UII menjadi lebih menyenangkan. Terima kasih atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan perkuliahan di Teknik Sipil UII. Semoga kita semua dapat menyelesaikan perkuliahan dengan sebaik-baiknya.
15. Seluruh pihak yang terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
16. Dan yang terakhir, kepada wanita yang sangat sulit untuk mengerti isi kepalanya sendiri, sang penulis dari sebuah karya tulis ini, Nathania Nastiti Nur Utari. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini dan memilih untuk melewati rintangan-rintan yang tidak tertebak adanya. Terima kasih telah berani untuk melanjutkan hidup. *Can't believe you make it this far! Congratulations, Tari!*

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat khususnya di dunia ilmu pengetahuan bagi semua pihak. Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan pada masa yang akan datang.

Yogyakarta, 12 Agustus 2024

Penulis,



Nathania Nastiti Nur Utari

19511162

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vii

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR LAMPIRAN 1

DAFTAR NOTASI 2

ABSTRAK 3

BAB I PENDAHULUAN 5

1.1 Latar Belakang 5

1.2 Rumusan Masalah 7

1.3 Tujuan Penelitian 7

1.4 Manfaat Penelitian 8

1.5 Batasan Penelitian 8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 10

2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur menggunakan Pendekatan *Layered Elastic* 10

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur menggunakan Program KANPAVE 11

2.3 Perbandingan Penelitian 13

2.4 Persamaan dan Perbedaan Penelitian 17

BAB III LANDASAN TEORI 18

3.1 Perkerasan Lentur 18
3.1.1 Lapisan permukaan *(Surface Course)* 19
3.1.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base course*) 20
3.1.3 Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course)* 21
3.1.4 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*) 21
3.2 Metode Mekanistik Empirik 22
3.3 Teori Sistem Lapis Banyak 24
3.4 Karakteristik Material 27
3.4.1 Modulus Elastisitas 27
3.4.2 Poisson's Ratio 27
3.4.3 Lapisan Elastik 27
3.4.3.1 Model Mekanikal (sebelum creep) 27
3.4.5 Lapisan Viskoelastik 30
3.5 Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 30
3.5.1 Umur Rencana 31
3.5.2 Lalu Lintas 31
3.5.3 Lalu Lintas pada Lajur Rencana 32
3.5.4 Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) 33
3.5.5 Beban Sumbu Standar Kumulatif 33
3.5.6 Pemilihan Tipe Perkerasan 34
3.5.7 Segmen Tanah Dasar 34
3.5.8 Ketebalan Minimum berdasarkan Bina Marga 2017 41
3.6 Tebal Lapis Tambah (*Overlay)* 44
3.6.1 Tebal Lapis Tambah berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 44
3.6.2 Tebal *Overlay* berdasarkan Lendutan Maksimum 47

3.7 Desain Tebal Perkerasan Lentur untuk Pelebaran dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 49
3.8 Evaluasi Desain Perkerasan Lentur dengan Program *KENPAVE* 50
3.8.1 Program *KENPAVE* 51
3.8.2 Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan 53
BAB IV METODE PENELITIAN 57
4.1 Pendekatan Penelitian 57
4.2 Lokasi Penelitian 57
4.3 Metode Pengumpulan Data 58
4.4 Peralatan Penelitian 58
4.5 Analisis Data 58
4.6 Tahapan Analisis Penelitian 58
4.7 Bagan Alir Penelitian 59
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 61
5.1 Data Penelitian 61
5.1.1 Kondisi Ruas Jalan 61
5.1.2 Data CBR 62
5.1.3 Data Volume Lalu Lintas Harian (LHR) 62
5.1.4 Data Lendutan 64
5.1.5 Data Structural Number (SN) 64
5.1.6 Data PIT 64
5.2 Analisis Perkerasan Lentur 66
5.2.1 Perancangan Tebal Struktur Perkerasan menggunakan Bina Marga 2017 66
5.2.1.1 Perhitungan Beban Lalu Lintas 66
5.2.2 Penentuan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Bina Marga 2017 72
5.2.3 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Pelebaran Bina Marga 2017 75

5.2.4 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Menggunakan *KENPAVE* 78
5.2.4.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Eksisting *KENPAVE* Elastik 78
5.2.4.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Eksisting *KENPAVE* Viskoelastik 87
5.2.5 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Bina Marga 2017 *KENPAVE* 94
5.2.5.1 Desain Tebal Lapis Tambah (*Overlay)* Bina Marga 2017 94
5.2.5.2 Desain Struktur Perkerasan Pelebaran *AC Base* Bina Marga 2017 100
5.2.5.3 Desain Struktur Perkerasan Pelebaran *CTB* Bina Marga 2017 102
5.2.6 Evaluasi Desain Perkerasan Alternatif untuk Pelebaran 105
5.2.6.1 Evaluasi Desain Perkerasan Alternatif menggunakan *AC Base* 105
5.2.6.2 Evaluasi Desain Perkerasan Alternatif menggunakan *CTB* 109
5.2.7 Perhitungan *Structural Number* (*SN*) 111
5.3 Pembahasan 116
5.3.1 Perbandingan tebal perkerasan eksisting, desain *overlay* Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W dengan Bina Marga 2017 116
5.3.2 Kemampuan struktur perkerasan eksisting, desain *overlay* Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W Bina Marga 2017 dievaluasi menggunakan *KENPAVE* pendekatan elastik dan viskoelastik 117
5.3.3 Nilai umur sisa layan dari struktur perkerasan eksisting, desain *overlay* Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W melalui pendekatan elastik dan viskoelastik 124
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 127
6.1 Kesimpulan 127
6.2 Saran 128
DAFTAR PUSTAKA 130

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian tentang Evaluasi Desain Perkerasan Lentur 14

Tabel 2. 2 14

Tabel 3.1 Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat yang Digunakan untuk Pengembangan Bagan Desain dan Analisis Mekanistik 28

Tabel 3. 2 Umur Rencana Perkerasan 31

Tabel 3. 3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (%) 31

Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL) 32

Tabel 3. 5 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga 36

Tabel 3. 6 Nilai VDF Masing- Masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan 37

Tabel 3. 7 Pemilihan Jenis Perkerasan 38

Tabel 3. 8 Penyesuaian Tebal Lapis Pondasi Agregat A Tanah Dasar CBR ≥ 7% 39

Tabel 3. 9 Desain Perkerasan Lentur Dengan CTB 40

Tabel 3. 10 Ketebalan Minimum Berdasarkan Bina Marga 2017 41

Tabel 3. 11 Desain Fondasi Jalan Minimum 42

Tabel 3. 12 Penyesuaian Tebal Lapis Pondasi Agregat A untuk Tanah Dasar ≥ 7% 43

Tabel 3. 13 Ketentuan Umur Rencana Perkerasan Lentur 44

Tabel 3.14 *Overlay* Perkerasan Struktur berdasarkan Kumulatif ESA5 45

Tabel 3.15 Rekonstruksi berdasarkan Kumulatif ESA4 45

Tabel 3.16 Tebal *Overlay* untuk Menurunkan IRI (non-struktural) 47

Tabel 3. 17 Koefisien Kekuatan Relatif Bahan Jalan (a) 50

Tabel 3. 18 Nilai Modulus Elastisitas berdasarkan Bahan Perkerasan 54

Tabel 3. 19 Nilai Poisson’s Ratio 55

Tabel 5. 1 Kondisi Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 62

Tabel 5. 2 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 63
Tabel 5. 3 Data PIT Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas. Sumatera Barat 64
Tabel 5. 4 Data Lendutan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 65
Tabel 5. 5 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan pada Provinsi Sumatera 68
Tabel 5. 6 Rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* per Tahun 69
Tabel 5. 7 Perhitungan Nilai CESA4 dan CESA5 10 Tahun 70
Tabel 5. 8 Perhitungan Nilai CESA4 dan CESA5 20 Tahun 71
Tabel 5. 9 Data Lendutan Maksimum dan Pendekatan Lengkung Lendutan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat 72
Tabel 5. 10 Data IRI Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 73
Tabel 5. 11 Pemilihan Jenis Perkerasan berdasarkan Nilai Pembebanan 76
Tabel 5. 12 Bagan Desain 3 - Penentuan Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan *Cement Treated Based* (CTB) 76
Tabel 5. 13 Bagan Desai 3B - Penentuan Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir 77
Tabel 5. 15 Data *Input* Perkerasan pada *KENPAVE* 78
Tabel 5. 16 *Data Input* Menu *General* Pemodelan Elastik 80
Tabel 5. 17 *Data Input* Menu *Zcord* 80
Tabel 5. 18 *Data Input* Menu *Load* 83
Tabel 5. 19 Titik Koordinat NPT 84
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Regangan Maksimum Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Elastik 85
Tabel 5. 21 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting Pendekatan Elastik 85
Tabel 5. 22 Nilai Umur Sisa Layan Perkerasan Eksisting Pendekatan Elastik 87
Tabel 5. 23 Data Input Perkerasan pada *KENPAVE* untuk Pemodelan Viskoelastik 88
Tabel 5. 24 *Time Of Duration for Creep Compliance* 89
Tabel 5. 25 Nilai *Creep Compliance* AC-WC 90
Tabel 5. 26 Nilai *Creep Compliance AC-BC* 91

Tabel 5. 27 Nilai *Creep Compliance AC-Base* 91
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Nilai Regangan Maksimum Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Viskoelastik 92
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Hasil Analisis *Fatigue Cracking, Rutting*, dan *Permanent Deformation* Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Viskoelastik 93
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Perkerasan Eksisting Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (dalam persen) 95
Tabel 5. 31 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik 95
Tabel 5. 32 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik 96
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Hasil Analisis *Fatigue Cracking, Rutting*, dan *Permanent Deformation* Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Elastik 96
Tabel 5. 34 Rekapitulasi Hasil Analisis *Fatigue Cracking, Rutting*, dan *Permanent Deformation* Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Viskoelastik 97
Tabel 5. 35 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Struktur Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (dalam persen) 98
Tabel 5. 36 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik 100
Tabel 5. 37 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik 100
Tabel 5. 38 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Elastik 101
Tabel 5. 39 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Viskoelastik 101
Tabel 5.40 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik dan Viskoelastik 102
Tabel 5. 41 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik 103

Tabel 5. 42 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik 103
Tabel 5. 43 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Elastik 104
Tabel 5. 44 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Viskoelastik 104
Tabel 5.45 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik dan Viskoelastik 105
Tabel 5. 46 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* Pendekatan Elastik 106
Tabel 5. 47 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* Pendekatan Viskoelastik 106
Tabel 5. 48 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* dengan Pemodelan Elastik 107
Tabel 5. 49 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* dengan Pemodelan Viskoelastik 107
Tabel 5. 50 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* Pendekatan Elastik dan Viskoelastik 108
Tabel 5. 51 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* Pendekatan Elastik 110
Tabel 5. 52 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* Pendekatan Viskoelastik 110
Tabel 5. 53 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* dengan Pemodelan Elastik 110
Tabel 5. 54 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* dengan Pemodelan Viskoelastik 111
Tabel 5. 55 Rekapitulasi Nilai Sisa Umur Layan Layan Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (%) 112

Tabel 5. 56 Perhitungan SN Kumulatif Perkerasan Eksisting Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat 114
Tabel 5. 57 Tabel 5. 60 Perhitungan SN Kumulatif Desain Perkerasan Alternatif *AC Base* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat 114
Tabel 5. 58 Perhitungan SN Kumulatif Desain Perkerasan Alternatif *CTB* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat untuk Pelebaran 114
Tabel 5. 59 Penyesuaian Tebal Perkerasan Eksisting untuk Pelebaran dengan Alternatif *AC Base* 115
Tabel 5. 60 Penyesuaian Tebal Perkerasan Eksisting untuk Pelebaran dengan Alternatif *CTB* 115
Tabel 5. 61 Rekapitulasi Desain Tebal Perkerasan 116
Tabel 5. 62 Rekapitulasi Tegangan Regangan Struktur Perkerasan 122
Tabel 5. 63 Rekapitulasi Analisis Nilai Kontrol Kerusakan 123
Tabel 5. 64 Rekapitulasi Umur Layan 124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lapisan Perkerasan Lentur 18
Gambar 3. 2 Ilustrasi Penyebaran Beban Roda Lapisan Perkerasan Lentur Jalan 19
Gambar 3. 3 Jenis Lapisan Tanah Dasar 22
Gambar 3. 4 Sistem Perkerasan Lentur Pendekatan Mekanistik Empiris 23
Gambar 3. 5 Prosedur Desain Perkerasan Lentur Pendekatan Mekanistik 24
Gambar 3. 6 Tegangan pada *Interfaces* di Sistem Tiga Lapisan 26
Gambar 3. 7 Lapisan Elastik 29
Gambar 3. 8 Pegas (*spring*) dan *Dashspot* 29
Gambar 3. 9 Model Maxwell 39
Gambar 3. 10 Model Kelvin 47
Gambar 3. 11 Model Burgers 47
Gambar 3. 12 Solusi *Overlay* Lendutan Balik Benkelman Beam untuk 41°C 47
Gambar 3. 13 Tebal *Overlay* Tipis berdasarkan Lengkung Lendutan 48
Gambar 3. 14 Tebal *Overlay* Tebal berdasarkan Lengkung Lendutan 48
Gambar 3. 15 Tampilan Awal KENPAVE 52
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian 57
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian 60
Gambar 5. 1 Layout Perkerasan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 61
Gambar 5. 2 Ilustrasi Umur Rencana Ruas Jalan 63
Gambar 5. 3 Lapis Perkerasan Eksisting 66
Gambar 5. 4 Grafik Kebutuhan *Overlay* untuk Deformasi Permanen 73
Gambar 5. 5 Tebal *Overlay* Aspal Konvesional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah (Tipis) 74
Gambar 5. 6 Perkerasan Eksisting dan Desain Tebal *Overlay* Bina Marga 2017 75
Gambar 5. 7 Titik Tinjau Kerusakan 81

Gambar 5. 8 Tampilan *KENPAVE* Zcord 81
Gambar 5. 9 Tampilan *KENPAVE Layer* 82
Gambar 5. 10 Tampilan *KENPAVE Moduli* 82
Gambar 5. 11 Tampilan *KENPAVE Load* 83
Gambar 5. 12 Tampilan *KENPAVE* NPT 84
Gambar 5. 13 Grafik Umur Sisa Layan Desain Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik 99
Gambar 5. 14 Grafik Umur Sisa Layan Desain Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik 99
Gambar 5. 15 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif *AC Base* Elastik 108
Gambar 5. 16 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif AC Base Viskoelastik 109
Gambar 5. 17 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif *CTB* Pendekatan Elastik 113
Gambar 5. 18 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif *CTB* Viskoelastik 113
Gambar 5. 19 Perbandingan Tebal Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif 118

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Time Schedule* Penelitian 133
Lampiran 1. *Time Schedule* Penelitian 133
Lampiran 2. Nilai Lalu Lintas Haria Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 134
Lampiran 3. Nilai *CBR* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W- Batas Sumatera Barat 135
Lampiran 4. Hasil *PIT Test* Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat 136
Lampiran 5.Perhitungan Data Lendutan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W- Batas Sumatera Barat 137
Lampiran 6. Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Elastik 138
Lampiran 7. Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik 139
Lampiran 8. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain *Overlay* Bina Marga 2017 dengan Pendekatan Elastik 140
Lampiran 9. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *AC Base* dengan Pendekatan Elastik 141
Lampiran 10. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *AC Base* dengan Pendekatan Viskoelastik 142
Lampiran 11. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *CTB* dengan Pendekatan Elastik 143
Lampiran 12. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *CTB* dengan Pendekatan Viskoelastik 144

DAFTAR NOTASI

AASHTO	= *American Association of State Highway and Transportation Officials*
AC-WC	= *Asphalt Concrete – Wearing Course*
AC-BC	= *Asphalt Cpncrete – Binder Course*
cm	= centimeter
m	= meter
kg	= kilogram
CTB	= *Cement Treated Base*
ESAL	= *Equivalent Standard Axle Load*
CBR	= *California Bearing Ratio*
R	= faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
I	= tingkat pertumbuhan lalu lintas (%)
UR	= umur rencana (tahun)
CESAL	= *Cumulative Equivalent Single Axle Load*
LHRT	= *lalu lintas harian rata-rata tahunan*
ESA	= *Equivalent Standard Axle*
VDF	= *Vehicle Damage Factor*
E	= modulus elastisitas (kPa)
μ	= angka *Poisson's Ratio*
τ	= tegangan gese*r*
σ	= tegangan normal
P	= beban terpusat roda
kPa	= *kiloPascal*
Psi	= *pound per square inch* (pon per inci persegi)

ABSTRAK

Ruas Jalan Siulak Deras – Batas Sumatera Barat menjadi pintu gerbang dari daerah lain khususnya Sumatera Barat menuju objek-objek wisata di Kerinci. Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat merupakan jalan dengan status Jalan Strategis Nasional (JSN) dengan panjang 33,76 km. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 ruas Jalan Siulak Deras/Letter W dahulu memiliki status sebagai jalan kabupaten dan dinaikkan menjadi jalan nasional pada tahun 2022. Seiring berjalannya waktu jika ruas jalan diberikan beban yang melebihi kapasitasnya, maka ruas jalan akan mengalami penurunan tingkat pelayanan. Menurunnya tingkat pelayanan memiliki ciri di antara lain kerusakan pada jalan. Maka dari itu, dibutuhkan preservasi jalan untuk memperbaiki umur layan jalan seperti *overlay* dan pelebaran jalan.

Penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi desain perkerasan lentur Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat dengan menggunakan Metode Bina Marga 2017 melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Kemudian, evaluasi dilanjutkan dengan menggunakan aplikasi *KENPAVE*.

Hasil penelitian yang dihasilkan adalah perkerasan berdasarkan perbandingan efisiensi umur layan, nilai respons, dan ketebalan yang telah diperhitungkan, perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban yang akan terjadi dengan umur rencana yang telah ditentukan. Sehingga, dibutuhkan desain perkerasan alternatif yang kuat untuk menahan beban yang akan terjadi dengan dengan umur rencana yang telah digunakan. Hasil desain perkerasan alternatif yang dapat digunakan dan memenuhi adalah desain perkerasan overlay menggunakan Bina Marga 2017, desain perkerasan alternatif pelebaran oleh KENPAVE dengan AC Base, dan desain perkerasan alternatif pelebaran oleh KENPAVE dengan CTB. Desain perkerasan overlay memiliki tebal lapisan AC WC 4 cm, AC BC 15 cm, dan LPA kelas A 20 cm. Desain perkerasan alternatif pelebaran dengan AC Base memiliki tebal lapisan AC WC 6 cm, AC BC 14,5 cm, AC Base 20 cm, dan LPA Kelas A 20,5 cm. Sedangkan, desain perkerasan alternatif pelebaran dengan CTB memiliki tebal lapisan AC WC 7 cm, AC BC 8 cm, CTB 15 cm, dan LPA Kelas A 15 cm.

Kata Kunci: Elastik, Viskoelastik, *KENPAVE*

ABSTRACT

The Siulak Deras/Letter W - West Sumatra Border Road serves as a gateway from other regions, particularly West Sumatra, to the tourist attractions in Kerinci. The Siulak Deras/Letter W - West Sumatra Border Road is classified as a National Strategic Road (JSN) with a length of 33.76 km. According to Government Regulation Number 34 of 2006, the Siulak Deras/Letter W road section was previously classified as a district road and was upgraded to a national road in 2022. Over time, if the road section is subjected to loads exceeding its capacity, it will experience a decline in service level. The decline in service level is characterized, among other things, by road damage.

This study was conducted by evaluating the flexible pavement design of the Siulak Deras/Letter W - West Sumatra Border Road using the 2017 Bina Marga Method through elastic and viscoelastic approaches. Subsequently, the evaluation was continued using the KENPAVE application.

The results of the study indicate that the existing pavement, based on the comparison of service life efficiency, response values, and calculated thickness, is not capable of withstanding the anticipated loads for the specified design life. Therefore, an alternative pavement design is required that is strong enough to withstand the anticipated loads for the specified design life. The alternative pavement designs that can be used and meet the requirements are Overlay pavement design using the 2017 Bina Marga method, alternative widening pavement design by KENPAVE with AC Base, alternative widening pavement design by KENPAVE with CTB. The overlay pavement design has an AC WC layer thickness of 4 cm, AC BC of 15 cm, and LPA Class A of 20 cm. The alternative widening pavement design with AC Base has an AC WC layer thickness of 6 cm, AC BC of 14.5 cm, AC Base of 20 cm, and LPA Class A of 20.5 cm. Meanwhile, the alternative widening pavement design with CTB has an AC WC layer thickness of 7 cm, AC BC of 8 cm, CTB of 15 cm, and LPA Class A of 15 cm.

Keywords: Elastic, Viscoelastic, KENPAVE

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan unsur vital dalam kehidupan berbangsa dan bermasyarakat. Pembangunan di bidang transportasi merupakan sorotan di program pemerintahan Jokowi. Hal ini dikarenakan dengan mengoptimalkan pembangunan di bidang sektor transportasi maka akan mendukung pembangunan di sektor lainnya. Tidak hanya itu, sasaran pembangunan nasional di seluruh wilayah akan terwujud baik di perkotaan maupun di pedesaan.

Aschauer (1991) berpendapat bahwa terdapat hubungan kausal antara besarnya investasi pembangunan infrastruktur transportasi dengan peningkatan perekonomian. Menurut Dimnwobi (2017), pada negara-negara berkembang pertumbuhan ekonomi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan transportasi yang memadai untuk mobilitas maupun kegiatan berbisnis. Peningkatan jumlah mobilitas akan menuntut kualitas dan kuantitas prasarana penunjang yang seimbang. Namun, hal ini akan menimbulkan masalah apabila ruas jalan yang digunakan diberikan beban lalu lintas yang melebihi kapasitasnya. Ruas jalan akan mengalami peningkatan waktu perjalanan, penurunan kecepatan perjalanan dan tingkat pelayanan, serta akan berlanjut menjadi kemacetan jika kecepatan menurun hingga 24 km/jam.

Menurut Sari, dkk (2021) akses utama menuju Kabupaten Kerinci dan Kota Sungai Penuh dari Kota Jambi adalah melalui jaringan jalan nasional. Terdapat 7 jaringan jalan nasional yang berada di Kabupaten Kerinci dan 5 ruas jalan nasional yang berada di Kota Sungai Penuh. Salah satunya adalah Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat. Ruas jalan ini juga menjadi pintu gerbang dari daerah lain khususnya Sumatera Barat menuju objek-objek wisata di Kerinci. Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat merupakan jalan dengan status

Jalan Strategis Nasional (JSN) dengan panjang 33,76 km. Menurut Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan jika mengklasifikasikan jalan menurut fungsinya, Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat diklasifikasikan menjadi jalan arteri primer. Sedangkan, jika menurut Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 ruas Jalan Siulak Deras/Letter W dahulu memiliki status sebagai jalan kabupaten dan dinaikkan menjadi jalan nasional pada tahun 2022.

Seiring berjalannya waktu jika ruas jalan diberikan beban yang melebihi kapasitasnya, maka ruas jalan akan mengalami penurunan tingkat pelayanan. Menurunnya tingkat pelayanan memiliki ciri di antara lain kerusakan pada jalan, Terdapat beberapa variasi tipe kerusakan yang akan terjadi dikarenakan perbedaan faktor yang mempengaruhinya. Faktor yang mempengaruhi antara lain beban berlebih, buruknya sistem drainase, kekuatan tanah dasar, cuaca, serta mutu awal produk jalan yang buruk.

Perkerasan jalan pada hakikatnya adalah dapat menyediakan lapisan permukaan rata dan daya dukung yang kuat sehingga kenyamanan dan keamanan untuk masa pelayanan (umur rencana) yang sesuai. Meningkatnya aktivitas pengguna jalan juga akan berpengaruh terhadap perkerasan jalan. Kerusakan pada jalan dapat terjadi lebih cepat apabila beban lalu lintas yang ditahan tidak sesuai dengan rencana. Dikarenakan turunnya tingkat pelayanan pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat, dilakukan preservasi jalan yang berupa penambahan lapis perkerasan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan jalan degan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama umur rencana. Pelebaran perkerasan juga dapat digunakan sebagai pertimbangan meningkatkan kinerja jalan. Maka dari itu, studi perkerasan jalan perlu dilakukan dengan beberapa metode agar dapat membandingkan dan mendapatkan hasil yang paling baik

Metode mekanistik empiris memiliki dua bagian, yang pertama adalah mekanistik yang merupakan hubungan antara respons struktur jalan (tegangan, regangan dan lendutan) dengan parameter input desain yang diformulasikan

berdasarkan sifat-sifat mekanika bahan perkerasan. Sedangkan, bagian kedua merupakan empiris yakni menghubungkan antara respons struktur dengan jumlah lintasan beban yang akan menyebabkan kerusakan jenis tertentu menggunakan fungsi-fungsi transfer tertentu. Keuntungan dari metode mekanistik-empiris adalah dapat menghubungkan secara lebih langsung antara pembebanan, karakteristik material perkerasan, dan kerusakan struktur perkerasan.

Berdasarkan uraian di atas akan didapatkan *output* hasil perbandingan desain dari evaluasi ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat menggunakan desain mekanistik-empiris dengan pemodelan elastik dan viskoselastik yang dibantu dengan program *KENPAVE*. Perbedaan elastik dan viskoelastik adalah pemodelan viskoelastik memperhitungkan waktu dalam perhitungannya dan menggunakan *creep compliance* untuk mengkarakteristikannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan tebal perkerasan eksisting, desain *overlay*, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W dengan Bina Marga 2017?
2. Bagaimana tegangan regangan dan prediksi kerusakan desain lapis perkerasan Ruas Jalan Siulak Deras – Letter W yang telah dianalisis menggunakan *software KENPAVE*?
3. Bagaimana umur layan tebal perkerasan eksisting, desain Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan antara tebal perkerasan eksisting, desain *overlay*, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W dengan Bina Marga 2017 .
2. Mengetahui tegangan regangan dan prediksi kerusakan desain lapis perkerasan Ruas Jalan Siulak Deras – Letter W yang telah dianalisis menggunakan *software KENPAVE*.
3. Menghitung umur layan tebal perkerasan eksisting, desain Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari diharapkan untuk mengetahui kemampuan dari perkerasan lentur eksisting untuk menahan beban rencana dan memproyeksikan keadaan perkerasan lentur eksisting beberapa tahun ke depan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan permasalahan dalam penelitian ini agar lebih terarah dan tersusun dengan baik dan sistematik sebagai berikut ini.

1. Lokasi penelitian dilaksanakan pada ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat di Provinsi Jambi.
2. Data LHR, nilai CBR, tebal perkerasan eksisting, dan lendutan diperoleh secara sekunder dari Balai Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Jambi.
3. Data modulus elastisitas, *poisson's ratio*, sumbu standar ekivalen, dan sebagainya menggunakan data yang diperoleh dari asumsi-asumsi MDPJ 2017.
4. Parameter keberhasilan perhitungan desain pelebaran dan *overlay* dibatasi dengan kemampuan perkerasan menahan beban dengan umur layanan yang direncanakan.
5. Perhitungan menggunakan metode mekanistik empiris menggunakan pemodelan elastik dan viskoelastik.

6. Perhitungan respons tegangan dan regangan menggunakan program *KENPAVE.*

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur menggunakan Pendekatan *Layered Elastic*

Satria (2022) telah melakukan penelitian pada Ruas Jalan Milir-Sentolo (STA. 21+525-22+525), Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan metode mekanistik empiris Bina Marga 2017 dan program *KENPAVE*. Setelah dilakukan analisis pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa dengan pemodelan elastik ruas jalan dapat menahan beban repetisi yang lebih besar sebelum terjadinya *fatigue cracking* dan *permanent deformation*. Pada permodelan elastik juga memiliki masa pelayanan perkerasan lentur eksisting yang lebih lama dibandingkan viskoelastik yaitu sebesar 55 tahun. Berdasarkan hasil yang telah didapat, perlu dilakukan evaluasi dan pengecekan ke lapangan sebelum umur ke-14 (permodelan viskoelastik) dan umur ke-21 (permodelan elastik) apakah perkerasan jalan eksisting sudah mengalami kerusakan pertama yaitu *permanent deformation*. Beberapa saran yang dihasilkan dari kesimpulan tersebut adalah perlu dilakukan evaluasi dan pengecekan ke lapangan sebelum umur le-24 dan ke-21 untuk mengetahui kondisi jalan eksissting telah mengalami kerusakan pertama.

Pambudi (2021) telah melakukan penelitian pada ruas jalan Simpang Pundu – Tumbang Samba dengan menggunakan metode mekanistik-empiris Bina Marga 2017 yang dianalisis oleh program *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Didapatkan bahwa solusi dari *viscoelastic layer* ini diperoleh melalui prinsip koresponden elastik – viskoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu. Perkerasan lentur alternatif dengan pendekatan viskoelastik dan elastik linier yang dirancang dapat mengakomodasi beban lalu lintas dengan baik selama umur yang direncanakan yakni 20 tahun.

Hadi & Fauzah (2022) melakukan penelitian terhadap umur layanan campuran *Superpave* dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik. Desain perkerasan rencana pada penelitian ini menggunakan data Lalu Lintas Harian Rerata (LHR) pada ruas Jalan Padjajaran, Yogyakarta yang diproyeksikan untuk tahun 2021. Permodelan viskoelastik digunakan untuk menganalisis lapisan aspal dengan menerapkan sifat viskoelastik yaitu waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Sedangkan, permodelan elastik digunakan untuk menganalisis lapisan secara linear elastik dengan menghitung tegangan, regangan, dan defleksi di struktur pekerasan yang permukaannya telah dibebani. Pada permodelan *KENPAVE*, persepsi mengenai pengaruh suhu pembebanan terhadap campuran aspal sangat berdampak pada hasil prediksi nilai beban gandar minimum dan prediksi umur pelayanan perkerasan. Apabila campuran perkerasan dianggap tidak terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan elastik) maka akan menghasilkan campuran perkerasan yang memiliki prediksi nilai beban gandar minimum yang relatif lebih tinggi dan prediksi umur pelayanan yang lebih panjang apabila dibandingkan dengan anggapan bahwa campuran aspal akan terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan viskoelastik).

Penelitian yang dilakukan oleh Tolab, dkk (2023) mengenai analisis perbandingan perkerasan AC-WC berbahan ikat starbit E-55 dengan pen 60/70 yang menggunakan metode elastik linear dengan objek penelitian berada di Jalan Ringroad Utara Yogyakarta menghasilkan kesimpulan bahwa *output* yang dihasilkan *KENPAVE* yaitu dengan dilakukan pengecekan pada beberapa titik kritis yaitu bagian bawah pada lapis beraspal yang memiliki respon struktur regangan tarik arah horizontal dengan kegunaan memprediksi kerusakan *fatigue cracking* pada lapis beraspal, bagian atas lapis pondasi atas/bawah yang memiliki respon struktur regangan desak arah vertikal dengan kegunaan memprediksi kerusakan *rutting* pada lapis pondasi atas/bawah, dan bagian atas *subgrade* yang memiliki respons struktur regangan desak arah vertikal dengan kegunaan memprediksi kerusakan *permanent deformation* pada *subgrade*.

Sendow & Lefrand (2023) melakukan penelitian pada Jalan Soekarno di Sulawesi Utara menggunakan metode mekanistik empiris dan Bina Marga 2017. Pada

metode mekanistik empirik mereka menggunakan tabel regangan vertikal dan horizontal ysng dikemukakan oleh Aloysius Tjan. Berdasarkan kesimpulan yang didapat, metode MDP 2017 menghasilkan umur layan jalan yang lebih besar dibandingkan metode mekanistik empiris. Berdasarkan perhitungan dengan variasi beban 1 juta s/d 30 juta ESAL untuk tanah dasar E3= 75 Mpa; Metode mekanistik empirik cenderung lebih kecil pada variasi beban 1-2 Juta, 11 s/d 16 Juta, dan 21-25 Juta ESAL. Sedangkan, Metode mekanistik empirik lebih besar pada beban 3-10 Juta dan 17-20 Juta ESAL.

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *KENPAVE*

Sumarsono & Fauziah (2022) telah melakukan penelitian pada ruas jalan Jogja-Solo STA. 14+800 – 19+800 dengan menggunakan metode empirik dan mekanistik empirik. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pada metode analisa komponen bina marga 1987 (SKBI 1987) digunakan untuk menghitung tebal lapis tambah (*overlay*) dan perhitungan nilai sisa umur perkerasan (*remaining life*), terdapat beberapa tahap dalam mendapatkan tebal lapis tambah (*overlay*) dan nilai sisa umur perkerasan (*remaining life*) tersebut, tahapannya yaitu dengan menentukan koefisien kekuatan relatif (a), mengetahui nilai kondisi perkerasan, kekuatan jalan, dan tebal perkerasan eksisting, lalu dihitung ITP (Indeks Tebal Perkerasan) sisa, ITP akhir umur rencana dan tebal lapis tambahnya. Hasil yang didapat adalah nilai *Surface Distress Index (SDI)* dan *International Roughness Index (IRI)* pada ruas Jalan Jogja-Solo menunjukkan jalan tersebut memiliki kondisi rusak ringan.

Lia (2022) melakukan penelitian pada Ruas Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung dengan menggunakan metode AASHTO 1993 dan metode Analisa Komponen dibantu menggunakan program *KENPAVE*. Dari hasil evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi *KENPAVE* diketahui bahwa struktur perkerasan metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 terjadi retak lelah (*fatigue cracking*) sedangkan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak lelah (*fatigue cracking*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO

1993 dan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak alur (*rutting*) akan tetapi metode Bina Marga 2017 terjadi retak alur (*rutting*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017 tidak terjadi deformasi permanen (*permanent deformation*) selama umur rencana.

Penelitian yang dilakukan oleh Hadi (2023) pada Ruas Jalan Batas Kabupaten Batas Kota Bangkinang menggunakan program *KENPAVE.* Penelitian ini menggunakan Program *KENPAVE* untuk mengidentifikasikan keabsahan data dalam penentuan tingkat kerentanan yang ada terhadap aktivitas *overload* kendaraan. Proses analisis pada *KENPAVE* yang dilakukan pada penelitian ini antara lain menentukan data *properties* material, menganalisis nilai ESAL dan menentukan rincian beban sumbu roda kendaraan, melakukan permodelan struktur perkerasan jalan dengan Program *KENPAVE* dan memilih sub *KENLAYER* untuk melihat output pada proses analisis, melakukan input dan menganalisis *output* dengan menerapkan persamaan *Asphalt Institute*, dan mengidentifikasi kerentanan kinerja perkerasan jalan terhadap aktivitas *overload*.

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian penulis dengan penelitian relevan terdahulu yang pernah dilakukan dilampirkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan dengan Penelitian tentang Evaluasi Desain Perkerasan Lentur

	Satria (2022)	Pambudi (2021)	Hadi & Fauziah (2022)	Tolab, dkk (2023)	Sumarsono & Fauziah (2022)	Lia (2022)
Judul Penelitian	Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-Empiris Struktur Perkerasan Lentur dengan Pemodelan Elastik dan ViskoelastiK: Studi Kasus pada Ruas Jalan Milir - Sentolo	Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program *Kenpave* menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik	Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan antara Campuran *Superpave* dan AC-WC Menggunakan Permodelan Viskoelastik dan Elastik	Analisis Perbandingan Perkerasan AC-WC Berbahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 menggunakan Metode Elastik Linear	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 - 19+800)	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur menggunakan Aplikasi *KENPAVE*
Lokasi Penelitian	Jalan Milir - Sentolo	Jalan Simpang Pundu - Tumbang Samba	Jalan Padjajaran, Yogyakarta	Jalan Ringroad Utara Yogyakarta	Jalan Jogja-Solo Km 14+800 - 16+800	Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung
Metode Analisis	Mekanistik Empiris	Bina Marga 2017	Mekanistik - Empiris	Mekanistik Linear	Empirik dan Mekanistik-Empirik	Metode AASHTO 1993, Analisa Komponen, dan Bina Marga 2017

Sumber: Satria (2022), Pambudi (2021), Hadi & Fauziah(2022), Tolab dkk (2023), Sumarsono & Fauziah (2022), Lia (2022)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan dengan Penelitian tentang Evaluasi Desain Perkerasan Lentur

	Satria (2022)	Pambudi (2021)	Hadi & Fauziah (2022)	Tolab,dkk (2023)	Sumarsono & Fauziah (2022)	Lia (2022)
Hasil	Setelah dilakukan analisis, didapatkan kesimpulan bahwa dengan pemodelan elastik, ruas jalan dapat menahan beban repetisi yang lebih besar sebelum terjadinya *fatigue cracking* dan *permanent deformation.* Pada pemodelan elastik juga memiliki masa pelayanan perkerasan lentur eksisting yang lebih lama dibandingkan viskoelastis yaitu sebesar 55 tahun. Berdasarkan hasil yang telah didapat, perlu dilakukan evaluasi dan pengecekan ke lapangan sebelum umur ke-14 (pemodelan viskoelastik) dan umur ke-21 (pemodelan elastik) apakah perkerasan jalan eksisting sudah mengalami kerusakan pertama yaitu *permanent deformation*.	Solusi dari *viscoelastic layer* ini diperoleh melalui prinsip koresponden elastik - viskoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu. Perkerasan lentur alternatif dengan pendekatan viskoelastik dan elastik linier yang dirancang dapat mengakomodasi beban lalu lintas dengan baik selama umur yang direncakan yakni 20 Tahun.	Pada permodelan *KENPAVE*, persepsi mengenai pengaruh suhu pembebanan terhadap campuran aspal sangat berdampak pada hasil prediksi nilai beban gandar minimum dan prediksi umur pelayanan perkerasan. Apabila campuran perkerasan dianggap tidak terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan elastik) maka akan menghasilkan campuran perkerasan yang memiliki prediksi nilai beban gandar minimum yang relatif lebih tinggi dan prediksi umur pelayanan yang lebih panjang apabila dibandingkan dengan anggapan bahwa campuran aspal akan terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan viskoelastik).	Output yang dihasilkan *KENPAVE* yaitu dengan dilakukan pengecekan pada beberapa titik kritis yaitu bagian bawah pada lapis beraspal yang memiliki respon struktur regangan tarik arah horizontal dengan kegunaan memprediksi kerusakan *fatigue cracking* pada lapis beraspal, bagian atas lapis pondasi atas/bawah yang memiliki respon struktur regangan desak arah vertikal dengan kegunaan memprediksi kerusakan *rutting* pada lapis pondasi atas/bawah, dan bagian atas *subgrade* yang memiliki respon struktur regangan desak arah vertikal dengan kegunaan memprediksi kerusakan *permanent deformation* pada *subgrade*.	Metode Analisa Komponen Bina Marga 1987 (SKBI 1987) digunakan untuk menghitung tebal lapis tambah (*overlay*) dan perhitungan nilai sisa umur perkerasan (*Remaining Life*),ada beberapa tahap dalam mendapatkan tebal lapis tambah (*overlay*) dan *remaining life* tersebut, tahapannya yaitu dengan menentukan koefisien kekuatan relatif (a), mengetahui nilai kondisi perkerasan, kekuatan jalan dan tebal perkerasan (eksisting), lalu dihitung ITP (Indeks Tebal Perkerasan) sisa, ITP akhir umur rencana dan tebal lapis tambahnya.	Berdasarkan dari evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi Kenpave diketahui bahwa struktur perkerasan metode AASHTO 1993 dan metode Bina Marga 2017 terjadi retak lelah (*fatigue cracking*) sedangkan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak lelah (*fatigue cracking*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017 tidak terjadi deformasi permanen (*permanent deformation*) selama umur rencana.

Sumber: Satria (2022), Pambudi (2021), Hadi & Fauziah(2022), Tolab dkk (2023), Sumarsono & Fauziah (2022), Lia (2022)

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan dengan Penelitian tentang Evaluasi Desain Perkerasan Lentur

	Sendow & Lefrand (2023)	Hadi (2023)	Utari (2023)
Judul Penelitian	Analisa Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik Empiris Dibandingkan dengan Metode Bina Marga 2017, Ruas Jalan Soekarno Provinsi Sulawesi Utara	Identifikasi Kerentanan Kinerja Perkerasan Jalan terhadap Aktivitas *Overload* Kendaraan menggunakan Program *KENPAVE*	Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Lentur dengan Pemodelan Elastik dan Viskoeastik: Studi Kasus pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Bts. Sumbar (STA. 4+600)
Lokasi Penelitian	Jalan Soekarno, Sulawesi Utara	Jalan Batas Kabupaten Kampar - Batas Kota Bangkinang	Jalan Siulak Deras/Letter W - Bts. Sumbar (STA. 4+600)
Metode Analisis	Mekanistik Empiris & Bina Marga 2017	Program *KENPAVE*	Mekanistik Empiris & Bina Marga 2017
Hasil	Pada studi literatur ini, metode mekanistik empiris yang digunakan menggunakan tabel regangan vertikal dan horizontal yang dikemukakan oleh Aloysius Tjan. Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan, metode MDP 2017 menghasilkan umur layan jalan yang lebih besar dibandingkan metode mekanistik empiris. Berdasarkan perhitungan dengan variasi beban 1 juta s/d 30 juta ESAL untuk tanah dasar E3= 75 Mpa; Metode Mekanistik Empiris cenderung lebih kecil pada variasi beban 1-2 Juta, 11 s/d 16 Juta, dan 21-25 Juta ESAL. Sedangkan, Metode Mekanistik Empirik lebih besar pada beban 3-10 Juta dan 17-20 Juta ESAL.	Pada penelitian ini, dikatakan bahwa Program *KENPAVE* dapat dijadikan alternatif untuk mengidentifikasikan keabsahan data dalam penentuan tingkat kerentanan yang ada terhadap aktivitas *overload* kendaraan. Proses analisis pada *KENPAVE* yang dilakukan pada penelitian ini antara lain menetukan data *properties* material, menganalisis nilai ESAL dan menentukan rincian beban sumbu roda kendaraan, melakukan pemodelan struktur perkerasan jalan dengan Program *KENPAVE* dan memilih sub *KENLAYER* untuk melihat *output* pada proses analisis, melakukan *input* dan menganalisis *output* dengan menerapkan persamaan *Asphalt Institute*, dan mengidentifikasi kerentanan kinerja perkerasan jalan terhadap aktivitas *overload.*	-

Sumber: Sendow & Lefrand (2023), Hadi (2023), dan Utari (2023)

2.4 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

Terdapat beberapa persamaan dan perbedaan antara penelitian yang dilakukan oleh penulis dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Perbedaan yang biasanya terjadi terdapat pada objek penelitian, lokasi penelitian, *output* yang dihasilkan, dan pendekatan desain yang dilakukan. Sumarsono & Fauziah (2022) melakukan penelitian perkerasan lentur pada ruas jalan Jogja-Solo (sta. 14+800-16+800) menggunakan metode empirik (Bina Marga 2013 dan SKBI 1987) dan mekanistik empirik (Program *KENPAVE)* dengan *output* yang dihasilkan berupa nilai *Surface Distress Index (SDI), International Roughness Index (IRI),* umur pelayanan, dan tebal lapis tambah.

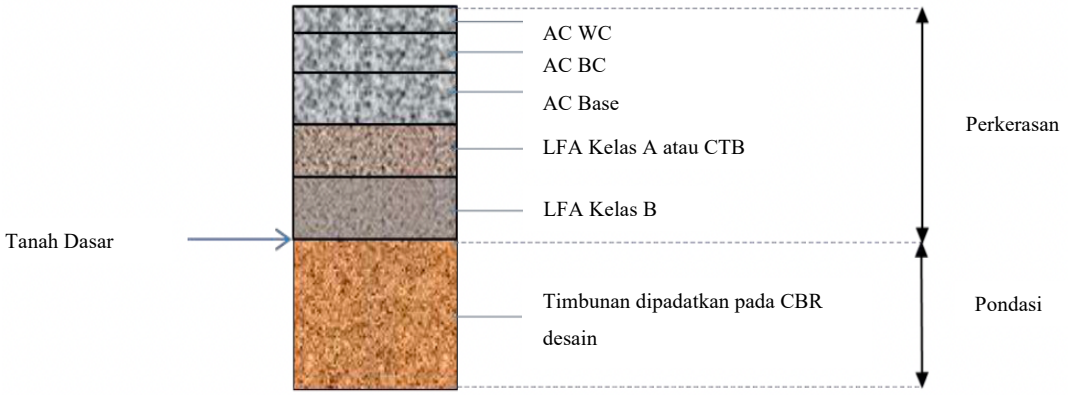
Pada penelitian yang dilakukan oleh Satria (2022) melakukan studi kasus yang berlokasi di ruas jalan Milir-Sentolo (STA. 21+525-22+525) menggunakan metode mekanistik empirik (cara manual dan program *KENPAVE*) dengan kemampuan perkerasan eksisting, jumlah repetisi beban, dan masa pelayanan untuk mengalami kerusakan yang telah direncanakan (desain alternatif dan eksisting). Tolab, dkk (2022) melakukan penelitian mengenai perkerasan AC-WC yang menggunakan bahan ikat starbit E-55 dengan pen 60/70 menggunakan metode elastik linear. Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan penulis adalah salah satu metode yang digunakan yaitu metode mekanistik empirik dengan menggunakan bantuan program *KENPAVE. Output* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah perbandingan ketahanan aspal terhadap deformasi beban dan jumlah repetisi beban untuk mengalami kerusakan yang telah direncanakan berdasarkan material perkerasan yang telah dirancang.

Penelitian yang dilakukan oleh Hadi & Fauziah (2022) memiliki persamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu pada analisis yang dilakukan menggunakan metode mekanisttik-empiris dengan bantuan program *KENPAVE.* Pada penelitian yang dilakukan oleh Pambudi (2021) dengan yang dilakukan penulis hanya memiliki perbedaan pada lokasi penelitian yaitu di Ruas Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba.

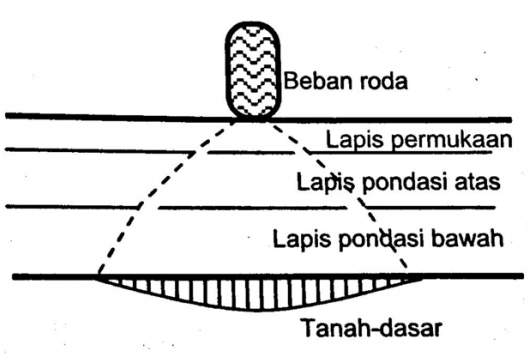
BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

(Sukirman. S, 1999) menyebutkan bahwa konstruksi perkerasan memiliki lapisan yang berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan-lapisan di bawahnya. Lapisan ini diletakkan di atas tanah yang telah dipadatkan. Menurut Satria (2022) yang dimaksud lentur adalah perkerasan yang terbuat dari berbagai fraksi batuan membentuk gradasi batuan yang sesuai dengan persyaratan dan diikat oleh bahan pengikat aspal. Perkerasan lentur biasanya ditujukan pada konstruksi jalan yang memiliki lendutan yang relatif besar akibat beban lalu lintas yang ditahan. Hal ini karena perkerasan lentur umumnya mempunyai kelenturan yang tinggi dibandingkan dengan lapis perkerasan kaku. Berikut merupakan lapisan-lapisan dan penyebaran beban roda pada perkerasan lentur yang dapat dilihat di Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Lapisan Perkerasan Lentur
(Sumber: Bina Marga, 2017)



Gambar 3. 2 Ilustrasi Penyebaran Beban Roda melalui Lapisan Perkerasan Lentur Jalan

(Sumber: Hardiyatmo, 2011)

3.1.1 Lapisan permukaan *(Surface Course)*

Lapis permukaan umumnya dibuat menggunakan aspal, lapis permukaan merupakan lapisan yang berfungsi sebagai lapisan yang menerima gesekan akibat rem dari kendaraan sehingga mudah menjadi aus. Lapisan ini terletak pada bagian paling atas yang berfungsi sebagai berikut.

1. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda.
2. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca.
3. Sebagai lapisan aus (*wearing course*). Lapisan aus akan dikenai langsung dengan ban kendaraan sehingga diharuskan untuk tahan cuaca, gaya geser, tekanan roda kendaraan, dan kedap air untuk lapisan di bawahnya. Bahan untuk lapis permukaan umumnya sama dengan bahan untuk lapisan pondasi, namun diperlukan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air dan memberikan bantuan tegangan regangan sehingga meningkatkan daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

Beberapa jenis lapis permukaan adalah sebagai berikut.

1. Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

2. Lapis Penetrasi Makadam (Lapen)

   Lapen terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka yang diikat oleh aspal yang disemprotkan di atasnya. Biasanya diberikan leburan aspal dengan agregat penutup.

3. Lapis Asbuton Campuran Dingin (Lasbutag)

   Lasbutag terdiri dari agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan secara dingin.

4. *Hot Rolled Asphalt* (HRA)

   Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, *filler*, dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

3.1.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base course*)

Lapis pondasi atas adalah lapisan yang terletak di antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah. Beberapa fungsi lapisan pondasi atas dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Lapis pondasi atas berfungsi sebagai bantalan perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban roda.
2. Lapis pondasi atas juga berfungsi sebagai perletakan lapis permukaan.
3. Pemilihan bahan untuk lapisan pondasi harus kuat dan tahan lama agar mampu menahan beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai pondasi, perlu dilakukan penyelidikan dan pertimbangan yang cermat terkait dengan persyaratan teknis. Terdapat berbagai macam bahan alami (CBR $\geq$ 50% dan PI $\leq$ 4%) yang dapat digunakan sebagai bahan lapisan pondasi, seperti batu pecah, kerikil pecah, dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

3.1.3 Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course)*

Lapis pondasi bawah adalah perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapisan pondasi atas. Fungsi dari lapisan pondasi bawah dapat dilihat sebagai berikut.

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
2. Sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
3. Mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
4. Melindungi lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat pada awal pelaksanaan pekerjaan dan pengaruh perubahan cuaca.

3.1.4 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

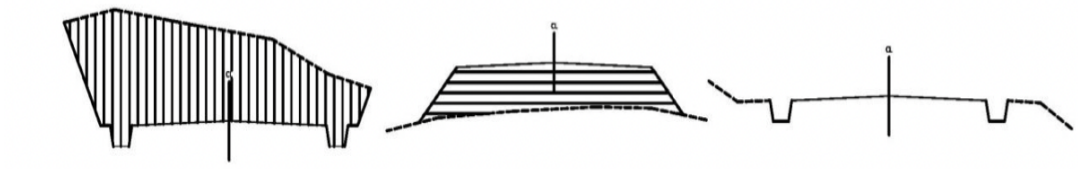
Lapis tanah dasar adalah permukaan tanah semula, galian, ataupun timbunan yang dipadatkan dan digunakan untuk meletakkan lapisan-lapisan permukaan di atasnya. Perkerasan lain diletakkan di atas tanah dasar sehingga mutu dan daya tahan seluruh konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Tanah dasar harus dipadatkan hingga mencapai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik. Pemadatan yang baik akan diperoleh apabila dilakukan pasa kondisi kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan dan sistem drainase yang memenuhi syarat (Sukirman, 1999). Jenis-jenis lapisan tanah dasar ditinjau dari muka tanah dasar adalah sebagai berikut.

1. Lapisan tanah dasar yang berupa tanah galian.
   Tanah galian terletak di bawah muka tanah asli.
2. Lapisan tanah dasar yang berupa tanah urugan
   Tanah urugan terletak di atas muka tanah asli. Urugan dibagi menjadi 2 macam berdasarkan tujuan penggunaannya yaitu:

a. Urugan biasa, yaitu urugan yang digunakan untuk mencapai elevasi akhir pada *subgrade* yang telah diisyaratkan dalam perhitungan tanpa maksud khusus lainnya. Selain itu, urugan jenis ini juga digunakan untuk penggantian material eksisting subgrade yang tidak memenuhi syarat.
b. Urugan pilihan, yaitu urugan yang digunakan untuk mencapai elevasi akhir pada *subgrade* yang telah diisyaratkan dalam perhitungan dengan maksud khusus lainnya seperti mengurangi tebal lapisan pondasi bawah dan memperkecil gaya lateral tekanan tanah di belakang dinding penahan tanah talud jalan.

3. Lapisan tanah dasar yang berupa tanah asli

Lapisan tanah dasar yang berupa tanah asli merupakan muka tanah asli yang terletak pada jalan tersebut. Persiapan penggunaan lapis tanah dasar jenis ini hanya berupa pembersihan dan pemadatan lapisan atas setebal 30-50 cm dari muka tanah. Berikut merupakan jenis lapisan tanah dasar dilampirkan pada Gambar 3.3.



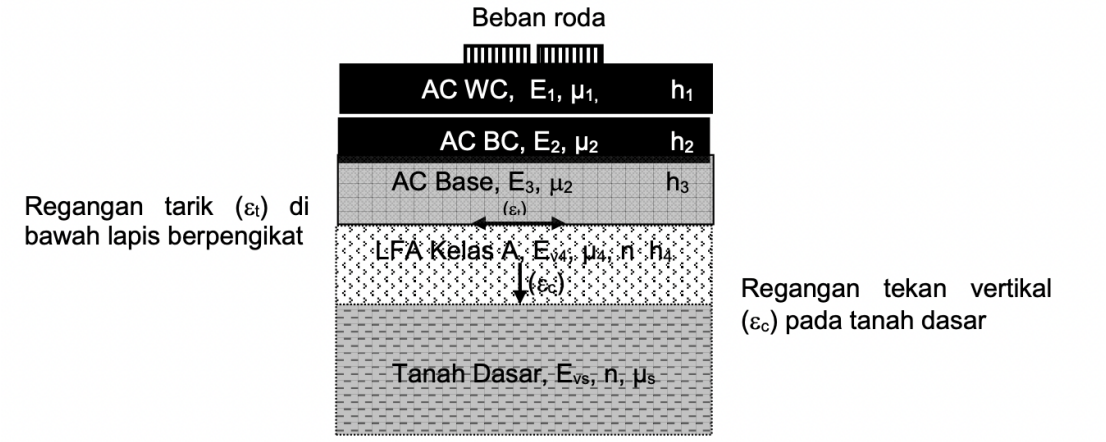
Tanah Dasar Galian Tanah Dasar Timbunan Tanah Dasar Tanah Asli

Gambar 3. 3 Jenis Lapisan Tanah Dasar
(Sumber: Mubarak, 2016)

3.2 Metode Mekanistik Empirik

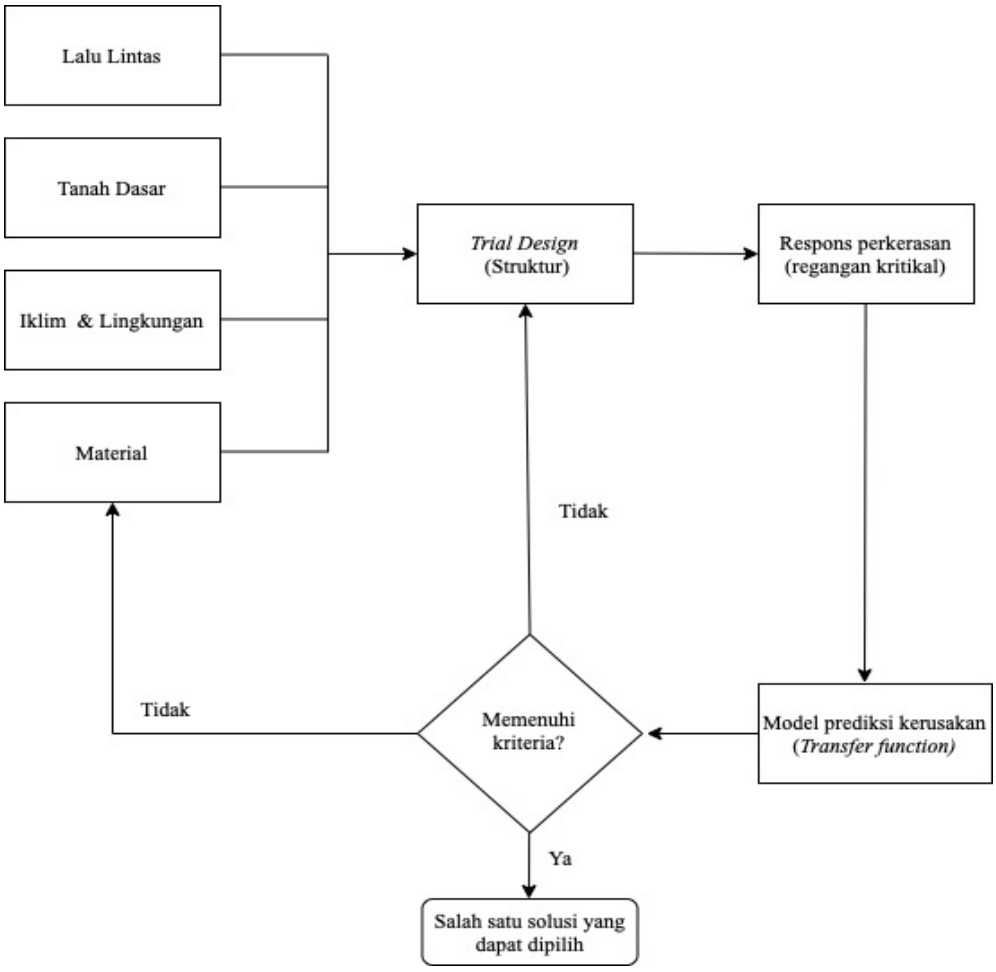
Metode mekanistik empirik adalah metode perancangan tebal perkerasan penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan atau regangan yang timbul berulang-ulang pada lapis perkerasan sampai terjadi kerusakan yang telah ditetapkan

sebelumnya sebagai batas tingkat kerusakan yang dapat diterima oleh lapis perkerasan. Perkerasan ini dipengaruhi oleh beberapa aspek input seperti lalu lintas, tanah dasar, lingkungan, dan material. Sistem perkerasan lentur berdasarkan pendekatan mekanistik empiris dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Sistem Perkerasan Lentur Pendekatan Mekanistik Empiris
(Sumber: Bina Marga, 2017)

Sistem perancangan perkerasan lentur yang menggunakan metode mekanistik empiris bersifat *trial and error*. Hal ini dikarenakan proses perancangan ini dimulai dengan pemilihan jenis struktur yang diasumsikan dapat menahan beban rencana dengan waktu yang telah ditetapkan. Kemudian dilakukan analisis untuk memvalidasi apakah regangan kritikal yang dihasilkan mampu menahan beban rencana atau tidak. Jika angka yang dihasilkan menunjukkan struktur yang telah diasumsikan tersebut tidak mampu menahan beban, dilakukan perubahan struktur yang dapat berupa perubahan dimensi atau material, ataupun keduanya.



Gambar 3. 5 Prosedur Desain Perkerasan Lentur menggunakan Pendekatan Mekanistik

(Sumber: Bina Marga, 2017)

3.3 Teori Sistem Lapis Banyak

Menurut Huang (2004) terdapat beberapa teori dasar yang digunakan pada sistem lapis banyak, antara lain.

1. Setiap lapisan adalah homogen, isotropik, dan elastis linear dengan modulus elastisitas (E) dan rasio Poisson (v).
2. Material tidak memiliki berat dan memiliki luas yang tidak terbatas.
3. Setiap lapisan memiliki ketebalan (h) yang terbatas, kecuali lapisan terbawah dikarenakan tanah dasar memiliki kedalaman yang tidak terbatas.

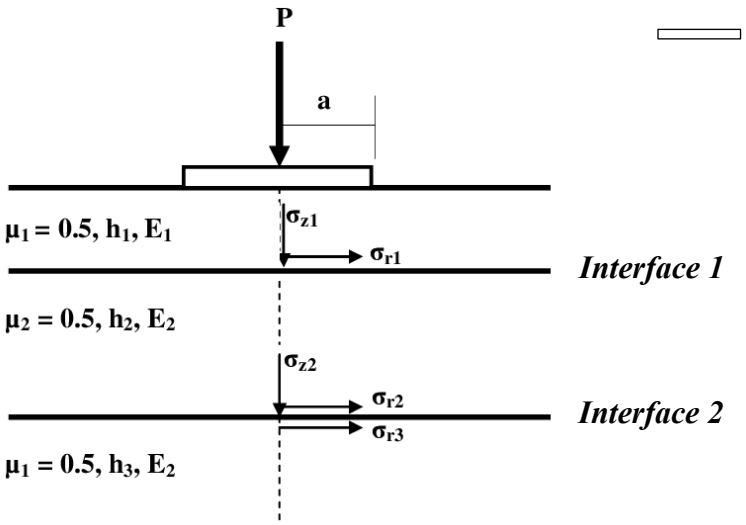
4. Beban merata (q)

Sebagian besar struktur jalan raya lebih kompleks dari sistem struktur dua lapisan yang telah digambarkan di atas. Sistem perkerasan berlapis tidak hanya terbatas dengan 3 lapisan, tapi dapat dihitung hingga lapisan ke-n dengan menggunakan bantuan aplikasi komputer. Sebuah model elastis berlapis membutuhkan jumlah input minimum untuk menggambarkan sebuah struktur perkerasan dan responnya terhadap beban yang diberikan. Berikut adalah input-input yang dibutuhkan:

1. Sifat-sifat material dari setiap lapisan
    a. Modulus elastisitas
    b. Rasio Poisson
2. Ketebalan lapisan
3. Kondisi Pembebanan
    a. Magnitudo, jumlah gaya total (P) yang diberikan kepada permukaan jalan.
    b. Geometri, ditentukan sebagai lingkaran dengan radius tertentu (r atau a).

Gambar 3.9 menunjukkan sistem tiga lapisan dan tegangan pada *interface* pada sumbu simetri. Tegangan-tegangan ini termasuk tegangan vertikal pada *interface* 1, $\sigma_1 z$, tegangan vertikal pada *interface* 2, $\sigma_2 z$, tegangan radial di bagian bawah lapisan 1, $\sigma_1 \theta$, tegangan radial di bagian atas lapisan 2, $\sigma_2 \theta$, tegangan radial di bagian bawah lapisan 2, $\sigma_2 \theta$, dan tegangan radial di bagian atas lapisan 3, $\sigma_3 \theta$. Pada sumbu simetri, tegangan tegak lurus dan tegangan radial bernilai sama, dan kekuatan geser (*shear strength*) sama dengan 0 (Huang, 2004).

Setiap lapisan jalan memiliki kedalaman yang berbeda dan memiliki nilai modulus elastisitas dan rasio Poisson yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh penggunaan jenis material yang berbeda. Tegangan normal (σ) bekerja tegak lurus terhadap permukaan, sementara tegangan geser (τ) bekerja sejajar dengan permukaan.



Gambar 3. 6 Tegangan pada *Interfaces* di Sistem Tiga Lapisan
(Sumber: Huang, 2004)

Dalam kondisi keseimbangan statis, terlihat bahwa tegangan geser yang bekerja pada setiap permukaan adalah sama, sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan geser hasil adalah nol. Regangan yang terjadi diformulasikan dalam Persamaan 3.3 s/d 3.5 sebagai berikut.

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}[\sigma_r - \mu(\sigma_t + \sigma_z)] \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E}[\sigma_t - \mu(\sigma_z + r)] \quad (3.5)$$

dengan:

ε = Regangan,
q(t) = Beban merata,
h_m = Kedalaman setiap lapisan,
E = Modulus elastisitas setiap lapisan,
μ = Nilai rasio Poisson setiap lapisan,

σ = Tegangan normal, dan

τ = Tegangan geser.

3.4 Karakteristik Material

3.4.1 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau modulus Young, adalah ukuran kekakuan suatu bahan. Modulus elastisitas adaalah rasio tegangan normal terhadap regangan normal dalam rentang elastis dari kurva tegangan-regangan. Modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \tag{3.6}$$

dengan:

E = Modulus elastisitas (kPa atau Psi),

τ = tegangan (kPa), dan

ε = regangan.

3.4.2 *Poisson's Ratio*

Rasio Poisson adalah ukuran sifat material yang menggambarkan bagaimana material tersebut berubah bentuk di arah tegak lurus terhadap arah beban yang diterapkan. Nilai rasio poisson dapat dilihat pada Tabel 3.1.

3.4.3 Lapisan Elastik

Pemodelan lapisan elastik dapat menghitung tegangan, regangan, dan defleksi pada setiap titik dalam struktur perkerasan akibat beban permukaan. Pada pemodelan lapisan elastik diasumsikan bahwa setiap lapisan struktural bersifat homogen, isotropik, dan elastis linier.

Tabel 3. 1 Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat yang Digunakan untuk Pengembangan Bagan Desain dan Analisis Mekanistik

<table>
<tr><th>Jenis Bahan</th><th>Modulus Tipikal</th><th>Poisson's Ratio</th><th>Koefisien (Relatif (a)</th></tr>
<tr><td>HRS WC</td><td>800 MPa</td><td rowspan="4">0,40</td><td rowspan="6">Sesuai PdT-01-2002-B</td></tr>
<tr><td>HRS BC</td><td>900 MPa</td></tr>
<tr><td>AC WC</td><td>1100 MPa</td></tr>
<tr><td>AC BC (lapis atas)</td><td>1200 MPa</td></tr>
<tr><td>AC Base atau AC BC (sebagai base)</td><td>1600 Mpa</td><td rowspan="3">1600 Mpa</td></tr>
<tr><td>Bahan bersemen (CTB)</td><td>500 Mpa (post cracking)</td><td>0,2 (mulus)
0,35 (retak)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tanah dasar (disesuaikan musim)</td><td rowspan="2">10 x CBR (Mpa)</td><td>0,45 (tanah kohesif)</td></tr>
<tr><td>0,35 (tanah non kohesif)</td></tr>
</table>

(Sumber: Bina Marga, 2017)

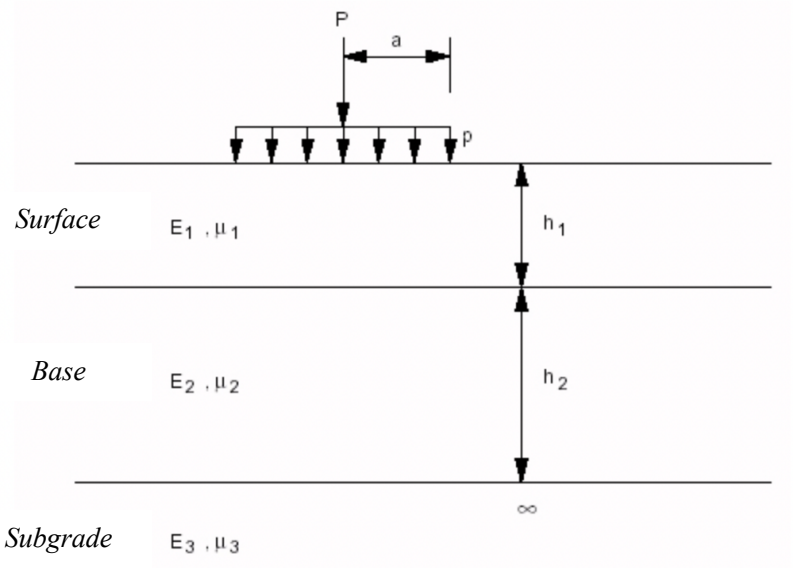
Lapisan elastik menggunakan model matematika sederhana yang membutuhkan beberapa asumsi dasar. Asumsi-asumsi tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Lapisan perkerasan membentang tak terbatas secara horizontal.
2. Lapisan terbawah (tanah dasar) membentang tak terbatas ke bawah.
3. Material perkerasan tidak mengalami tegangan melebihi rentang elastisitasnya.

Lapisan elastik digambarkan pada Gambar 3.7.

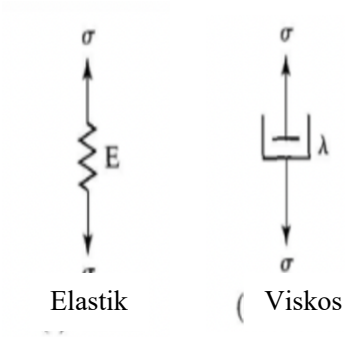
3.4.3.1 Model Mekanikal

Model mekanikal digambarkan dengan dua elemen dasar yaitu sebuah pegas (*spring*) dan sebuah *dashpot*. Model mekanik lapisan viskoelastik digunakan untuk menggambarkan karakteristik jalan aspal sebagai bahan viskoelastik dalam analisis mekaniknya.



Gambar 3. 7 Lapisan Elastik
(Sumber: Huang, 2004)

Dalam model ini, jalan aspal dianggap memiliki sifat viskoelastik yang merupakan gabungan antara perilaku elastis (mengembalikan bentuk asli setelah diberi beban) dan perilaku viskos (mengalami perubahan bentuk seiring waktu ketika diberi beban yang konstan). Pemahaman mengenai perilaku viskoelastik jalan aspal menjadi krusial untuk menjamin daya tahan dan kinerja jalan dalam menghadapi beban lalu lintas. Pada Gambar 3.8 merupakan ilustrasi dari *spring* dan *dashpot*.



Gambar 3. 8 Pegas (*spring*) dan *Dashspot*
(Sumber: Huang, 2004)

3.4.2 Lapisan Viskoelastik

Terdapat dua metode untuk mengkarakterisasi bahan viskoelastis, yaitu model mekanikal dan kurva *creep compliances.* Digunakan prinsip koresponden elastis-viskoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu (Huang, 2004). Lapisan viskoelastik dikarakterkan menggunakan *creep compliances. Creep compliances* adalah regangan geser dibagi dengan tegangan geser sebagai ukuran deformasi lentur kontinu seketika dari suatu material di bawah pembebanan tegangan statis dari waktu ke waktu. *Creep compliance* dapat dirumuskan menjadi Persamaan 3.12 berikut.

$$\mathrm{Dt} = \frac{1}{E_0}\left(1 + \frac{t}{T_0}\right) + \sum_{i=1}^{n}\left[1 - \exp\left(\frac{-t}{T_1}\right)\right] \tag{3.12}$$

dengan:

D(t) = *Creep compliance* pada durasi waktu tertentu,

$\in$ (t) = Tegangan pada durasi waktu tertentu,

σ = Tegangan, dan

E = Modulus elastisitas.

Creep compliances dihitung dengan 11 durasi waktu yaitu 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 detik sesuai dengan modulus elastisitas masing-masing material perkerasan.

3.5 Desain Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

Metode desain yang digunakan dalam Manual Desain Perkerasan (Bina Marga, 2017) adalah metode mekanistik empiris yang saat ini telah diterapkan secara luas di berbagai negara maju. Dalam metode ini, analisis struktur perkerasan didasarkan pada prinsip-prinsip mekanik yang hasilnya digunakan untuk memprediksi kinerja struktur berdasarkan pengalaman empiris. Metode

Bina Marga 2017 memerlukan data parameter material dan beban lalu lintas yang akurat.

3.5.1 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan baru dinyatakan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Umur Rencana Perkerasan

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Pondasi 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 pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk pondasi jalan)	Minimum 10

(Sumber: Bina Marga, 2017)

3.5.2 Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dinyatakan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-Rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,8	4,83	5,14	4,75
Kolektor Rural	3,5	3,5	3,5	3,5
Jalan Desa	1,00	1	1	1

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) dengan Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$R = \frac{(1+0{,}01\ i)^{UR}-1}{0{,}01\ i} \tag{3.13}$$

Dengan,

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

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

UR = umur rencana (tahun).

3.5.3 Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu jalur lalu lintas yang dirancang khusus untuk menampung volume lalu lintas kendaraan niaga, terutama truk dan bus, yang paling besar di suatu ruas jalan. Berikut adalah elemen utama beban lalu lintas dalam desain.

1. Beban gandar kendaraan komersial.
2. Volume lalu lintas yang dinyatakan dalam beban sumbu standar.

Dalam melakukan analisis lalu lintas, untuk menentukan volume lalu lintas pada jam sibuk dan Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) digunakan acuan dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Ketentuan faktor distribusi lajur dinyatakan pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Lajur Desain (% terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80

3	60
4	50

(Sumber: Bina Marga, 2017)

3.5.4 Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Faktor ekivalen beban adalah pembagi untuk mengubah jumlah kendaraan komersial dengan beban sumbu yang berbeda-beda dan konfigurasi sumbu menjadi pengulangan beban sumbu yang standar. VDF mempertimbangkan dampak struktural kendaraan komersial terhadap perkerasan jalan. Kendaraan berat memberikan beban aksial yang lebih tinggi pada permukaan jalan akibat beban sumbu dan konfigurasi sumbunya, yang dapat mempercepat kerusakan perkerasan. Semakin berat kendaraan, terutama jika melebihi beban yang diizinkan (*overload*), nilai VDF akan meningkat secara signifikan. Hal ini mengakibatkan nilai *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) juga akan meningkat. Nilai VDF masing-masing kenis kendaraan niaga terlampir pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 sebagai berikut.

Mengacu pada Bina Marga 2017, periode beban faktual yaitu sampai tahun 2020 menggunakan nilai VDF beban nyata. Namun, untuk periode beban normal digunakan CDF dengan beban sumbu nominal terberat (MST) 12 ton.

3.5.5 Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) adalah kumulatif beban sumbu lalu lintas pada lajur desain selama umur rencana yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 sebagai berikut:

$$ESA_{TH-1} = \left(\Sigma LHR_{JK}\ x\ VDF_{JK}\right)\ x\ 365\ x\ DD\ x\ DL\ x\ R \qquad (3.13)$$

Dengan,

ESA_{TH-1} : kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama,

LHR_{JK} : lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),

VDF_{JK} : faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor)* tiap jenis kendaraan niaga,

DD : faktor distribusi arah,

DL : faktor distribusi lajur,

CESAL : kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana, dan

R : faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.5.6 Pemilihan Tipe Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan bervariasi berdasarkan beberapa faktor seperti volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Pemilihan alternatif desain harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah. Jenis perkerasan ditampilkan pada Tabel 3.7, Tabel 3.8, dan Tabel 3.9.

3.5.7 Segmen Tanah Dasar

CBR (*California Bearing Ratio)* karakteristik adalah satuan yang mengukur besar kemampuan lapisan tanah atau agregat untuk mendukung beban yang diberikan tanpa mengalami kegagalan (*failure)* struktural atau penurunan yang drastis. Terdapat beberapa metode perhitungan CBR (*California Bearing Ratio*) sebagai berikut:

1. Metode Distribusi Normal Standar

   Metode ini digunakan apabila tersedia data valid dengan jumlah yang telah ditentukan (minimum 10 titik data uji per segmen seragam) dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14 sebagai berikut:

$$CBR_{karakteristik} = CBR_{rata\text{-}rata} - f \times \text{deviasi standar} \quad (3.14)$$

   Dengan:

   f = 1,645 (probabilitas 95%) untuk jalan tol atau jalan bebas hambatan,

   f = 1,282 (probabilitas 90%) untuk jalan kolektor atau arteri,

   f = 0,842 (probabilitas 80%) untuk jalan lokal atau jalan kecil,

Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan. Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

Tabel 3. 5 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, 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	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	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	8,0	11,9	6,5	8,8
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. 6 Nilai VDF Masing- Masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekivalen Beban (VDF) (ESA/kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 Pangkat 4	VDF 5 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/Angkot/Pickup	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1	1
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,6	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,5	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu - ringan	1.22	muatan umum	2	3,9	5,6	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu - sedang	11.2	tanah, pasir, besi, semen	2			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu - berat	1.222		2	0,1	0,1	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,7	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		3	0,3	0,5	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		3	0,7	1	19	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		3			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		3	0,3	0,5	41,6	93,7

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 3. 7 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 perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	1,2	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis pondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapisan Pondasi *Soil Cement*	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 3. 8 Penyesuaian Tebal Lapis Pondasi Agregat A untuk Tanah Dasar CBR ≥ 7%

	STRUKTUR PERKERASAN							
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
Solusi yang dipilih				**Lihat Catatan 2**				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	<2	≥2 - 7	>7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2		3				

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 3. 9 Desain Perkerasan Lentur Dengan CTB

	F1	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			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	>10-30	>30-50	>50-100	>100-200	>200-500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	*Cement Treated Base (CTB)*				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC atau *AC Base*	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Pondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

(Sumber: Bina Marga, 2017)

2. Metode Persentil

Metode CBR persentil digunakan untuk mewakili karakteristik daya dukung lapisan tanah atau agregat. Metode persentil menggunakan distribusi data nilai CBR pada segmen seragam yang dianggap terdistribusi secara normal. Metode CBR persentil lebih komprehensif jika dibandingkan dengan melihat nilai CBR rata-rata atau minimum.

Pada Tabel 3.10 dan 3.11 terlampir ketentuan CBR Tanah Dasar terhadap perbaikan perkerasan lentur dan penyesuaian tebal lapis pondasi dengan CBR tanah dasar >7%.

3.5.8 Ketebalan Minimum berdasarkan Bina Marga 2017

Keterbatasan dalam pelaksanaan pemadatan dan segregasi mempengaruhi ketebalan struktur perkerasan. Jika desain menunjukkan bahwa suatu bahan perlu dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan. Ketebalan minimum berdasarkan Bina Marga 2017 dapat dilihat pada Tabel 3.12 sebagai berikut.

Tabel 3. 10 Ketebalan Minimum Berdasarkan Bina Marga 2017

Bahan	Tebal Minimum (mm)	Tebal yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRS WC	30	30-50	tidak
HRS Base	35	35-50	ya
AC WC	40	40-50	tidak
AC BC	60	60-80	ya
AC Base	75	80-120	ya
LFA Kelas A	120	150-200	ya
LFA Kelas B	150	125-200	ya
LFA Kelas S	120	125-200	ya
CTB atau *LMC*	100	150-200	tidak
Stabilisasi Tanah	100	150-200	tidak
Kerikil Alam	100	100-200	ya

Tabel 3. 11 Desain Fondasi Jalan Minimum

<table>
<tr><td rowspan="4">CBR Tanah dasar (%)</td><td rowspan="4">Kelas Kekuatan Tanah Dasar</td><td rowspan="4">Uraian Struktur Pondasi</td><td colspan="3">Perkerasan Lentur</td><td>Perkerasan kaku</td></tr>
<tr><td colspan="3">Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)</td><td rowspan="3">Stabilisasi Semen</td></tr>
<tr><td><2</td><td>2-4</td><td>>4</td></tr>
<tr><td colspan="3">Tebal minimum perbaikan tanah dasar</td></tr>
<tr><td>≥ 6</td><td>SG6</td><td rowspan="6">Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Devisi 3 - Perkejaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)</td><td colspan="3">Tidak diperlukan perbaikan</td><td rowspan="5">300</td></tr>
<tr><td>5</td><td>SG5</td><td>-</td><td>-</td><td>100</td></tr>
<tr><td>4</td><td>SG4</td><td>100</td><td>150</td><td>200</td></tr>
<tr><td>3</td><td>SG3</td><td>150</td><td>200</td><td>300</td></tr>
<tr><td>2,5</td><td>SG2.5</td><td>175</td><td>250</td><td>350</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)</td><td>400</td><td>500</td><td>600</td><td rowspan="4">Berlaku ketentuan yang sama dengan pondasi jalan perkerasan lentur</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Perkerasan di atas tanah lunak</td><td rowspan="2">SG1</td><td>Lapis penopang</td><td>1000</td><td>1100</td><td>1200</td></tr>
<tr><td>atau lapis penopang dan geogrid</td><td>650</td><td>750</td><td>850</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)</td><td>Lapis penopang berbutir</td><td>1000</td><td>1250</td><td>1500</td></tr>
</table>

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 3. 12 Penyesuaian Tebal Lapis Pondasi Agregat A untuk Tanah Dasar ≥ 7%

	Struktur Perkerasan								
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur reencana (10^6 CESA5)	> 2	> 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
Tebal LFA A (mm) Penyesuaian Terhadap Bagan Desain - 3B									
Subgrade CBR > 6 - 7	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade CBR > 7 - 10	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade CBR > 10 - 15	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade CBR > 15	200	150	150	150	150	150	150	150	150

(Sumber: Bina Marga, 2017)

3.6 Tebal Lapis Tambah (*Overlay)*

Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Pd. T-05-2005-B mendefinisikan bahwa tebal lapis tambah adalah lapisan tambahan perkerasan yang dipasang di atas perkerasan yang sudah ada dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang sudah ada agar dapat menahan beban kendaraan yang direncanakan selama periode masa depan. *Overlay* dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis bahan seperti aspal panas atau beton aspal yang dipilih dengan beberapa faktor pertimbangan tergantung dengan kebutuhan dan anggaran. *Overlay* adalah bagian dari pemeliharaan rutin infrastruktur jalan dan dapat mengurangi biaya jangka panjang dengan menghindari perbaikan yang lebih mahal di masa depan.

3.6.1 Tebal Lapis Tambah berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Manual Desain Perkerasan Jalan Bagian II berisi tentang rehabilitasi dan rekonstruksi perkerasan yang meliputi pelapisan struktural, pelapisan non struktural, daur ulang perkerasan, stabilisasi dengan *foam* bitumen, dan stabilisasi dengan semen. Umur rencana yang digunakan untuk melakukan *overlay* terlampir pada Tabel 3.13 sebagai berikut. Umur rencana akan digunakan sebagai acuan perhitungan VDF dan lain-lain.

Tabel 3. 13 Ketentuan Umur Rencana Perkerasan Lentur

Kriteria Beban Lalu Lintas (juta ESA4)	<0,5	0,5 - <30	≥30
Umur Rencana Perkerasan Lentur	seluruh penanganan: 10 tahun	rekonstruksi - 20 tahun *overlay* struktural - 10 tahun *overlay* non struktural - 10 tahun penanganan sementara - sesuai kebutuhan	

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Nilai CBR tanah dasar eksisting dan ketebalan sisa lapis perkerasan eksisting merupakan masukan yang penting untuk penggunaan bagan desain. Data ini juga diperlukan dalam prosedur desain mekanistik empiris atau prosedur empiris dengan *structural number* (SN). Pemilihan *overlay* perkerasan eksisting dan rekonstruksi berdasarkan kumulatif ESA terlampir pada Tabel 3.14 dan 3.15 berikut.

Tabel 3.14 *Overlay* Perkerasan Struktur berdasarkan Kumulatif ESA5

***Overlay* Perkerasan Eksisting**					
Struktur Perkerasan	**Kumulatif ESA5 20 tahun (juta)**				
	<0,1	**0,1-4**	**4-10**	**>10-30**	**>30**
ACiWC/ BC modifikasi SBS					
AC-WC/ BC modifikasi yang disetujui					
AC-WC/ BC normal					

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 3.15 Rekonstruksi berdasarkan Kumulatif ESA4

Rekonstruksi					
Struktur Perkerasan	**Kumulatif ESA4 20 tahun (juta)**				
	<0,1	**0,1-4**	**4-10**	**>10-30**	**>30**
Perkerasan beton di atas tanah normal					
CTRB + AC modifikasi					
CTRB + AC modifikasi					
HRS + lapis pondasi agregat kelas A					
Perkerasan tanpa penutup					

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Opsi utama
Opsi alternatif

Overlay sering kali dilakukan dengan tujuan memperbaiki fungsi jalan, seperti meratakan permukaan, meningkatkan kenyamanan, dan melakukan perbaikan lain yang sifatnya non struktural. Permukaan yang tidak rata memerlukan lapis aspal yang lebih tebal untuk mencapai level kerataan yang dikehendaki. Pendekatan yang dapat digunakan menggunakan data lendutan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) atau *Benkelman Beam* (BB) adalah sebagai berikut:

1. Deformasi permanen dengan *input* lendutan maksimum (D_0)
2. Retak lelah dengan *input* lengkung lendutan (D_0-D_{200})

Desain yang menggunakan *input* lendutan maksimum (D_0) sebagai acuan tidak dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi retak lelah pada lapis tambahan. Untuk mengevaluasi retak lelah, digunakan ketentuan tambahan yang melibatkan lengkung lendutan (D_0-D_{200}). Terdapat tiga prosedur yang digunakan untuk mendesain *overlay*:

1. Lalu lintas lebih kecil atau sama dengan 100.000 ESA4

   Desain jalan dengan beban lalu lintas rencana lebih kecil dari 100.000 ESA4 dan perkerasan HRS kinerja *fatigue overlay* tidak diperlukan. Desain tebal *overlay* hanya menggunakan pendekatan lendutan maksimum (D_0).

2. Lalu lintas lebih besar dari 100.000 ESA4

   Pada jalan yang menahan beban lalu lintas dengan angka lebih dari 100.000 ESA4, terdapat kemungkinan terjadinya retak lelah pada lapisan aspal. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan kriteria penting yaitu deformasi permanen (pendekatan lendutan maksimum $D_{0)}$ dan retak lelah (pendekatan lengkung lendutan $D_0 - D_{200}$).

3. Lalu lintas lebih besar dari $10x10^6$ atau $20x10^6$ ESA5

   Untuk perkerjaan rehabilitasi dengan beban lalu lintas lebih besar dari $10x10^6$ ESA4 atau lebih besar dari $20x10^6$ ESA5, digunakan prosedur mekanistik empiris atau metode Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993. Dalam prosedur mekanistik empiris, data mengenai lendutan permukaan dan ketebalan perkerasan eksisting digunakan untuk perhitungan-balik (*back calculation*) nilai modulus lapisan perkerasan. Kemudian, nilai modulus ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan solusi desain rekonstruksi atay *overlay* melalui program analisis perkerasan *multi-layer.*

Lapisan *overlay* memiliki tebal minimum yang harus dicapai. Level ketidakrataan pada jalan diukur menggunakan IRI (*International Roughness Index*) atau Indeks Ketidakrataan Internasional. IRI mengukur ketidakrataan jalan dengan cara menghitung perubahan vertikal dalam permukaan jalan sepanjang suatu jarak tertentu. Semakin tinggi angka IRI, semakin kasar permukaan jalan tersebut. Apabila *overlay* hanya didesain untuk fungsi non-struktural tersebut, ketentuan *overlay* dilampirkan dengan Tabel 3.16 berikut:

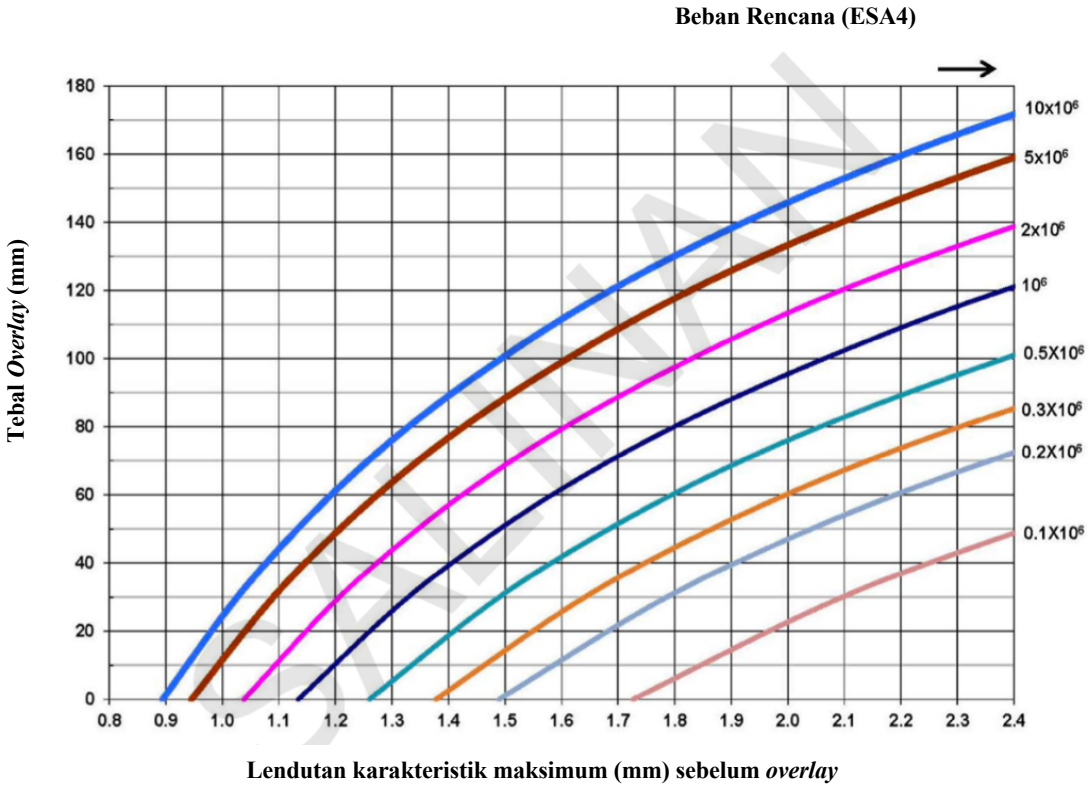
Tabel 3.16 Tebal *Overlay* untuk Menurunkan IRI (non-struktural)

IRI rata-rata perkerasan eksisting	Tebal *overlay* minimum non-struktural untuk mencapai IRI = 3 setelah *overlay* (mm)
4	40
5	45
6	50
7	55
8	60

(Sumber: Bina Marga, 2017)

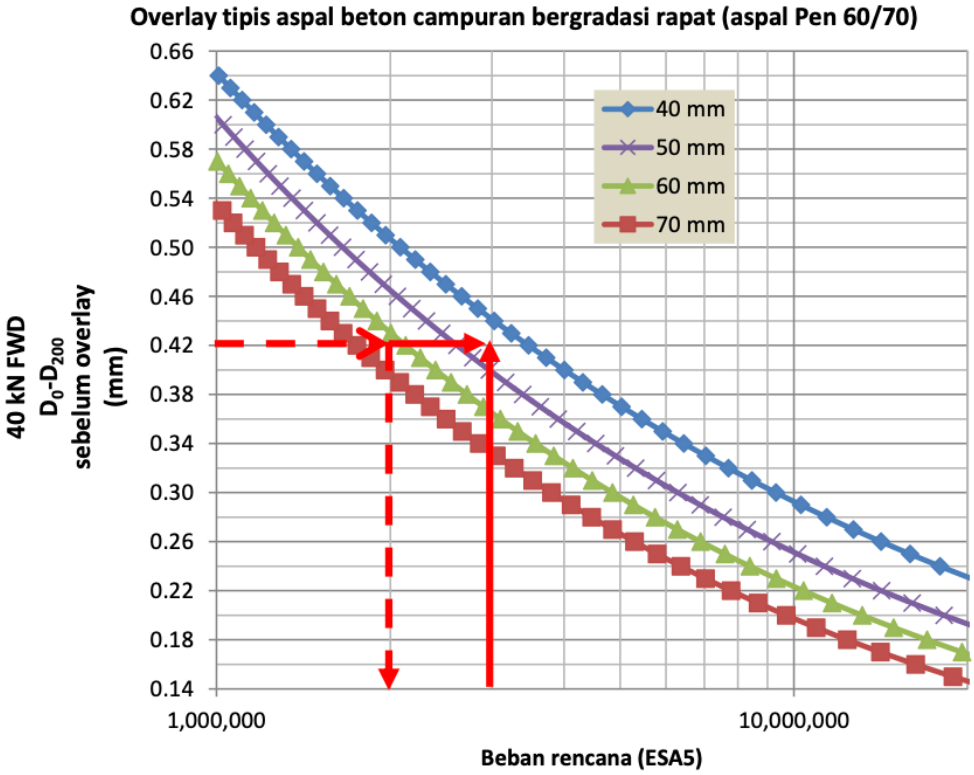
3.6.2 Tebal *Overlay* berdasarkan Lendutan Maksimum

Lalu lintas yang memiliki beban >100.000 ESA4 menggunakan Gambar 3.15, 3.16, dan 3.17 untuk mengevaluasi retak lelah. Untuk menentukan tebal *overlay* dengan menggunakan lendutan balik maksimum dapat dilihat pada Gambar 3.15.

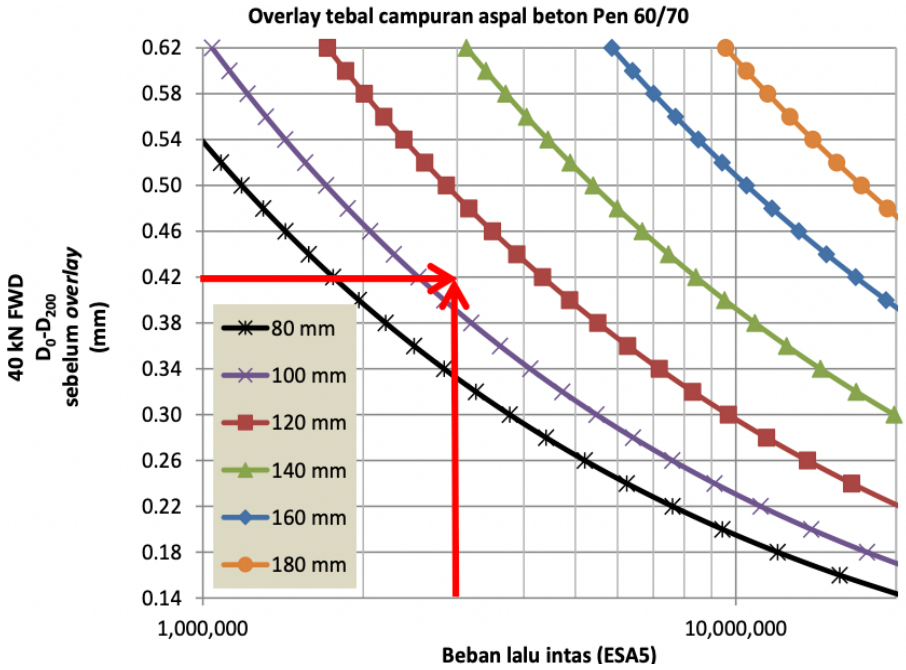


Gambar 3. 9 Solusi *Overlay* berdasarkan Lendutan Balik Benkelman Beam untuk 41°C

(Sumber: Bina Marga, 2017)



Gambar 3. 10 Tebal *Overlay* Tipis berdasarkan Lengkung Lendutan



Gambar 3. 11 Tebal *Overlay* Tebal berdasarkan Lengkung Lendutan

3.7 Desain Tebal Perkerasan Lentur untuk Pelebaran dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Pelebaran jalan, yang mencakup pelebaran lajur, penambahan lajur, dan proyek-proyek tipe operasional, tidak memerlukan perhitungan desain ketebalan. Pada proyek pelebaran jalan diharuskan menentukan komponen apa yang ada dalam struktur perkerasan yang sudah ada, termasuk lapisan penutup yang direncanakan. Bagian yang diperlebar akan dirancang dan dibangun agar sesuai dengan perkerasan eksisting beserta lapisan tambahan (*overlay*). Total nilai struktural dari bagian yang diperlebar harus sama atau melebihi total nilai struktural jalan utama. Dalam mendesain perkerasan harus menghindari alur perkerasan yang mengakibatkan sambungan memanjang yang melebar di jalur roda. Sambungan di jalur roda selalu menyebabkan tingkat kerusakan sambungan yang lebih tinggi. Pada perhitungan desain tebal perkerasan lentur yang diperuntukkan untuk pelebaran menggunakan metode MDPJ 2017 memiliki cara yang relatif sama dengan perhitungan tebal perkerasan lentur metode MDPJ 2017 untuk jalan baru. Namun, terdapat beberapa penyesuaian yaitu jika tebal perkerasan eksisting dan desain tebal perkerasan untuk pelebaran memiliki selisih yang cukup besar, dibutuhkan nilai *structural number* (SN) dari kedua tebal perkerasan untuk menyetarakan tebal lapisannya. Rumus *structural number* (SN) dapat dilihat pada persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$SN = a_1.D_1.m_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3 \quad (3.15)$$

dengan:

SN = nilai structural number (SN),

a1, a2, a3` = koefisien relatif masing-masing lapisan,

D1, D2, D3` = tebal masing-masing lapisan perkerasan, dan

m1, m2, m3` = koefisien drainase masing-masing lapisan.

Nilai koefisien kekuatan relatif bahan jalan dilampirkan pasa Tabel 3.17 sebagai berikut.

Tabel 3. 17 Koefisien Kekuatan Relatif Bahan Jalan (a)

Jenis Bahan	Kekuatan Bahan						Koefisien Kekuatan Relatif		
	Modulus Elastis		Sabilitas Marshall (kg)	Kuat Tekan Bebas	ITS (kPa)	CBR(%)	a1	a2	a3
	Mpa	x 1000 psi							
1. Lapis Permukaan									
Laston Modifikasi									
-Lapis Aus Modifikasi	3200	460	1000				0,414		
-Lapis Antara Modifikasi	3500	508	1000				0,360		
Laston									
-Lapis Aus	3000	435	800				0,400		
-Lapis Antara	3200	646	800				0,344		
Lataston									
-Lapis Aus	2300	340	800				0,350		
2. Lapis Fondasi									
Lapis Fondasi Laston Modifikasi	3700	536	2250					0,305	
Lapis Fondasi Laston	3300	480	1800					0,290	
Lapis Fondasi Lataston	2400	350	800						
Lapis Fondasi LAPEN								0,190	
CMRFB (*Cold Mix Recycling Foam Bitumen)*					300			0,270	
Beton Padat Giling (BPG/RCC)	5900	850		70				0,230	
CTB	5350	776		45				0,210	
CTRB (*Cement Treated Recycling Base)*	4450	645		35				0,170	
CTSB (*Cement Treated Subbase)*	4450	645		35				0,170	
CTRSB (*Cement Treated Recycling Subbase)*	4270	619		30				0,160	
Tanah Semen	4000	580		24				0,145	
Tanah Kapur	3900	566		20				0,140	
Agregat Kelas A	200	29				90		0,135	
3. Lapis Fondasi Bawah									
Agregat Kelas B	125	18				60			0,125
Agregat Kelas C	103	15				35			0,112
Konstruksi Telford									
-Pemadatan Mekanis						52			0,104
-Pemadatan Manual						32			0,074
Material Pilihan (*Selected Material)*	84	12				10			0,080

(Sumber: PdT-01-2002-B)

3.8 Evaluasi Desain Perkerasan Lentur menggunakan Program *KENPAVE*

Menurut Prasetyanto dan Widodo (2019), *KENPAVE* adalah sebuah perangkat lunak komputer yang digunakan untuk menganalisis respons tegangan dan regangan

pada perkerasan jalan menggunakan model elastik dan viskoelastik. Data yang digunakan sebagai input meliputi modulus elastisitas, rasio poisson, kondisi beban, dan ketebalan perkerasan. Program *KENPAVE* ini dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, *Department of Civil Engineering University of Kentucky* (Huang, 2004). Sebelum *Kenpave* dibuat terdapat empat program, grafis terpisah yaitu *LAYERNINP* dan *KENLAYER* untuk analisis perkerasan lentur*,* serta *Slabsinp,* dan *Kenslabs* untuk perkerasan kaku.

3.8.1 Program *KENPAVE*

KENPAVE memiliki beberapa menu yang digunakan dalam mendesain dan menganalisis perkerasan. Pada tampilan awal, enam menu utama yaitu tiga menu di sebelah kiri digunakan untuk analisis perkerasan lentur, tiga menu di sebelah kanan digunakan untuk analisis perkerasan kaku, dan lima menu di bagian bawah yang digunakan untuk tujuan umum. Tampilan awal *KENPAVE* ditunjukkan pada Gambar 3.18.

Menu yang disediakan oleh *Kenpave* memiliki fungsi sebagai berikut:

1. *Data Path*

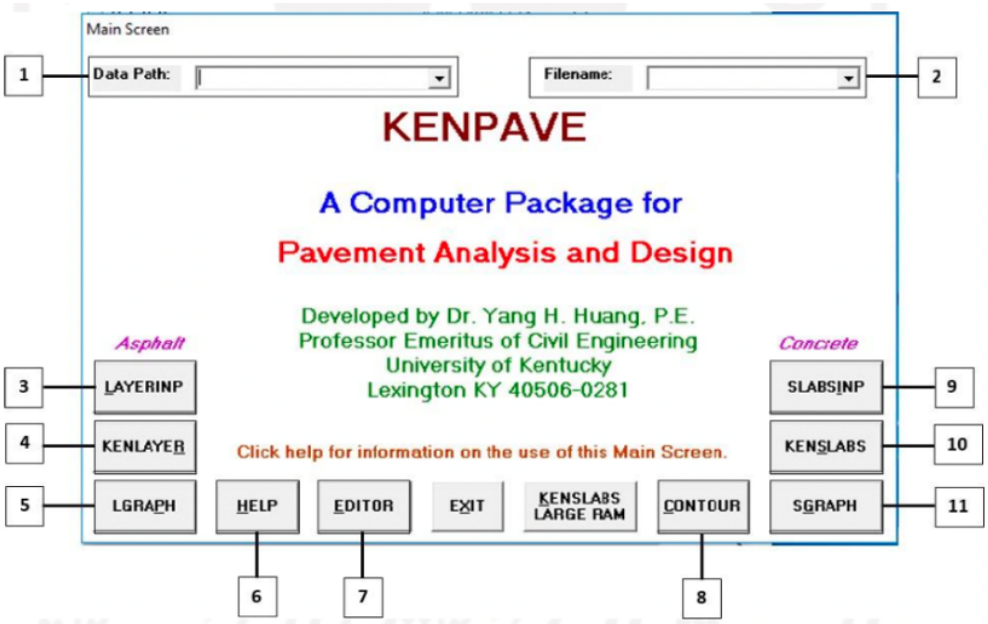
   Data Path merupakan *tools* untuk menentukan tempat penyimpanan data. Pada saat proses instalasi program *KENPAVE,* lokasi *Data Path* akan diisi secara otomatis dengan nama C:/KENPAVE.

2. *Layerinp*

   Layerinp digunakan untuk membuat *file data* sebelum *KENLAYER* menganalisis perkerasan lentur.

3. *Kenlayer*

   Kenlayer adalah perangkat lunak utama yang digunakan untuk menganalisis perkerasan lentur, namun hanya dapat digunakan setelah *file data* terisi dengan benar.



Gambar 3. 12 Tampilan Awal KENPAVE

*(*Sumber*:* Aplikasi *KENPAVE, 2023*)

4. *Lgraph*

   Lgraph akan menampilkan grafik rencana dan penampang perkerasan lentur beserta berbagai informasi mengenai *input* dan *output.*

5. *Help*

   Help berfungsi sebagai panduan yang menjelaskan parameter *input* dan penggunaan yang tepat dari *KENPAVE*. Informasi tersebut biasanya disajikan dalam bentuk teks pada *textbox* yang terletak pada layer yang sama. Beberapa menu juga menyediakan menu bantuan yang terpisah.

6. *Editor*

   Editor digunakan unruk mengedit, memeriksa, dan mencetak *data file*. Saat menggunakan *Layerinp* dan *Slabinp*, sangat disarankan untuk menggunakan menu *Editor*. Setelah selesai melakukan analisis, klik menu *Exit* untuk menutup *KENPAVE*.

7. *Contour*

Contour berfungsi untuk membuat plot kontur tekanan atau momen dalam arah x atau y. Plot kontur ini biasanya digunakan dalam analisis perkerasan kaku.

8. *Sgraph*

Sgraph digunakan untuk menampilkan grafik dan penampang perkerasan kaku beserta informasi mengenai *input* dan *output*.

9. *Kenslabs*

Kenlabs adalah program utama yang digunakan untuk menganalisis perkerasan kaku dan hanya dapat digunakan setelah *file data* terisi. Program ini akan membaca *file data* yang telah diisi sebelumnya.

10. *Slabsinp*

Slabsinp digunakan untuk membuat *data file* sebelum *Kenlabs* dapat dijalankan untuk menganalisis perkerasan kaku.

11. *File Name*

Pada *Filename* akan ditampilkan *file* baru yang dibuat untuk analisis menggunakan *Layerinp* dan *Slabinp*. Nama *file* akan muncul secara otomatis, sehingga tidak perlu mengisi nama *file.* Semua *file* akan memiliki ekstensi DAT. Nama *file* yang akan ditampilkan dalam kotak akan digunakan dalam *file* lain yang dihasilkan dalam analisis perkerasan menggunakan *Kenlayer* dan *Kenslabs.*

3.8.2 Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan

a. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas, yang juga dikenal sebagai Modulus Young, ditemukan oleh Young pada tahun 1807. Modulus elastisitas ini digunakan untuk menggambarkan hubungan konstan antara tegangan dan regangan pada material. Modulus elastisitas pada lapis perkerasan jalan mengacu pada sifat kekakuan bahan yang digunakan dalam konstruksi lapisan perkerasan. Suatu material dapat dikatakan elastis jika dapat kembali ke bentuk dan ukuran aslinya setelah diberi beban atau tegangan. Rumus Modulus Elastisitas menggunakan Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3.14)$$

Dengan:

E = modulus elastisitas (Psi atau kPa),

σ = tegangan (kPa), dan

ε = regangan

Nilai modulus elastisitas pada berbagai jenis bahan perkerasan dilampirkan pada Tabel 3.13.

Tabel 3. 18 Nilai Modulus Elastisitas berdasarkan Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
Cement-treated granular base	1x10^6 - 2x10^6	7x10^6 - 14x10^6
Cement aggregate mixture	5x10^5 - 1x10^6	35x10^5 - 7x10^6
Asphalt treated base	7x10^4 - 45x10^4	49x10^5 - 3x10^6
Asphalt conrete	2x10^4 - 2x10^6	14x10^4 - 14x10^6
Bituminous stabilizied mixture	4x10^4 - 3x10^5	28x10^4 - 21x10^5
Lime stabilizied	2x10^4 - 7x10^4	14x10^4 - 49x10^4
Unbound granular materials	15x10^3 - 45x10^3	105x10^3 - 31x10^3
Fine grained or natural subgrade materials	3x10^3 - 4x10^4	21x10^3 - 28x10^4

(Sumber: Huang, 2004)

b. *Poisson's Ratio*

Poisson's Ratio didefinisikan sebagai perbandingan antara regangan lateral (regangan horizontal) dan regangan aksial (regangan vertikal) yang terjadi akibat beban sejajar sumbu (Yoderand Witczak, 1975). Material yang lebih kaku umumnya memiliki nilai *Poisson's Ratio* yang lebih rendah, sedangkan

material yang lebih lentur cenderung memiliki nilai *Poisson's Ratio* yang lebih tinggi. Nilai *Poisson's Ratio* dinyatakan pada Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3. 19 Nilai Poisson's Ratio

Material	Nilai v	V tipikal
Hot Mix Asphalt (Campuran Aspal Panas)	0,30 - 0,40	0,35
Portland Cement Concrete (Semen Beton)	0,15 - 0,20	0,15
Untreated granular material (Agregat Kasar)	0,30 - 0,40	0,35
Cement Treated Granular Material (Campuran Semen dengan Agregat)	0,10 - 0,20	0,15
Cement Treated Fine Grained Material (Campuran Semen dengan Agregat Halus)	0,15 - 0,35	0,25
Lime Stabilized Material (Bahan Kapur Stabil)	0,10 - 0,25	0,20
Lime Fly Ash Mixture (Campuran Kapur dengan Abu Terbang)\	0,10 - 0,15	0,15
Loose Sand / Silty Sand (Pasir Berpori/Pasir Berlumpur)	0,20 - 0,40	0,30
Dense Sand (Pasir Padat)	0,30 - 0,45	0,35
Fine Grained Soil (Tanah Berbutir Halus)	0,30 - 0,50	0,40
Saturated Soft Clay (Tanah Liat Jenuh)	0,40 - 0,40	0,45

(Sumber: Huang, 2004)

c. *Creep Compliance*

Lapisan viskoelastik dikarakterkan menggunakan *creep compliances. Creep compliance* adalah regangan geser dibagi dengan tegangan geser sebagai ukuran deformasi lentur kontinu seketika dari suatu material di bawah pembebanan tegangan statis dari waktu ke waktu. *Creep compliance* digunakan sebagai pembeda *KENLAYER* antara pemodelan elastik dan viskoelastik. Durasi waktu yang digunakan pada kasus ini berjumlah 11 yaitu

0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 detik. Persamaan untuk menghitung *creep compliance* dapat menggunakan Persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$D\ (t) = \frac{1}{E}(1 - e^{-0{,}833t}) \quad (3.15)$$

dengan:

D (t) = *creep compliance*
t = durasi waktu
E = modulus elastisitas
E = konstanta e

d. Ketebalan Tiap Lapisan

Dalam sistem teori elastis lapis banyak, ketebalan setiap lapisan perkerasan merupakan input penting dalam pemecahan masalah dengan menggunakan program. Satuan yang digunakan untuk mengukur ketebalan setiap lapis adalah milimeter (mm) atau inci (*inch*).

e. Kondisi Beban

Kondisi beban yang dimaksud adalah informasi-informasi mengenai beban roda, seperti tekanan beban (q) dan jarak antara roda ganda pada sumbu belakang (d).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang di dalamnya menggunakan banyak angka (Ibrahim, 2001). Penelitian yang menggunakan pendekatan kuantitatif memiliki fokus pada aspek-aspek khusus yang dapat dinyatakan dengan bentuk variabel. Pendekatan kuantitatif ini berdasarkan pada hipotesis, kemudian mengidentifikasi variabel-variabel yang terlibat, kemudian dianalisis dengan menggunakan metode penelitian yang valid. Adapun jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang didapatkan dari laporan yang disusun melalui instansi terkait, tidak secara langsung diperoleh oleh peneliti.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas STA. 4+600 Sumatera Barat. Berikut merupakan lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

4.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jambi selaku pengawas proyek pembangunan Jalan Strategis Nasional Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Data lapis pondasi tanah dasar (CBR)
2. Data desain perkerasan eksisting
3. Data volume lalu lintas harian (LHR)
4. Data lendutan ruas jalan
5. Data *structural number* (SN)

4.4 Peralatan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan beberapa *software* yang digunakan untuk mempermudah proses pengolahan dan analisis data yang didapatkan oleh peneliti. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Program *KENLAYER*
2. Program *AUTOCAD*

4.5 Analisis Data

Metode yang digunakan untuk menganalisis data yang telah didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode Desain Perkerasan Lentur melalui Pendekatan Mekanistik-Empiris berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan No. 04/SE/Db/2017
2. Metode Bina Marga 2017

4.6 Tahapan Analisis Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Tahapan identifikasi masalah yang dimaksud adalah membandingkan desain eksisting perkerasan lentur pada Ruas Jalan Strategis Nasional Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat STA. 4+600 dengan desain perkerasan lentur yang dihitung dengan metode Bina Marga 2017 dan program *KENPAVE*.

2. Studi Pustaka

   Tahap studi pustaka adalah menyelidiki dan memperoleh pemahaman yang lebih mendalam yang berkaitan dengan isu yang ingin diteliti melalui buku, teori, studi terdahulu yang relevan, dokumen, jurnal, dan berbagai materi lainnya.

3. Pengumpulan Data Sekunder

   Pengumpulan data sekunder seperti data lapis pondasi tanah dasar (CBR), data desain perkerasan, data lendutan perkerasan, dan data volume lalu lintas harian (LHR). Data sekunder dikumpulkan dari Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jambi.

4. Analisis Data

   Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 menggunakan pendekatan mekanistik-empirik berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan No. 04/SE/Db/2017 dan dibantu oleh program *KENPAVE.*

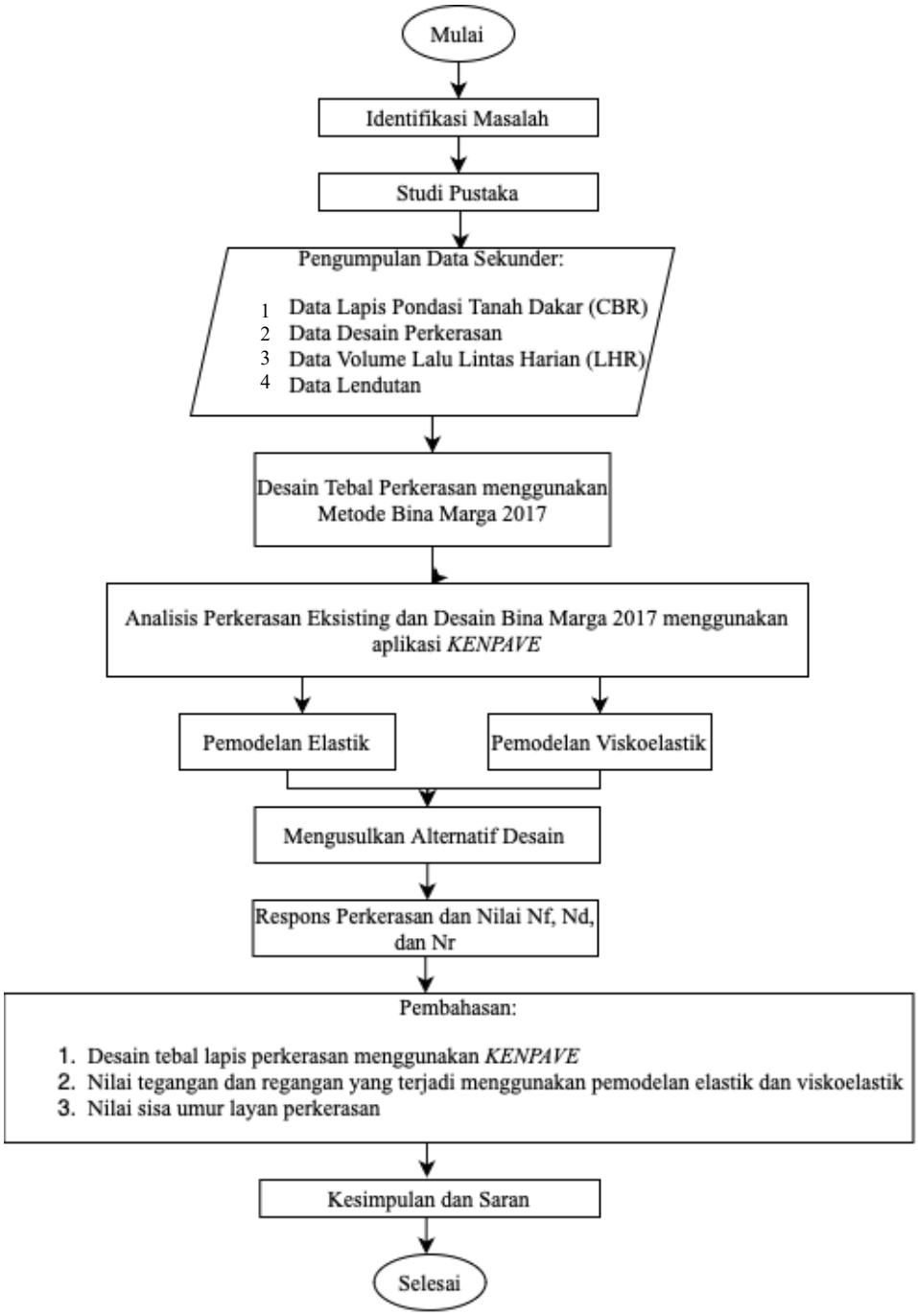
5. Kesimpulan dan Saran

   Setelah semua tahapan di atas, ditarik kesimpulan mengenai perbedaan hasil evaluasi antara desain eksisting dan desain alternatif. Diberikan juga saran yang dan solusi optimal guna meningkatkan kinerja Ruas Jalan Strategis Nasional Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat STA 4+600.

4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan gambaran visual yang menggambarkan urutan langkah-langkah atau tahapan yang akan dilakukan dalam sebuah penelitian. Diagram ini berperan dalam memvisualisasikan pelaksanaan penelitian dari awal

hingga akhir, serta menggambarkan keterkaitan antara setiap dalam proses penelitian tersebut. Bagan alir penelitian ini terlampir pada Gambar 4.2 berikut.



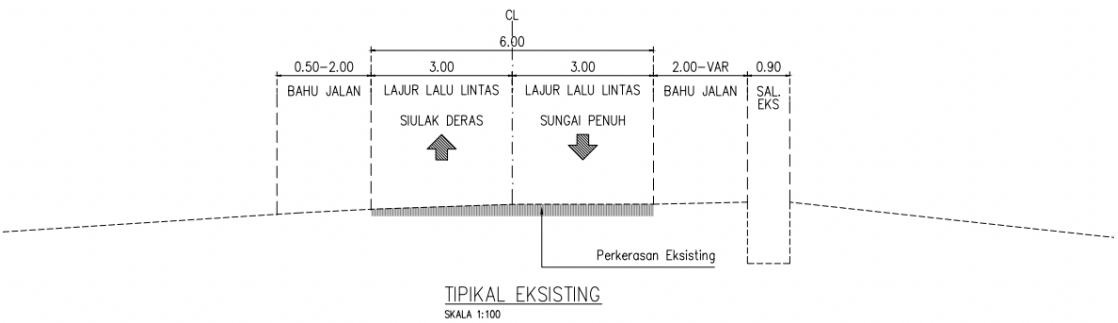
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jambi selaku pengawas proyek pembangunan Jalan Strategis Nasional Siulak Deras– Batas Sumatera Barat. Ruang lingkup penelitian ini berada di pekerjaan perkerasan Ruas Jalan Strategis Nasional Siulak Deras-Batas. Sumatera Barat STA. 4+600. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini antara lain, data CBR, data desain perkerasan, data lendutan perkerasan, dan data volume lalu lintas harian (LHR). Perkerasan eksisting memiliki lebar ruas jalan sepanjang 6 m. Berikut merupakan *layout shop drawing* Ruas Jalan Nasional Siulak Deras – Batas Sumatera Barat.



Gambar 5. 1 *Layout* Perkerasan Ruas Jalan Siulak Deras-Batas Sumatera Barat
(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

5.1.1 Kondisi Ruas Jalan

Kondisi Ruas Jalan Strategis Nasional Siulak Deras – Batas. Sumatera Barat terlampir pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Kondisi Ruas Jalan Siulak Deras-Batas Sumatera Barat

No	Data	Keterangan
1	Jenis Jalan	Kolektor
2	Umur Rencana (UR)	20 Tahun
3	Pertumbuhan Lalu Lintas (i)	3,5%
4	Distribusi Kendaraan	2 Jalur 2 Arah

(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

5.1.2 Data CBR

Data CBR tanah dasar menggambarkan kemampuan tanah dasar (*subbase*) dalam menahan beban. Data CBR tanah dasar ini merupakan informasi penting dalam desain perkerasan jalan yang akan digunakan untuk menentukan struktur perkerasan yang tepat dan merencanakan konstruksi jalan yang tahan lama dan aman. Data CBR tanah dasar merupakan korelasi antara nilai DCP dan CBR yang didapatkan dari PT. Secon Dwitunggal Putra dengan persenan CBR tanah dasar sebesar 6,89%.

5.1.3 Data Volume Lalu Lintas Harian (LHR)

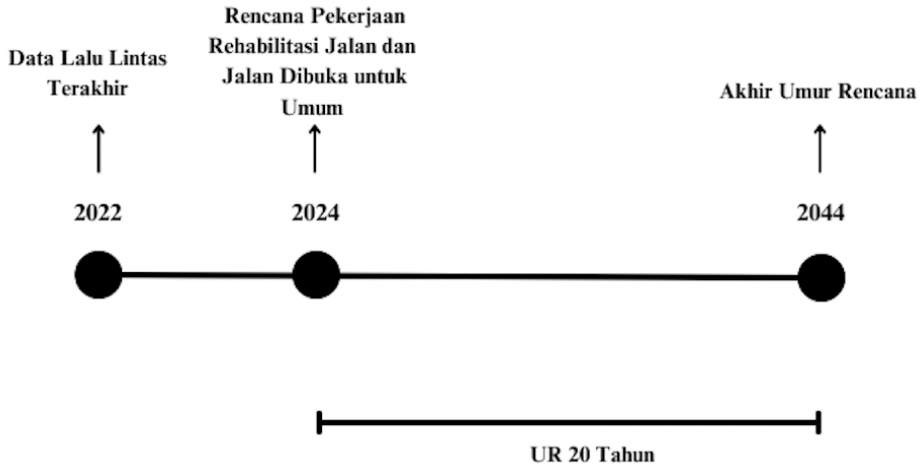
LHR adalah satuan yang digunakan dalam menghitung beban lalu lintas pada suatu ruas julan. Data LHR akan digunakan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang akan terjadi pada perkerasan selama umur rencana. Terdapat 2 jenis data LHR yaitu Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT) dan Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR). LHRT adalah kumulatif lalu lintas selama satu tahun yang dibagi jumlah harinya dalam tahun tersebut. Pada Tabel 5.2 merupakan data LHR Ruas Jalan Siulak Deras – Batas. Sumatera Barat STA. 24+560 dengan LHR kumulatif sebesar 9.986 kendaraan.

Tabel 5. 2 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat

No	Gol	Jenis Kendaraan	EMP	LHR 2022 (kend)	LHR 2022 (smp)
1	1	Sepeda Motor, Sekuter, Sepeda Kumbang dan Roda 3	0,9	6426	5783
2	2	Sedan, Jeep, dan Wagon	1	877	877
3	3	Opelet, Suburban, Combi, dan Minibus	1	1236	1236
4	4	Pick Up dan Micro Truck	1	1088	1088
5	5a	Bus Kecil	1,8	6	11
6	5b	Bus Besar	1,8	2	4
7	6a	Truk Ringan 2 Sumbu 4 Roda	1,8	35	63
8	6b	Truk 2 Sumbu 6 Roda	1,8	303	545
9	7a	Truk 3 Sumbu 8-10 Roda	2,7	8	22
10	7b	Truk Gandeng	2,7	-	-
11	7c	Truk Semi Trailer	2,7	-	-
12	8	Kendaraan Tidak Bermotor	0,9	5	4
Total				**9986**	**9633**

(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

Umur rencana yang akan digunakan adalah 20 tahun sehingga diperlukan proyeksi jumlah volume lalu lintas kendaraan dari awal umur rencana (2024) hingga akhir umur rencana (2044). Ilustrasi umur rencana ruas jalan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5. 2 Ilustrasi Umur Rencana Ruas Jalan

5.1.4 Data Lendutan

Data lendutan digunakan untuk mengukur tingkat lendutan atau defleksi pada permukaan jalan. Lendutan jalan adalah respon permukaan jalan berupa penurunan atau defleksi karena beban lalu lintas, tanah dasar yang tidak stabil, atau kerusakan perkerasan. Metode yang digunakan pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas. Sumatera Barat adalah menggunakan uji pembebanan yang berupa Benkelman Beam *Test.* Data lendutan terlampir pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

5.1.5 Data *Structural Number* (SN)

Structural Number (SN) adalah fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relatif lapisan, dan koefisien drainase. Nilai *structural number* (SN) Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas. Sumatera Barat adalah sebesar 80,76.

5.1.6 Data PIT

Dikarenakan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat merupakan jalan kabupaten yang dinaikkan statusnya menjadi jalan nasional, dibutuhkan *PIT test* untuk mengetahui ketebalan lapisan perkerasan jalan. *Test PIT* dilakukan oleh P2JN Provinsi Jambi. Hasil yang didapatkan terlampir pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 3 Data PIT Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas. Sumatera Barat

STA	Nama Ruas	Lapis (*Layer 1*)		Lapis (*Layer) 2*	
		Jenis	Tebal (cm)	Jenis	Tebal (cm)
4+600	Siulak Deras/Letter W - Bts Sumbar	Aspal	15	Agregat	20

(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

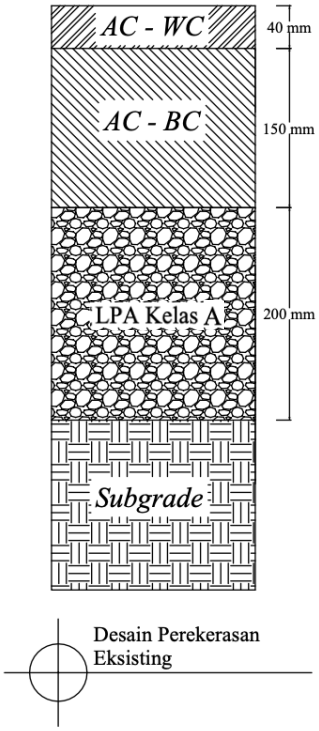
Tabel 5. 4 Data Lendutan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat

Sta	Beban (kN)	D0	D200	Temp Aspal	Tebal Aspal (cm)	D0 Normal	D200 Normal	D0-D200	WAMPT/ Tlap	Faktor Koreksi Temp D0	Faktor Koreksi Temp D0-D200	D0 Terkoreksi Temp	D0-D200 Terkoreksi Temp	D0 Konversi BB
17,3	42,4	402,6	314,8	29,4	20	0,38	0,297	0,83	1,4	1,15	1,36	0,437	0,113	0,563
17,4	42,4	429,8	320,9	29,4	20	0,405	0,303	0,103	1,4	1,15	1,36	0,466	0,14	0,601
17,5	42,4	684	517,2	29,4	20	0,645	0,488	0,157	1,4	1,15	1,36	0,742	0.214	0,957
17,7	42,4	639,4	486,4	29,4	20	0,604	0,459	0,145	1,4	1,15	1,36	0,695	0,197	0,896
											Rata-Rata	0,585	0,166	0,754
											Stddevv	0,156	0,048	0,201
											Fk Keseragaman	26,617	28,676	26,617
											dwakil	0,841	0,24	1,08

(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022

Maka untuk tiap lapis perkerasan eksisting yang tertera pada Gambar 5.3 dituliskan menjadi seperti sebagai berikut.

1. AC-WC *(overlay)* = 4 cm
2. AC-BC = 15 cm
3. LPA Kelas A = 20 cm



Gambar 5. 3 Lapis Perkerasan Eksisting

5.2 Analisis Perkerasan Lentur

5.2.1 Perancangan Tebal Struktur Perkerasan menggunakan Bina Marga 2017

5.2.1.1 Perhitungan Beban Lalu Lintas

Dari data lalu lintas yang dilampirkan pada Tabel 5.1, dihitung nilai CESA dengan menentukan nilai-nilai sebagai berikut.

a. Pertumbuhan Lalu-Lintas I

Pertumbuhan lalu lintas merupakan peningkatan volume atau intensitas lalu lintas di suatu ruas jalan yang biasanya dinyatakan dengan satuan persen per tahun. Faktor pertumbuhan lalu lintas yang didapatkan pada perhitungan yang menggunakan Persamaan 3.12 dengan umur rencana 10 tahun (2024-2034) sebesar 10,016% dan 20 tahun (2024-2044) sebesar 20,067% pada perhitungan sebagai berikut.

$$R1 = \frac{(1 + 0{,}01\ i)^{UR} - 1}{0{,}01\ i}$$

$$R20 = \frac{(1 + 0{,}01\ x\ 3{,}5\%)^{20} - 1}{0{,}01x3{,}5\%}$$

$$R20 = 20{,}067\%$$

$$R10 = \frac{(1 + 0{,}01\ x\ 3{,}5\%)^{10} - 1}{0{,}01x3{,}5\%}$$

$$R10 = 10{,}016\%$$

b. Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Penentuan nilai faktor distribusi lajur dilihat dari Tabel 3.3. Dari tabel tersebut didapatkan nilai D_L sebesar 100%.

c. Faktor Distribusi Arah (D_D)

Faktor distribusi arah yang direkomendasikan oleh Bina Marga 2017 adalah rentang 0,3 sampai dengan 0,7. Sehingga, faktor distribusi arah yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 0,5.

d. VDF (*Vehicle Damage Factor*)

Vehicle Damage Factor adalah nilai yang digunakan untuk mengkonversi nilai beban lalu lintas menjadi beban standar (ESA). Nilai VDF yang digunakan pada perhitungan adalah VDF 4 dan VDF 5. Nilai VDF yang digunakan pada ruas jalan yang akan diteliti terlampir pada Tabel 5.4 Setelah menentukan nilai VDF yang akan digunakan, dilakukan perhitungan beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) dengan umur rencana

10 tahun untuk perhitungan *overlay* dan 20 tahun untuk perhitungan tebal alternatif perkerasan pelebaran. Berikut merupakan contoh perhitungan CESAL yang rekapitulasinya dilampirkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan pada Provinsi Sumatera

Kode	Jenis Kendaraan	Sumatera			
		Beban Aktual		Beban Normal	
		VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	Bus Besar	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	Truk ringan 2 sumbu	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	Truk berat 2 sumbu	4,5	7,4	3,4	4,6
7A1	Truk ringan 3 sumbu	10,1	18,4	5,4	7,4
7A2	Truk berat 3 sumbu	10,5	20,0	4,3	5,6
7B1	Truk 2 sumbu	-	-	-	-
7B2	Trailer penarik 2 sumbu	-	-	-	-
7C1	Truk 4 Sumbu - trailer	15,9	29,5	7,0	9,6
7C2A	Truk 5 sumbu - trailer	19,8	39,0	6,1	8,1
7C2B	Truk 5 sumbu - trailer	20,7	42,8	6,1	8,0
7C3	Truk 6 sumbu	24,5	51,7	6,4	8,0

(Sumber: Bina Marga 2017)

LHR 2024 $= \text{LHR 2022 x } (1+i)^{UR}$

$= 303 \text{ x } (1 + 3{,}5\%)^2$

$= 325$ kend/jam

ESA4 20 Tahun $= \left(\Sigma \text{ LHR}_{JK} x \text{ VDF4}_{JK}\right) x\ 365\ x \text{ DD x DL x R20}$

$= (325 \text{ x } 3{,}4) \text{ x } 365 \text{ x } 0{,}5 \text{ x } 1 \text{ x } 20{,}067$

$= 5765416{,}12$ ESAL

ESA5 20 Tahun $= \left(\Sigma \text{ LHR}_{JK} x \text{ VDF5}_{JK}\right) x\ 365\ x \text{ DD x DL x R20}$

$= (325 \text{ x } 4{,}6) \text{ x } 365 \text{ x } 0{,}5 \text{ x } 1 \text{ x } 20{,}067$

$= 10043071{,}6$ ESAL

ESA4 10 Tahun $= \left(\Sigma \text{ LHR}_{JK} x \text{ VDF4}_{JK}\right) x\ 365\ x$ DD x DL x R10

= (325 x 3,4) x 365 x 0,5 x 1 x 10,016

= 2875503,11 ESAL

ESA5 10 Tahun $= \left(\Sigma \text{ LHR}_{JK} x \text{ VDF5}_{JK}\right) x\ 365\ x$ DD x DL x R10

= (325 x 4,6) x 365 x 0,5 x 1 x 10,016

= 5008985,02 ESAL

Tabel 5. 6 Rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* per Tahun

Tahun	Tahun Ke-	CESA 4	CESA 5
2024	1	286903.915	499772.5
2025	2	573951.283	999794.9
2026	3	861142.174	1500067.4
2027	4	1148476.66	2000589.9
2028	5	1435954.81	2501362.7
2029	6	1723576.71	3002385.9
2030	7	2011342.41	3503659.7
2031	8	2299252	4005184.0
2032	9	2587305.54	4506959.1
2033	10	2875503.11	5008985.1
2034	11	3163844.77	5511262.2
2035	12	3452330.61	6013790.3
2036	13	3740960.69	6516569.7
2037	14	4029735.09	7019600.5
2038	15	4318653.87	7522882.9
2039	16	4607717.11	8026416.8
2040	17	4896924.89	8530202.6
2041	18	5186277.26	9034240.2
2042	19	5475774.32	9538529.8
2043	20	5765416.12	10043071.6

Tabel 5. 7 Perhitungan Nilai CESA4 dan CESA5 10 Tahun

No	Jenis Kendaraan	LHR 2022	LHR 2024	VDF 4 Normal	ESA4 (24-34)	VDF 5 Normal	ESA5 (24-34)
1	Sepeda Motor, Sekuter, Sepeda Kumbang dan Roda 3	6426	6883.69185	0	0	0	0
2	Sedan, Jeep, dan Wagon	877	939.464325	0	0	0	0
3	Opelet, Suburban, Combi, dan Minibus	1236	1324.0341	0	0	0	0
4	Pick Up dan Micro Truck	1088	1165.4928	0	0	0	0
5a	Bus Kecil	6	6.42735	0	0	0	0
5b	Bus Besar	2	2.14245	1	7837.560851	1	3918.780425
6a	Truk Ringan 2 Sumbu 4 Roda	35	37.492875	0.55	37718.2616	0.5	34289.32872
6b	Truk 2 Sumbu 6 Roda	303	324.581175	3.4	2671628.555	4.6	4393344.735
7a	Truk 3 Sumbu 8-10 Roda	8	8.5698	5.4	158318.7292	7.4	288422.2393
7b	Truk Gandeng	0	0	0	0	0	0
7c	Truk Semi Trailer	0	0	7	0	9.6	0
8	Kendaraan Tidak Bermotor	5	5.356125	0	0	8	289010.0564
CESA4 CESA5 10 TAHUN					2875503.107		5008985.14
					2,8x10^6		5x10^6

Tabel 5. 8 Perhitungan Nilai CESA4 dan CESA5 20 Tahun

No	Jenis Kendaraan	LHR 2022	LHR 2024	VDF 4 Normal	ESA4 (24-44)	VDF 5 Normal	ESA5 (24-44)
1	Sepeda Motor, Sekuter, Sepeda Kumbang dan Roda 3	6426	6883.69185	0	0	0	0
2	Sedan, Jeep, dan Wagon	877	939.464325	0	0	0	0
3	Opelet, Suburban, Combi, dan Minibus	1236	1324.0341	0	0	0	0
4	Pick Up dan Micro Truck	1088	1165.4928	0	0	0	0
5a	Bus Kecil	6	6.42735	0	0	0	0
5b	Bus Besar	2	2.14245	1	15714.3978	1	7857.198898
6a	Truk Ringan 2 Sumbu 4 Roda	35	37.492875	0.55	75625.5394	0.5	68750.49036
6b	Truk 2 Sumbu 6 Roda	303	324.581175	3.4	5356645.349	4.6	8808705.685
7a	Truk 3 Sumbu 8-10 Roda	8	8.5698	5.4	317430.8355	7.4	578289.8389
7b	Truk Gandeng	0	0	0	0	0	0
7c	Truk Semi Trailer	0	0	7	0	9.6	0
8	Kendaraan Tidak Bermotor	5	5.356125	0	0	8	579468.4187
CESA4 CESA5 20 TAHUN					5765416.122		10043071.63
					5,7x10^6		10x10^6

5.2.2 Penentuan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Metode Bina Marga 2017

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017, dibutuhkan data lalu lintas untuk menentukan tebal lapis tambah. Pada perhitungan di atas didapatkan CESA4 sebesar $2{,}8 \times 10^6$ ESAL dan CESA5 sebesar 5×10^6 ESAL. Lalu lintas ruas jalan yang diteliti memiliki CESA4 yang lebih besar dari 100.000 ESA4 sehingga terdapat potensi retak lelah lapisan aspal. Maka pendekatan lendutan maksimum (D_0) dan pendekatan lengkung lendutan (D_0-D_{200}) harus diperhitungkan. Sesuai data eksisting yang terlampir pada Tabel 5.9, didapatkan lendutan maksimum rata-rata sebesar 1,080 mm dan lengkung lendutan maksimum rata-rata sebesar 0,240 mm. Tabel 5.10 melampirkan nilai IRI pada ruas jalan yang menjadi objek penelitian. Nilai IRI yang telah didapat sebesar 8.

Tabel 5. 9 Data Lendutan Maksimum dan Pendekatan Lengkung Lendutan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat

Sta	D0-D200 Terkoreksi Temp	D0 Konversi BB
17,3	0,113	0,563
17,4	0,14	0,601
17,5	0.214	0,957
17,7	0,197	0,896
Rata-Rata	0,166	0,754
Stddev	0,048	0,201
Fk Keseragaman	28,676	26,617
dwakil	0,24	1,08

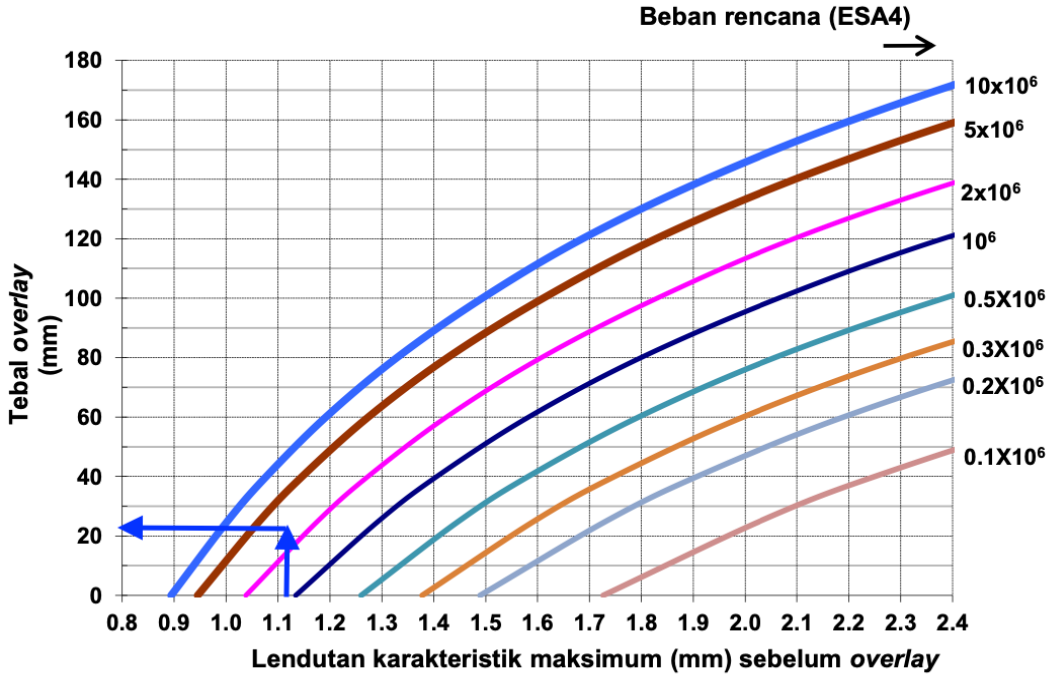
(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

Tabel 5. 10 Data IRI Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat

Segmen		IRI
Sta Awal	Sta Akhir	m/km
17200	17700	8
18100	18300	8
19400	19700	8
21300	21575	8

(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

Berdasarkan pendekatan yang telah ditentukan digunakan Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 untuk mencegah deformasi permanen sebagaimana yang telah tercantum pada MDP 2017.

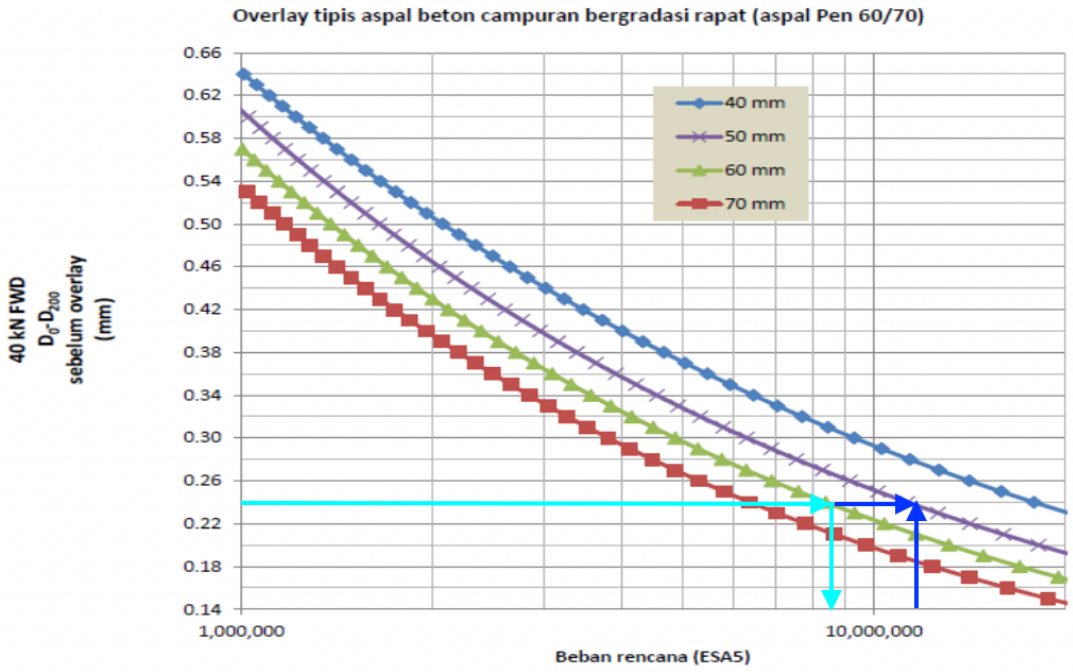


Gambar 5. 4 Grafik Kebutuhan *Overlay* untuk Deformasi Permanen

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Lapis permukaan untuk mencegah deformasi permanen yang telah ditentukan berdasarkan Gambar 5.4 yang digambarkan dengan garis panah biru tua adalah 21 mm. Sedangkan, tebal minimum *overlay* untuk mencegah retak lelah beban lalu lintas $5x10^6$ ESA5 tidak dapat ditentukan pada Gambar 5.4. Dengan o*verlay* minimum untuk

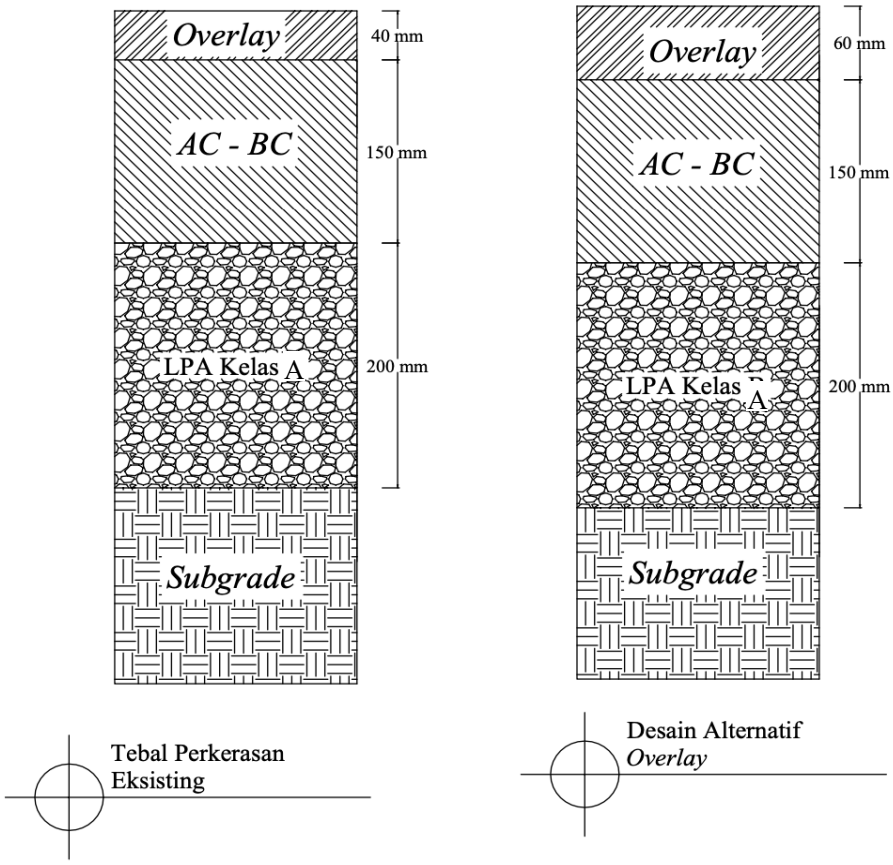
mencegah deformasi permanen dan *overlay* untuk mencegah retak lelah ditentukan oleh garis berwarna biru muda dengan hasil tebal minimum terbesar yaitu 60 mm. Kemudian, didapatkan bahwa beban lalu lintas yang dapat ditahan oleh ketebalan tersebut (60 mm) sebesar 8,9x10^6 ESA5 sehingga dapat disimpulkan bahwa tebal *overlay* tersebut dapat digunakan karena beban lalu lintas yang dapat ditahan lebih dari beban lalu lintas rencana yaitu 5x10^6 ESA5.



Gambar 5. 5 Tebal *Overlay* Aspal Konvesional Untuk Mencegah Retak Akibat Lelah (Tipis)

(Sumber: Bina Marga. 2017)

Perkerasan eksisting dengan tebal *overlay* yang telah dihitung ulang terlampir pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 6 Perkerasan Eksisting dan Desain Tebal *Overlay* Bina Marga 2017

5.2.3 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Pelebaran dengan Bina Marga 2017

Tebal lapis perkerasan pelebaran dihitung melalui perhitungan beban lalu lintas menggunakan nilai CESA dan umur rencana yang kemudian di-*plot* pada tabel yang terlampir di Bina Marga 2017. Dikarenakan nilai CESA4 20 tahun adalah 5.765.416, mengacu pada Tabel 5.11 Pemilihan Jenis Perkerasan Berdasarkan Nilai Pembebanan didapatkan jenis perkerasan AC dengan tebal lebih dari 100 mm dengan lapis pondasi berbutir.

Tabel 5. 11 Pemilihan Jenis Perkerasan berdasarkan Nilai Pembebanan

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

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Tabel 5. 12 Bagan Desain 3 - Penentuan Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan *Cement Treated Based* (CTB)

	F1	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			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	>10-30	>30-50	>50-100	>100-200	>200-500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	*Cement Treated Base (CTB)*				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC atau *AC Base*	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Pondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Tabel 5. 13 Bagan Desain 3B - Penentuan Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir

	STRUKTUR PERKERASAN							
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
Solusi yang dipilih				**Lihat Catatan 2**				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	<2	≥2 - 7	>7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2			3			

(Sumber: Bina Marga, 2017)

Kemudian, dengan nilai CESA5 20 Tahun sebesar 10.043.071 dan umur rencana 20 tahun mengacu pada Tabel 5.13 Penentuan Desain Perkerasan Lentur Aspal dengan Lapis Pondasi Berbutir pada Bina Marga 2017, pemilihan nilai tebal perkerasan dilampirkan pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13.

Sehingga tebal lapis perkerasan lentur dengan lapis pondasi berbutir menjadi:

1. AC-WC = 40 mm
2. AC-BC = 60 mm
3. *AC-Base* = 145 mm
4. LPA Kelas A = 300 mm

Tebal lapis perkerasan lentur dengan *Cement Treated Base* (CTB) sebagai berikut:

1. AC-WC = 40 mm
2. AC-BC = 60 mm
3. CTB = 150 mm
4. LPA Kelas A = 150 mm

Tebal *overlay* dan perkerasan untuk pelebaran yang telah didapatkan melalui perhitungan dengan Metode Bina Marga 2017 selanjutnya akan dievaluasi menggunakan aplikasi *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik.

5.2.4 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Menggunakan *KENPAVE*

Setelah menghitung tebal alternatif perkerasan, digunakan *KENPAVE* untuk mengevaluasi tebal perkerasan struktur yang telah didesain. Dibutuhkan *input* modulus elastisitas dan *poisson's ratio* di masing-masing *layer.* Perkerasan yang akan dievaluasi adalah tebal eksisting, tebal desain *overlay* dan pelebaran Bina Marga 2017, dan dua alternatif desain pelebaran melalui penyesuaian tebal perkerasan dan jenis material.

5.2.4.1 Evaluasi Tebal Perkerasan Eksisting Menggunakan *KENPAVE* dengan Pemodelan Elastik

Pada pemodelan elastik tidak dibutuhkan satuan waktu dalam perhitungannya. Berikut terlampir *input* data yang digunakan untuk menghitung kerusakannya pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Data *Input* Perkerasan pada *KENPAVE*

	Perkerasan		**Dirjen Bina Marga 2017**	
	Jenis Lapisan	**Tebal (cm)**	**Modulus Elastis (kPa)**	***Poisson's Ratio* (p)**
Eksisting	AC WC	4	1100000	0,4
	AC BC	15	1200000	0,4
	LPA Kelas A	20	150000	0,35
	Subgrade		60000	0,45

Berikut merupakan tahapan untuk mengevaluasi perkerasan menggunakan *KENPAVE*.

1. *Layerinp*

   Klik pada *menu Layerinp* untuk memulai *input* data. Kemudian, klik *file* lalu *new*.

2. *General*

   Terdapat beberapa data yang harus di-*input* untuk melakukan analisis menggunakan pendekatan elastik seperti pada Tabel 5.15.

3. *Zcord*

   Sesuaikan total lapisan pada NZ di menu *general* dengan total titik di menu *Zcord*. Berikut pada Gambar 5.7 terdapat ilustrasi letak titik yang akan dianalisis. Titik 1 menggambarkan letak kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting.* Titik 1 diletakkan di bawah lapis perkerasan yang mengandung aspal. Sehingga, pada kasus ini titik 1 digunakan di bawah material AC-*Base.* Titik 2 menggambarkan letak analisis kerusakan deformasi. Detail kedalaman yang akan dimasukkan pada *menu zcord* dapat dilihat pada tabel 5.16.

4. *Moduli*

   Masukkan modulus elastisitas dari masing-masing perkerasan sesuai dengan ketentuan yang terlampir pada Tabel 5.18 di atas. Berikut pada Gambar 5.10 merupakan tampilan menu *Moduli* yang telah diisi oleh data.

5. *Load*

   Data yang dimasukkan pada *load* terlampir pada Tabel 5.18.

6. *Layer*

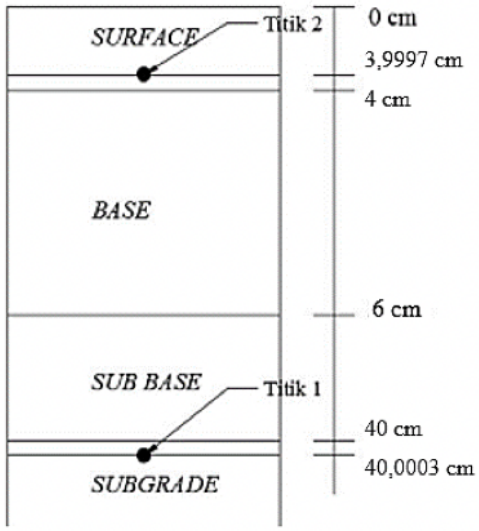
   Masukkan tebal perkerasan dan *poisson's ratio* dari masing-masing perkerasan yang terlampir pada Tabel 5.14. Berikut pada Gambar 5.9 merupakan tampilan menu *Layer* yang telah diisi oleh data.

Tabel 5. 15 *Data Input* Menu *General* Pemodelan Elastik

Istilah	Nilai						Keterangan
Title	Eksisting	BM 2017 *Overlay*	BM 2017 Pelebaran AC *Base*	BM 2017 Pelebaran CTB	Alternatif *AC Base*	Alternatif *CTB*	Nama Kelompok Perkerasan
MATL	1	1	1	1	1	1	Analisis lapis perkerasan linear elastik
NDAMA	0	0	0	0	0	0	Tidak ada analisis kerusakan
NPY	1	1	1	1	1	1	Mengikuti *KENPAVE*
NLG	1	1	1	1	1	1	Mengikuti *KENPAVE*
DEL	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	Standar akurasi
NLG	4	4	5	5	5	5	Jumlah lapis perkerasan
NZ	5	5	5	5	5	5	Jumlah titik tinjau kerusakan
ICL	80	80	80	80	80	80	Mengikuti *KENPAVE*
NSDT	9	9	9	9	9	9	*Vertical displacement,* nilai tegangan, dan nilai regangan
NBOND	1	1	1	1	1	1	Semua lapisan saling mengikat
NLBT	0	0	0	0	0	0	
NLTC	0	0	0	0	0	0	
NUNIT	1	1	1	1	1	1	Satuan yang digunakan adalah SI (Standar Internasional)

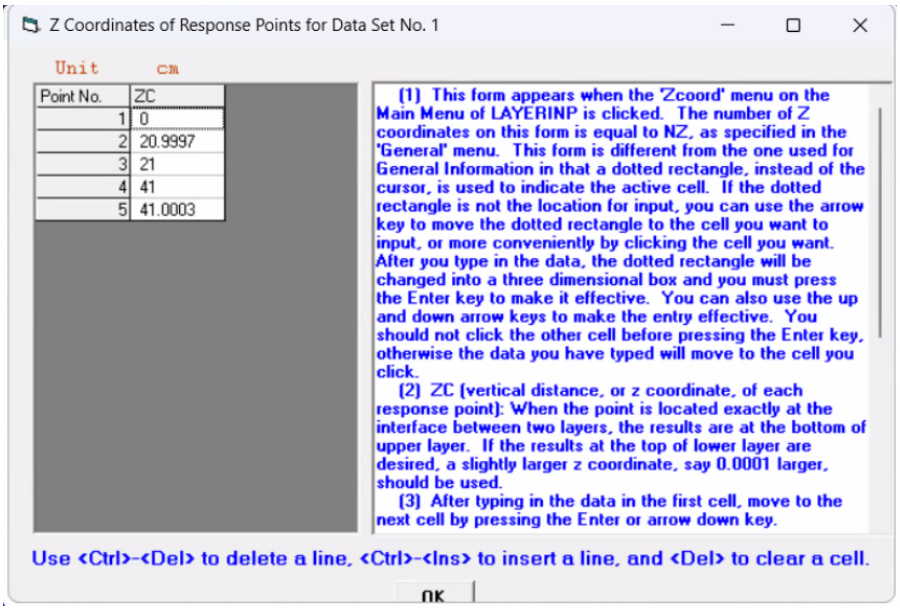
Tabel 5. 16 *Data Input* Menu *Zcord*

No	Kedalaman					
	Eksisting	BM 2017 *Overlay*	Bina Marga 2017 *AC Base*	Alternatif *AC Base*	Bina Marga 2017 *CTB*	Alternatif *CTB*
1	0	0	0	0	0	0
2	18,9997	20,9997	17,4997	40,4997	24,9997	14,9997
3	29	21	17,5	40,5	25	15
4	39	41	29,5	61	40	45
5	39,0003	41,0003	29,5003	61,0003	40,0003	45,0003

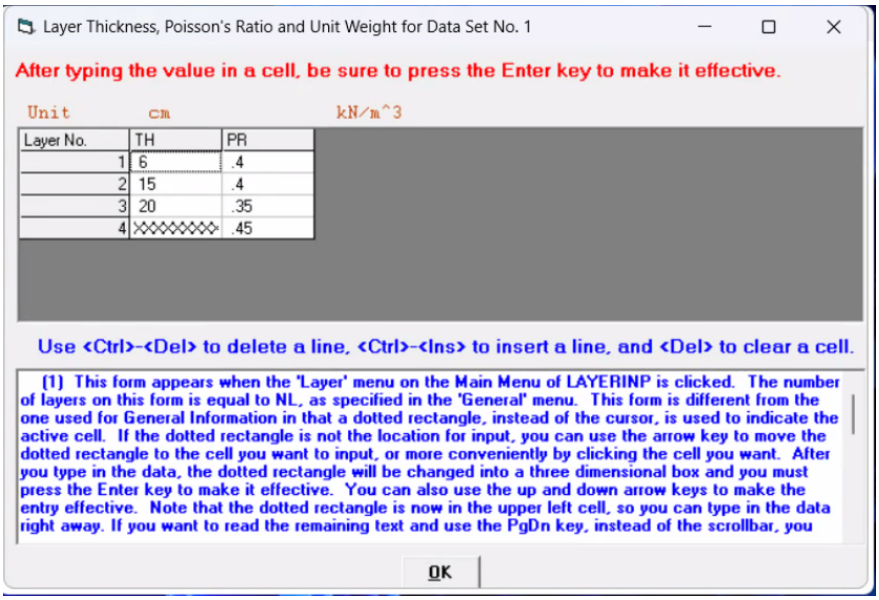


Gambar 5. 7 Titik Tinjau Kerusakan
(Sumber: Arianto, 2023)

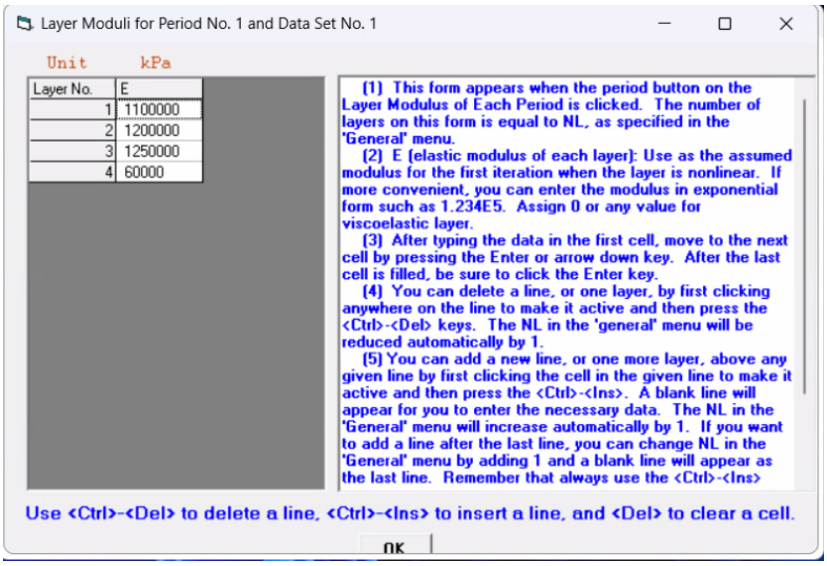
Tampilan menu *Zcord* yang telah diisi oleh data terlampir pada Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Tampilan *KENPAVE* Zcord



Gambar 5. 9 Tampilan *KENPAVE Layer*

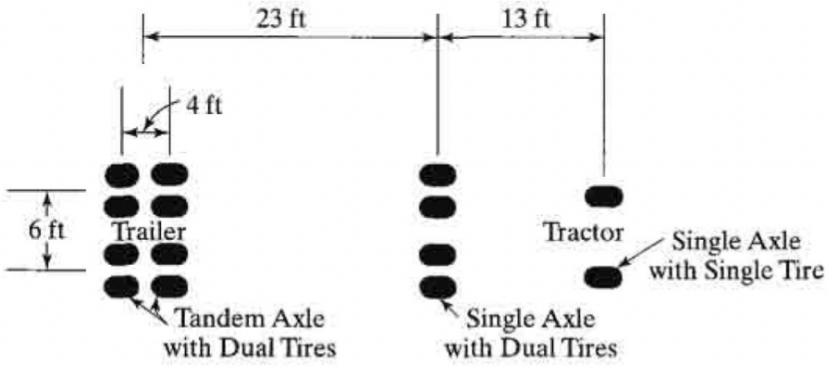


Gambar 5. 10 Tampilan *KENPAVE Moduli*

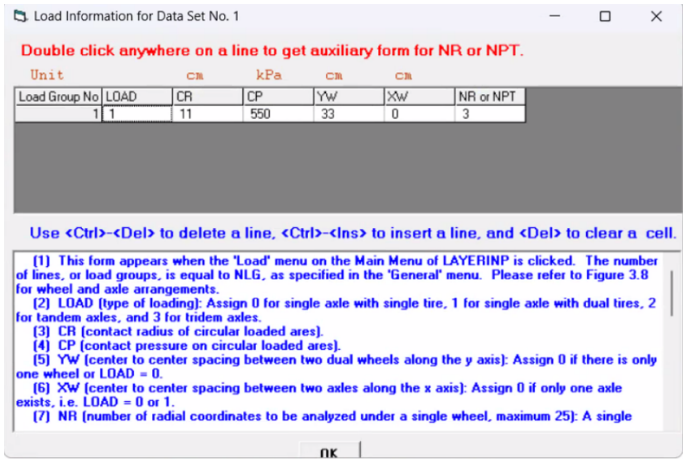
Tabel 5. 17 *Data Input* Menu *Load*

Data No.	1	**Grup**
Load	1	*Single Axle Load*
CR	11	Nilai Jarak Antar Ban (cm)
CP	550	Nilai Tekanan Ban (kPa)
YW	33	*Plan View of Multiple Wheels*
XW	0	*Plan View of Multiple Wheels*
NPT or NR	3	Jumlah Koordinat Tinjauan

Pada Gambar 5.11 merupakan acuan pada data *input* pada menu *Load* di Gambar 5.12.



Gambar 5. 11 Konfigurasi Beban Sumbu
(sumber: Huang, 2004)



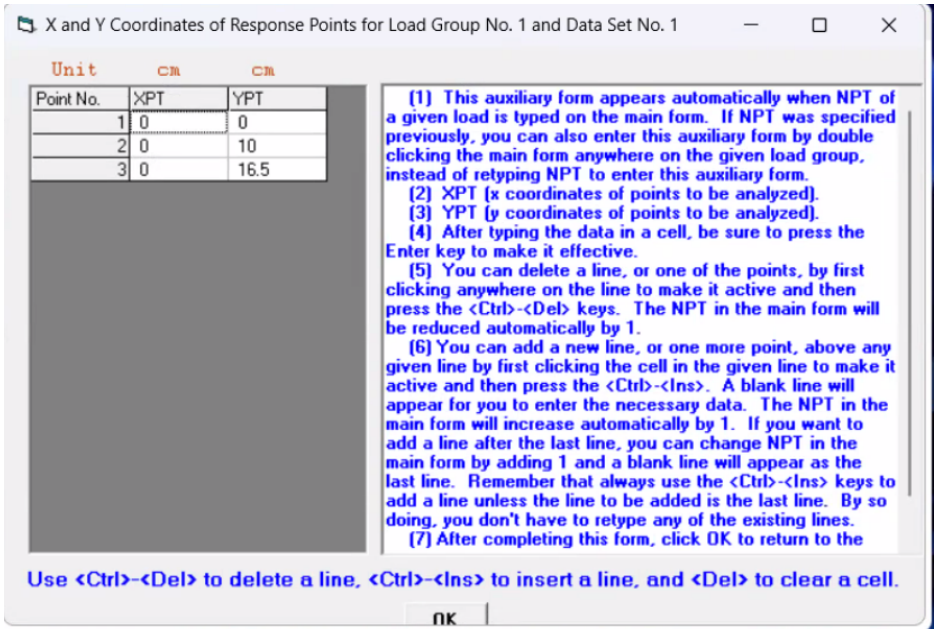
Gambar 5. 12 Tampilan *KENPAVE Load*

Kemudian, pada *menu* NPT tidak boleh kosong yang kemudian dapat diisi dengan nilai koordinat yang terlampir pada Tabel 5.18. sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Titik Koordinat NPT

X	Y
0	0
0	10
0	16,5

Tampilan menu *NPT* yang telah diisi oleh data terlampir pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5. 13 Tampilan *KENPAVE* NPT

Setelah data dimasukkan, klik *save* dan lihat hasil analisis melalui menu *KENLAYER* dengan format *file* '*.textdocument'* atau '*.txt'*. Hasil analisis berupa nilai

tegangan dan regangan yang akan terjadi pada perkerasan. Hasil analisis terlampir pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Regangan Maksimum Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Elastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 18.9997 cm	Kedalaman 18,9997 cm	Kedalaman 39,0003 cm
1	0.0003077	0.0003728	0.0005351
2	0.0003167	0.0003348	0.0005767
3	0.0003138	0.000307	0.0005831
MAX	0.0003167	0.0003728	0.0005831

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* terlampir pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting Pendekatan Elastik

Perkerasan	**Nr**	**Repetisi Beban (ESAL)**		**Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)**	**Keterangan**
Eksisting	10,028E+06	Nf	0,177E+06	no	Tidak Mampu
	10,028E+06	Nd *rutting*	3,052E+06	no	
	10,028E+06	Nd *deformation*	0,412E+06	no	

Berdasarkan Tabel 5.20 detail perhitungan untuk mendapatkan nilai kontrol masing-masing kerusakan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Kontrol kerusakan *fatigue cracking*

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

   Nf $= 0{,}0796\ (0{,}0003167)^{-3{,}921}\ |1200000|^{-0{,}854}$

   Nf $= 177.818{,}2091$ ESAL

2. Kontrol kerusakan *rutting*

Nd = 1,365 x10^{-9} $(\varepsilon)^{-f5}$

Nd = 1,365 x$10^{-9}$$(0{,}0003728)^{-4{,}477}$

Nd = 3.052.354,918 ESAL

3. Kontrol kerusakan *permanent deformation*

Nd = 1,365 x10^{-9} $(\varepsilon)^{-f5}$

Nd = 1,365 x10^{-9}x $(0{,}0005831)^{-4{,}477}$

Nd = 412.003,6418 ESAL

Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan pada tabel di atas yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar 0,177x10^6 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 3,052x10^6 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 0,412x10^6 ESAL. Kerusakan *fatigue cracking* dengan nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi. Kemudian, dilakukan perhitungan nilai sisa (*remaining life*) sebagai berikut.

Remaining Life Fatigue ($RL_{Fatigue}$) $= 100\ x\ (1 - \frac{Np}{N1{,}5})$

$= 100\ x\ (1 - \frac{10.028.755{,}27}{177.818{,}2091})$

= -181,06%

Remaining Life Rutting ($RL_{Rutting}$) $= 100\ x\ (1 - \frac{Np}{N1{,}5})$

$= 100\ x\ (1 - \frac{10.028.755{,}27}{3.052.354{,}918})$

= 83,62%

Remaining Life Deform (RL_{Deform}) $= 100\ x\ (1 - \frac{Np}{N1{,}5})$

$= 100\ x\ (1 - \frac{10.028.755{,}27}{412.003{,}6418})$

= -21,3%

dengan:

Np = nilai lalu lintas per tahun,

N1,5 = nilai repetisi beban.

Rekapitulasi kemampuan masing-masing perkerasan menahan beban yang direncanakan dan nilai umur sisa layan (*remaining life*) dengan pendekatan elastik dapat dilihat pada Tabel 5.21.

5.2.4.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Eksisting menggunakan *KENPAVE* dengan Pemodelan Viskoelastik

Pada pemodelan viskoelastik dibutuhkan satuan waktu dan temperatur dalam perhitungannya.

Tabel 5. 21 Nilai Umur Sisa Layan Perkerasan Eksisting Pendekatan Elastik

Tahun	Np	*RL Fatique*	*Rutting*	*Permanent Deformation*
1	499772.525	*FAIL*	83.6266575	*FAIL*
2	999794.937		67.24512832	
3	1500067.36		50.85540838	
4	2000589.92		34.45749358	
5	2501362.74		18.05137982	
6	3002385.94		1.637063009	
7	3503659.66		*FAIL*	
8	4005184.02			
9	4506959.14			
10	5008985.14			
11	5511262.16			
12	6013790.31			
13	6516569.73			
14	7019600.54			
15	7522882.87			
16	8026416.84			
17	8530202.57			
18	9034240.2			
19	9538529.84			
20	10043071.6			

Berikut terlampir *input* data yang digunakan untuk menghitung kerusakannya pada Tabel 5.22. Berikut merupakan tahapan untuk mengevaluasi perkerasan menggunakan *KENPAVE* dengan pendekatan viskoelastik.

1. *Layerinp*

   Klik pada *menu Layerinp* untuk memulai *input* data. Kemudian, klik *file* lalu *new*.

2. *General*

   Terdapat beberapa nilai yang dapat di-*input* pada menu *general* terlampir pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5. 22 Data Input Perkerasan pada *KENPAVE* untuk Pemodelan Viskoelastik

Istilah	Nilai						Keterangan
Title	Eksisting	BM 2017 *Overlay*	BM 2017 Pelebaran AC *Base*	BM 2017 Pelebaran CTB	Alternatif *AC Base*	Alternatif *CTB*	Nama Kelompok Perkerasan
MATL	3	3	3	3	3	3	Analisis lapis perkerasan linear viskoelastik
NDAMA	0	0	0	0	0	0	Tidak ada analisis kerusakan
NPY	1	1	1	1	1	1	Mengikuti *KENPAVE*
NLG	1	1	1	1	1	1	Mengikuti *KENPAVE*
DEL	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	Standar akurasi
NLG	4	4	5	5	5	5	Jumlah lapis perkerasan
NZ	5	5	5	5	5	5	Jumlah titik tinjau kerusakan
ICL	80	80	80	80	80	80	Mengikuti *KENPAVE*
NSDT	9	9	9	9	9	9	*Vertical displacement,* nilai tegangan, dan nilai regangan
NBOND	1	1	1	1	1	1	Semua lapisan saling mengikat
NLBT	0	0	0	0	0	0	
NLTC	0	0	0	0	0	0	
NUNIT	1	1	1	1	1	1	Satuan yang digunakan adalah SI (Standar Internasional)

3. *Viscoelastic*

Data yang harus di-*input* pada menu *viscoelastic* adalah sebagai berikut.

1. *General*

*Load Duration (*DUR) = 0,1

Number of viscoelastic = 3

Number of time duration for creep compliances = 11

b. *Time*

Time of Duration yang digunakan pada pendekatan viskoelastik terlampir pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5. 23 *Time Of Duration for Creep Compliance*

Sequence	**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

Temperatur = 21°C

d. *Creep Compliance*

Rekapitulasi nilai *creep compliance AC-WC* terlampir pada Tabel 5.24 sebagai berikut. Contoh perhitungan *creep compliance AC-WC* terlampir sebagai berikut.

$D(t) = \frac{1}{E}(1 - e^{-0,833t})$

$D(t) = \frac{1}{1100000}(1 - 2,71828183^{-0,833x0,001})$

$D(t) = 7,57E - 10$

Tabel 5. 24 Nilai *Creep Compliance* AC-WC

Creep Compliance AC-WC		
No	t	D(t)
1	0,001	7,57E-10
2	0,003	2,269E-09
3	0,01	7,541E-09
4	0,03	2,244E-08
5	0,1	7,266E-08
6	0,3	2,010E-07
7	1	5,139E-07
8	3	8,344E-07
9	10	9,089E-07
10	30	9,091E-07
11	100	9,091E-07

Rekapitulasi nilai *creep compliance AC-BC* terlampir pada Tabel 5.25 sebagai berikut. Contoh perhitungan *creep compliance AC-BC* terlampir sebagai berikut.

$D(t) = \frac{1}{E}(1 - e^{-0,833t})$

$D(t) = \frac{1}{1200000}(1 - 2,71828183^{-0,833x0,001})$

$D(t) = 5,204E - 10$

Tabel 5. 25 Nilai *Creep Compliance AC-BC*

Creep Compliance AC-BC		
No	t	D(t)
1	0,001	5,204E-10

Lanjutan Tabel 5. 25 Nilai *Creep Compliance AC-BC*

Creep Compliance AC-BC		
2	0,003	1,560E-09
3	0,01	5,185E-09
4	0,03	1,543E-08
5	0,1	4,995E-08
6	0,3	1,382E-07
7	1	3,533E-07
8	3	5,736E-07
9	10	6,248E-07
10	30	6,248E-07
11	100	6,250E-07

Rekapitulasi nilai *creep compliance AC-Base* terlampir pada Tabel 5.26 sebagai berikut. Contoh perhitungan *creep compliance AC-Base* terlampir sebagai berikut.

$D(t) = \frac{1}{E}(1 - e^{-0,833t})$

$D(t) = \frac{1}{1600000}(1 - 2,718^{-0,833t})$

$D(t) = 6,939E - 10$

Tabel 5. 26 Nilai *Creep Compliance AC-Base*

Creep Compliance AC-Base		
No	t	D(t)

1	0,001	6,939E-10
2	0,003	2,080E-09
3	0,01	6,913E-09
4	0,03	2,057E-08
5	0,1	6,660E-08

Lanjutan Tabel 5.27 Nilai *Creep Compliance AC-Base*

Creep Compliance AC-Base		
6	0,3	1,843E-07
7	1	4,710E-07
8	3	7,649E-07
9	10	8,331E-07
10	30	8,333E-07
11	100	8,333E-07

e. *Temperature*

Nilai *temperature* memiliki nilai yang sama dengan *temperature* di menu *layer* yaitu senilai 21°C.

Setelah *input data* telah dilakukan, lihat hasil analisis melalui menu *KENLAYER* dengan format *file* '*.textdocument'* atau '*.txt'*. Hasil analisis berupa nilai tegangan dan regangan yang akan terjadi pada perkerasan. Hasil analisis terlampir pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Nilai Regangan Maksimum Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Viskoelastik

No. Koordinat	***Horizontal Strain***	***Vertical Strain***	
	Kedalaman 18.9997 cm	**Kedalaman 18,9997 cm**	**Kedalaman 39,0003 cm**
1	0.00001426	0.00001717	0.00005543
2	0.00001464	0.00001691	0.00005726
3	0.00001462	0.00001649	0.0000577
MAX	0.00001464	0.00001717	0.0000577

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* terlampir pada Tabel 5.28 sebagai berikut.

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Analisis *Fatigue Cracking, Rutting*, dan *Permanent Deformation* Perkerasan Eksisting dengan Pemodelan Viskoelastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)	Keterangan
Eksisting	10,028E+06	Nf	4,404E+09	yes	**Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	2,952E+12	yes	
	10,028E+06	Nd *deformation*	1,295E+10	yes	

Berdasarkan Tabel 5.28 detail perhitungan untuk mendapatkan nilai kontrol masing-masing kerusakan dapat dilihat sebagai berikut.

Kontrol kerusakan *fatigue cracking*:

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

$Nf = 0{,}0796\ (0{,}00001464)^{-3{,}921}\ |1200000|^{-0{,}854}$

$Nf = 440.365.538$ ESAL

Kontrol kerusakan *rutting*:

$Nd = f_4(\varepsilon)^{-f5}$

$Nd = 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}00001717)^{-4{,}477}$

$Nd = 294.486.940.420$ ESAL

Kontrol kerusakan *permanent deformation*:

$Nd = f_4(\varepsilon)^{-f5}$

$Nd = 1{,}365 \times 10^{-9} \times (0{,}0000577)^{-4{,}477}$

$Nd = 1.295234894E+10$ ESAL

Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan pada Tabel 5.28 yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar 440.365x10^6 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 294.486x10^6 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 1.295.234x10^6 ESAL. Kerusakan *fatigue cracking* yang memiliki nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi. Kemudian, dilakukan perhitungan umur sisa (*remaining life)*.

Remaining Life Fatigue ($RL_{Fatigue}$) $= 100\ x\ (1 - \frac{Np}{N1,5})$

$= 100\ x\ (1 - \frac{499.772,53}{440.365.538})$

$= 99,99\%$

Remaining Life Rutting ($RL_{Rutting}$) $= 100\ x\ (1 - \frac{Np}{N1,5})$

$= 100\ x\ (1 - \frac{499.772,53}{294.486.940.420})$

$= 99,999983\%$

Remaining Life Deform (RL_{Deform}) $= 100\ x\ (1 - \frac{Np}{N1,5})$

$= 100\ x\ (1 - \frac{499.772,53}{1.295234894E+10})$

$= 99,996\%$

dengan:

Np = nilai lalu lintas per tahun,

N1,5 = nilai repitisi beban.

Rekapitulasi kemampuan perhitungan *remaining life* untuk perkerasan eksisting memalui pendekatan elastik dan viskoelastik dalam menahan beban yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 5.29.

5.2.5 Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Bina Marga 2017 menggunakan *KENPAVE*

5.2.5.1 Desain Tebal Lapis Tambah (*Overlay)* Bina Marga 2017

Tebal *overlay* yang telah dihitung menggunakan Bina Marga 2017 akan dievaluasi menggunakan *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Hasil

analisis berupa nilai tegangan dan regangan yang akan terjadi pada perkerasan. Hasil analisis terlampir pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31.

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Perkerasan *Overlay* Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (dalam persen)

Tahun	Np	*RL Fatique*		*Rutting*		*Permanent Deformation*	
		E	V	E	V	E	V
1	499772.525	*FAIL*	99.97833	83.626657	99.9999593	*FAIL*	99.99308068
2	999794.937		99.95665	67.245128	99.9999185		99.9861579
3	1500067.36		99.93495	50.855408	99.9998777		99.97923167
4	2000589.92		99.91325	34.457494	99.9998369		99.97230196
5	2501362.74		99.89153	18.05138	99.9997961		99.9653688
6	3002385.94		99.8698	1.637063	99.9997552		99.95843216
7	3503659.66		99.84807	*FAIL*	99.9997144		99.95149206
8	4005184.02		99.82632		99.9996735		99.94454849
9	4506959.14		99.80456		99.9996326		99.93760144
10	5008985.14		99.78279		99.9995916		99.93065093
11	5511262.16		99.76101		99.9995507		99.92369693
12	6013790.31		99.73922		99.9995097		99.91673947
13	6516569.73		99.71742		99.9994687		99.90977852
14	7019600.54		99.6956		99.9994277		99.90281409
15	7522882.87		99.67378		99.9993867		99.89584618
16	8026416.84		99.65194		99.9993456		99.88887478
17	8530202.57		99.6301		99.9993046		99.8818999
18	9034240.2		99.60824		99.9992635		99.87492153
19	9538529.84		99.58637		99.9992224		99.86793968
20	10043071.6		99.56449		99.9991812		99.86095433

Tabel 5. 30 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 20.9997 cm	Kedalaman 20,9997 cm	Kedalaman 41,0003 cm
1	0,00003998	0,0001088	0,0001669
2	0,00003938	0,00008184	0,0001787
3	0,00003811	0,00006725	0,0001802
MAX	0,00003998	0,0001088	0,0001802

Tabel 5. 31 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 20,9997 cm	Kedalaman 20,9997 cm	Kedalaman 41,0003 cm
1	0,000001499	0,0001177	0,00002736
2	0,000003122	0,00001501	0,00003619
3	0,00003798	0,00009207	0,00007474
MAX	0,00003798	0,0001177	0,00007474

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik terlampir pada Tabel 5.32 dan Tabel 5.33 sebagai berikut.

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Analisis *Fatigue Cracking, Rutting*, dan *Permanent Deformation* Perkerasan *Overlay* dengan Pemodelan Elastik

Perkerasan	**Nr**	**Repetisi Beban (ESAL)**		**Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)**	**Keterangan**
Overlay	10,028E+06	Nf	161,4E+06	yes	**Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	757,1E+06	yes	
	10,028E+06	Nd *deformat*	79,09E+06	yes	

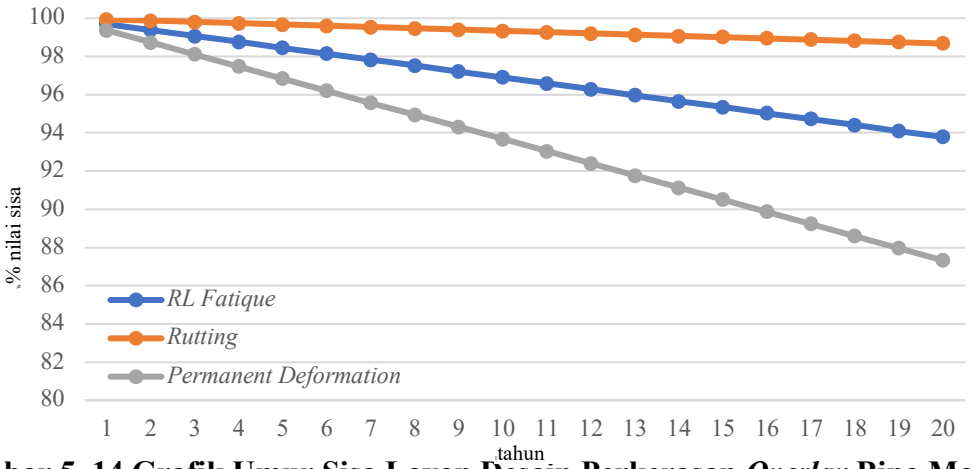
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Hasil Analisis *Fatigue Cracking, Rutting*, dan *Permanent Deformation* Perkerasan *Overlay* dengan Pemodelan Viskoelastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)	Keterangan
Overlay	10.028+06	Nf	191.1E+06	*yes*	**Mampu**
	10.028+06	Nd *rutting*	532.4E+06	*yes*	
	10.028+06	Nd *deformation*	4067E+06	*yes*	

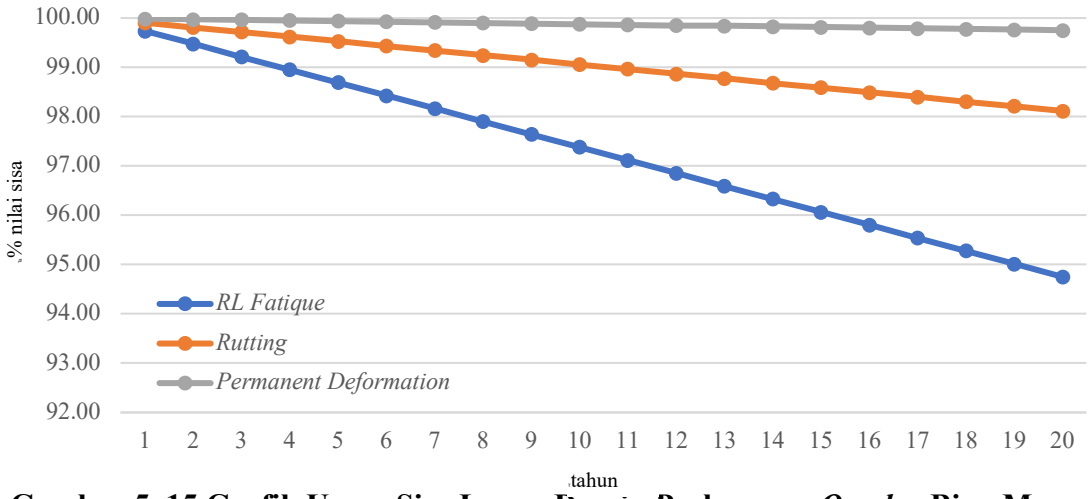
Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan pada tabel di atas yaitu dengan pendekatan elastik kerusakan *fatigue cracking* 161,4x10^6 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 757,1x10^6 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 79,091x10^6 ESAL. Kerusakan dengan nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi. Kemudian, dilakukan perhitungan umur sisa (*remaining life*) dengan rekapitulasi pada Tabel 5.34.

Tabel 5. 34 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Struktur Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (dalam persen)

Tahun	Np	*RL Fatique*		*Rutting*		*Permanent Deformation*	
		E	V	E	V	E	V
1	499772.525	99.690	99.738	99.934	99.906	99.368	99.988
2	999719.971	99.381	99.477	99.868	99.812	98.736	99.975
3	1499842.4	99.071	99.215	99.802	99.718	98.104	99.963
4	2000139.87	98.761	98.953	99.736	99.624	97.471	99.951
5	2500612.44	98.451	98.692	99.670	99.530	96.838	99.939
6	3001260.18	98.141	98.430	99.604	99.436	96.205	99.926
7	3502083.15	97.830	98.168	99.537	99.342	95.572	99.914
8	4003081.4	97.520	97.905	99.471	99.248	94.939	99.902
9	4504255.01	97.210	97.643	99.405	99.154	94.305	99.889
10	5005604.02	96.899	97.381	99.339	99.060	93.671	99.877
11	5507128.51	96.588	97.118	99.273	98.966	93.037	99.865
12	6008828.53	96.277	96.856	99.206	98.871	92.402	99.852
13	6510704.14	95.966	96.593	99.140	98.777	91.768	99.840
14	7012755.41	95.655	96.331	99.074	98.683	91.133	99.828
15	7514982.4	95.344	96.068	99.007	98.589	90.498	99.815
16	8017385.17	95.033	95.805	98.941	98.494	89.863	99.803
17	8519963.78	94.722	95.542	98.875	98.400	89.227	99.790
18	9022718.29	94.410	95.279	98.808	98.305	88.592	99.778
19	9525648.77	94.099	95.016	98.742	98.211	87.956	99.766
20	10028755.3	93.787	94.752	98.675	98.116	87.320	99.753



Gambar 5. 14 Grafik Umur Sisa Layan Desain Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik



Gambar 5. 15 Grafik Umur Sisa Layan Desain Perkerasan *Overlay* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik

5.2.5.2 Desain Struktur Perkerasan Pelebaran menggunakan *AC Base* Bina Marga 2017

Tebal struktur perkerasan pelebaran *AC Base* yang telah dihitung menggunakan Bina Marga 2017 akan dievaluasi menggunakan *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Hasil analisis berupa nilai tegangan dan regangan yang akan terjadi pada perkerasan. Hasil analisis terlampir pada Tabel 5.35 dan Tabel 5.36.

Tabel 5. 35 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 17.4997 cm	Kedalaman 17.4997 cm	Kedalaman 29,5003 cm
1	0.0003026	0.000362	0.0006755
2	0.0003092	0.0003179	0.0007125
3	0.0003051	0.0002866	0.0007127
MAX	0.0003092	0.000362	0.0007127

Tabel 5. 36 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 17.4997 cm	Kedalaman 17.4997 cm	Kedalaman 29,5003 cm
1	0.00001941	0.00002333	0.00007234
2	0.00001993	0.00002293	0.00007489
3	0.00001988	0.00002227	0.00007527
MAX	0.00001993	0.00002333	0.00007527

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik terlampir pada Tabel 5.37 dan Tabel 5.38 sebagai berikut.

Tabel 5. 37 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Elastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf,Nd,Nd)	Keterangan
BM 17 *AC Base*	10,028E+06	Nf	10,15E+06	*no*	**Tidak Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	583,9E+06	*yes*	
	10,028E+06	Nd *deformation*	48,39E+06	*yes*	

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Viskoelastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf,Nd,Nd)	Keterangan
BM 17 *AC Base*	10,028E+06	Nf	1.67727E+11	*yes*	**Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	5.26538E+12	*yes*	
	10,028E+06	Nd *deformation*	4.66952E+12	*yes*	

Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan dengan pendekatan elastik pada tabel di atas yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar $10{,}015 \times 10^6$ ESAL, kerusakan *rutting* sebesar $583{,}9 \times 10^6$ ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar $48{,}39 \times 10^6$ ESAL. Sedangkan, nilai kontrol kerusakan dengan pendekatan viskoelastik yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar 1.67727×10^{11} ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 5.2653×10^{12} ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 4.66952×10^{12} ESAL. Dapat dilihat nilai Nf pada pendekatan elastik memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan Nr, hal ini menandakan bahwa perkerasan tidak mampu menahan beban rencana sesuai dengan umur layan yang telah ditentukan. Kerusakan *fatigue cracking* memiliki nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi. Kemudian, dilakukan perhitungan umur sisa (*remaining life*) dengan rekapitulasi pada Tabel 5.39 sebagai berikut.

Tabel 5.39 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik dan Viskoelastik

Tahun	Np	*RL Fatique*		*Rutting*		*ermanent Deformatio*	
		E	V	E	V	E	V
1	499772.525	*FAIL*	99.969	85.646	100.000	FAIL	99.987
2	999719.971		99.937	71.287	100.000		99.975
3	1499842.4		99.906	56.922	100.000		99.962
4	2000139.87		99.875	42.553	100.000		99.949
5	2500612.44		99.843	28.179	100.000		99.937
6	3001260.18		99.812	13.800	100.000		99.924
7	3502083.15		99.781	*FAIL*	100.000		99.911
8	4003081.4		99.749		99.999		99.898
9	4504255.01		99.718		99.999		99.886
10	5005604.02		99.686		99.999		99.873
11	5507128.51		99.655		99.999		99.860
12	6008828.53		99.623		99.999		99.847
13	6510704.14		99.592		99.999		99.835
14	7012755.41		99.561		99.999		99.822
15	7514982.4		99.529		99.999		99.809
16	8017385.17		99.498		99.999		99.797
17	8519963.78		99.466		99.999		99.784
18	9022718.29		99.435		99.999		99.771
19	9525648.77		99.403		99.999		99.758
20	10028755.3		99.371		99.999		99.745
21	10532037.9						

5.2.5.3 Desain Struktur Perkerasan Pelebaran menggunakan *CTB* Bina Marga 2017

Tebal struktur perkerasan pelebaran menggunakan *CTB* yang telah dihitung menggunakan Bina Marga 2017 akan dievaluasi menggunakan *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Hasil analisis berupa nilai tegangan dan regangan yang akan terjadi pada perkerasan. Hasil analisis terlampir pada Tabel 5.40 dan Tabel 5.41 sebagai berikut.

Tabel 5. 40 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 9.9997 cm	Kedalaman 9,9997 cm	Kedalaman 40,0003 cm
1	0.0000296	0.0001138	0.0002896
2	0.00004801	0.0000222	0.00004801
3	0.00005381	0.00004402	0.0001407
MAX	0.00005381	0.0001138	0.0002896

Tabel 5. 41 Nilai Tegangan Regangan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 Pendekatan Viskoelastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 9.9997 cm	Kedalaman 9,9997 cm	Kedalaman 40,0003 cm
1	0.00004375	0.00002302	0.0001155
2	0.00004898	0.00002394	0.0001206
3	0.0000092	0.00002393	0.0001213
MAX	0.00004898	0.00002394	0.0001213

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik terlampir pada Tabel 5.42 dan Tabel 5.43.

Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan pada tabel di atas yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar 60,72x10^6 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 619,10x10^6 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 9,455x10^6 ESAL. Sedangkan, nilai kontrol kerusakan dengan pendekatan viskoelastik yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar 8,275x10^7 ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 6,650x10^{11} ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 4,653x10^8 ESAL.

Tabel 5. 42 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Elastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)	Keterangan
BM 17 *CTB*	10,028E+06	Nf	60,72E+06	yes	Tidak Mampu
	10,028E+06	Nd *rutting*	619,1E+06	yes	
	10,028E+06	Nd *deformat*	9,455E+06	no	

Tabel 5. 43 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *CTB* Bina Marga 2017 dengan Pemodelan Viskoelastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)	Keterangan
BM 17 *CTB*	10,028E+06	Nf	8,275E+07	yes	**Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	6,650E+11	yes	
	10,028E+06	Nd *deformat*	4,653E+08	yes	

Nilai Nf dan Nd *rutting* pada pendekatan elastik memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan Nr, hal ini menandakan bahwa perkerasan tidak mampu menahan beban rencana sesuai dengan umur layan yang telah ditentukan. Kerusakan dengan nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi yaitu pada kerusakan *fatigue* dan *permanent deformation*. Kemudian, dilakukan perhitungan umur sisa (*remaining life*) dengan rekapitulasi pada Tabel 5.44.

5.2.6 Evaluasi Desain Perkerasan Alternatif untuk Pelebaran

5.2.6.1 Evaluasi Desain Perkerasan Alternatif menggunakan *AC Base*

Melalui analisis *KENPAVE* yang telah dilakukan, didapatkan bahwa perkerasan eksisting maupun Bina Marga 2017 belum mampu menahan beban lalu lintas yang direncanakan sehingga dilakukan perhitungan tebal desain alternatif sebagai berikut.

AC WC = 6 cm

AC BC = 14,5 cm

AC Base = 20 cm

LPA Kelas A = 20,5 cm

Tabel 5.44 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Struktur Perkerasan Pelebaran dengan *AC Base* Bina Marga 2017 Pendekatan Elastik dan Viskoelastik

Tahun	Np	*RL Fatique*		*Rutting*		*Permanent Deformation*	
		E	V	E	V	E	V
1	499772.525	99.177	99.396	99.919	100.000	94.714	99.893
2	999719.971	98.354	98.792	99.839	100.000	89.427	99.785
3	1499842.4	97.530	98.187	99.758	100.000	84.137	99.678
4	2000139.87	96.706	97.583	99.677	100.000	78.846	99.570
5	2500612.44	95.882	96.978	99.596	100.000	73.552	99.463
6	3001260.18	95.057	96.373	99.515	100.000	68.257	99.355
7	3502083.15	94.233	95.768	99.434	99.999	62.960	99.247
8	4003081.4	93.407	95.162	99.353	99.999	57.662	99.140
9	4504255.01	92.582	94.557	99.272	99.999	52.361	99.032
10	5005604.02	91.756	93.951	99.192	99.999	47.059	98.924
11	5507128.51	90.930	93.345	99.111	99.999	41.754	98.816
12	6008828.53	90.104	92.738	99.029	99.999	36.448	98.708
13	6510704.14	89.278	92.132	98.948	99.999	31.140	98.601
14	7012755.41	88.451	91.525	98.867	99.999	25.830	98.493
15	7514982.4	87.624	90.918	98.786	99.999	20.518	98.385
16	8017385.17	86.796	90.311	98.705	99.999	15.205	98.277
17	8519963.78	85.969	89.704	98.624	99.999	9.889	98.169
18	9022718.29	85.141	89.096	98.543	99.999	4.572	98.061
19	9525648.77	84.312	88.488	98.461	99.999	*FAIL*	97.953
20	10028755.3	83.484	87.880	98.380	99.998		97.844

Berdasarkan tebal alternatif yang telah ditentukan, akan dilakukan analisis menggunakan *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Hasil yang didapatkan berupa tegangan dan regangan yang terlampir pada Tabel 5.45 dan Tabel 5.46.

Tabel 5. 45 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* Pendekatan Elastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 40,4997 cm	Kedalaman 40,4997 cm	Kedalaman 61,0003 cm
1	0.00008708	0.000107	0.0001885
2	0.00009186	0.0001143	0.0001993
3	0.00009266	0.0001153	0.0002011
MAX	0.00009266	0.0001153	0.0002011

Tabel 5. 46 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* Pendekatan Viskoelastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 40,4997 cm	Kedalaman 40,4997 cm	Kedalaman 61,0003 cm
1	0.000003069	0.000005724	0.00001508
2	0.000004777	0.00001508	0.00001541
3	0.000004844	0.000006047	0.00001549
MAX	0.000004844	0.00001508	0.00001549

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik terlampir pada Tabel 5.47 dan Tabel 5.48.

Tabel 5. 47 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* dengan Pemodelan Elastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf,Nd,Nd)	Keterangan
Alternatif *AC Base*	10,028E+06	Nf	10.15E+06	*no*	**Tidak Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	583.9E+06	*yes*	
	10,028E+06	Nd *deformation*	48.39E+06	*yes*	

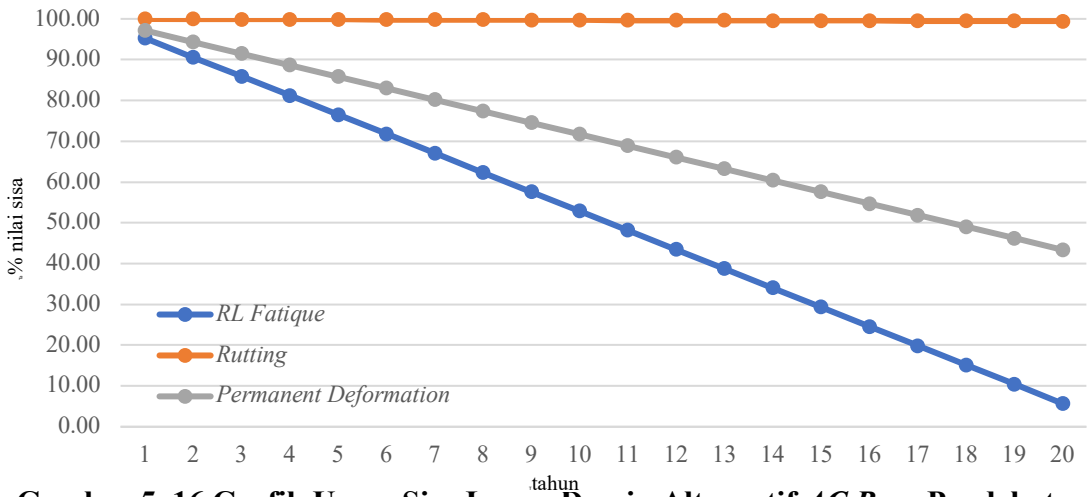
Tabel 5. 48 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* dengan Pemodelan Viskoelastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf,Nd,Nd)	Keterangan
Alternatif *AC Base*	10,028E+06	Nf	1.67727E+11	*yes*	**Mampu**
	10,028E+06	Nd *rutting*	5.26538E+12	*yes*	
	10,028E+06	Nd *deformation*	4.66952E+12	*yes*	

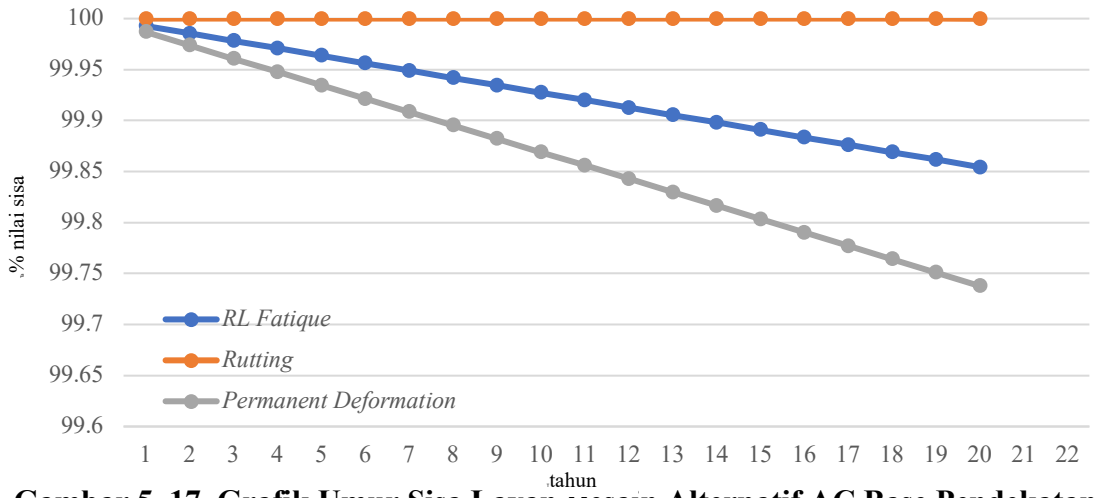
Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan dengan pemodelan elastik pada tabel di atas yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar $10{,}15 \times 10^6$ ESAL, kerusakan *rutting* sebesar $583{,}9 \times 10^6$ ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar $4{,}653 \times 10^8$ ESAL. Pada pendekatan viskoelastik, didapatkan nilai kontrol kerusakan *fatigue cracking* sebesar $1{,}667 \times 10^{11}$ ESAL, kerusakan *rutting* sebesar $5{,}625 \times 10^{12}$ ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar $4{,}670 \times 10^{12}$. Secara keseluruhan, nilai kontrol kerusakan (Nf, Nd *rutting,* dan Nd *permanent deformation)* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai Nr. Hal ini menandakan bahwa desain perkerasan alternatif menggunakan *AC Base* mampu menahan beban rencana sesuai dengan umur layan yang telah ditentukan. Kerusakan dengan nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi. Kemudian, dilakukan perhitungan umur sisa (*remaining life*) dengan rekapitulasi pada Tabel 5.49 dan grafik 5.15 dan 5.16.

Tabel 5. 49 Rekapitulasi Umur Sisa Layan Desain Alternatif Pelebaran dengan *AC Base* Pendekatan Elastik dan Viskoelastik

Tahun	Np	*RL Fatique*		*Rutting*		*ermanent Deformatio*	
		E	V	E	V	E	V
1	499772.525	95.0773	99.9997	99.9144	100.0000	98.9672	100.0000
2	999719.971	90.1528	99.9994	99.8288	100.0000	97.9340	100.0000
3	1499842.4	85.2266	99.9991	99.7431	100.0000	96.9005	100.0000
4	2000139.87	80.2987	99.9988	99.6574	100.0000	95.8666	100.0000
5	2500612.44	75.3691	99.9985	99.5717	100.0000	94.8324	99.9999
6	3001260.18	70.4378	99.9982	99.4860	99.9999	93.7978	99.9999
7	3502083.15	65.5047	99.9979	99.4002	99.9999	92.7628	99.9999
8	4003081.4	60.5699	99.9976	99.3144	99.9999	91.7275	99.9999
9	4504255.01	55.6334	99.9973	99.2286	99.9999	90.6918	99.9999
10	5005604.02	50.6951	99.9970	99.1427	99.9999	89.6557	99.9999
11	5507128.51	45.7551	99.9967	99.0568	99.9999	88.6193	99.9999
12	6008828.53	40.8134	99.9964	98.9709	99.9999	87.5825	99.9999
13	6510704.14	35.8700	99.9961	98.8849	99.9999	86.5454	99.9999
14	7012755.41	30.9248	99.9958	98.7989	99.9999	85.5079	99.9998
15	7514982.4	25.9779	99.9955	98.7129	99.9999	84.4700	99.9998
16	8017385.17	21.0292	99.9952	98.6269	99.9998	83.4318	99.9998
17	8519963.78	16.0789	99.9949	98.5408	99.9998	82.3932	99.9998
18	9022718.29	11.1268	99.9946	98.4547	99.9998	81.3542	99.9998
19	9525648.77	6.1729	99.9943	98.3686	99.9998	80.3149	99.9998
20	10028755.3	1.2174	99.9940	98.2824	99.9998	79.2752	99.9998
21	10532037.9	*FAIL*	99.9937	98.1962	99.9998	78.2352	99.9998



Gambar 5. 16 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif *AC Base* Pendekatan Elastik



Gambar 5. 17 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif AC Base Pendekatan Viskoelastik

5.2.6.2 Evaluasi Desain Perkerasan Alternatif menggunakan *CTB*

Melalui analisis *KENPAVE* yang telah dilakukan, didapatkan bahwa perkerasan eksisting maupun Bina Marga 2017 belum mampu menahan beban lalu lintas yang direncanakan sehingga dilakukan perhitungan tebal desain alternatif sebagai berikut.

AC WC = 7 cm
AC BC = 8 cm
CTB = 15 cm
LPA Kelas A = 15 cm

Berdasarkan tebal alternatif yang telah ditentukan, akan dilakukan analisis menggunakan *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik. Hasil yang didapatkan berupa tegangan dan regangan yang terlampir pada Tabel 5.50 dan 5.51.

Tabel 5. 50 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* Pendekatan Elastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 1.9997 cm	Kedalaman 1,9997 cm	Kedalaman 67,0003 cm
1	0.00009136	0.00008912	0.000235
2	0.00002713	0.00003169	0.0002493
3	0.00002888	0.000000345	0.0002517
MAX	0.00009136	0.00008912	0.0002517

Tabel 5. 51 Nilai Tegangan Regangan Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* Pendekatan Viskoelastik

No. Koordinat	*Horizontal Strain*	*Vertical Strain*	
	Kedalaman 1.9997 cm	Kedalaman 1,9997 cm	Kedalaman 67,0003 cm
1	0.00007924	0.0001765	0.00006845
2	0.0000799	0.0001434	0.00007416
3	0.0000782	0.0001241	0.00007474
MAX	0.0000799	0.0001765	0.00007474

Dari hasil analisis tersebut, dapat dihitung nilai Nf untuk kontrol kerusakan *fatigue cracking,* Nd untuk kontrol kerusakan *rutting,* dan Nd untuk kontrol kerusakan *permanent deformation*. Rekapitulasi perhitungan analisa *fatigue cracking, rutting,* dan *permanent deformation* menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik terlampir pada Tabel 5.52 dan Tabel 5.53.

Tabel 5. 52 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* dengan Pemodelan Elastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)	Keterangan
Alternatif CTB	10.028E+06	Nf	10.64E+06	*yes*	**Mampu**
	10.028E+06	Nd *rutting*	18.50E+06	*yes*	
	10.028E+06	Nd deforma	17.72E+06	*yes*	

Tabel 5. 53 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* dengan Pemodelan Viskoelastik

Perkerasan	Nr	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas (Nr<Nf, Nd, Nd)	Keterangan
Alternatif CTB	10.028E+06	Nf	8.275E+07	*yes*	**Mampu**
	10.028E+06	Nd *rutting*	6.650E+11	*yes*	
	10.028E+06	Nd deforma	4.653E+08	*yes*	

Setelah mendapatkan nilai kontrol kerusakan dengan pemodelan elastik pada tabel di atas yaitu kerusakan *fatigue cracking* sebesar $10{,}64 \times 10^6$ ESAL, kerusakan *rutting* sebesar 1850×10^6 ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar $17{,}72 \times 10^6$ ESAL. Kerusakan dengan nilai terkecil menandakan bahwa kerusakan tersebut menjadi kerusakan yang paling awal terjadi. Pada pendekatan viskoelastik, didapatkan nilai kontrol kerusakan *fatigue cracking* sebesar $8{,}275 \times 10^7$ ESAL, kerusakan *rutting* sebesar $6{,}650 \times 10^{11}$ ESAL, dan kerusakan *permanent deformation* sebesar $4{,}653 \times 10^8$. Nilai kontrol kerusakan dengan pemodelan elastik dan viskoelastik lebih besar dibandingkan nilai Nr. Hal ini menunjukkan bahwa desain alternatif *AC Base* mampu menahan beban rencana sesuai umur layan. Kemudian, dilakukan perhitungan nilai umur sisa (*remaining life*) dengan rekapitulasi pada Tabel 5.54.

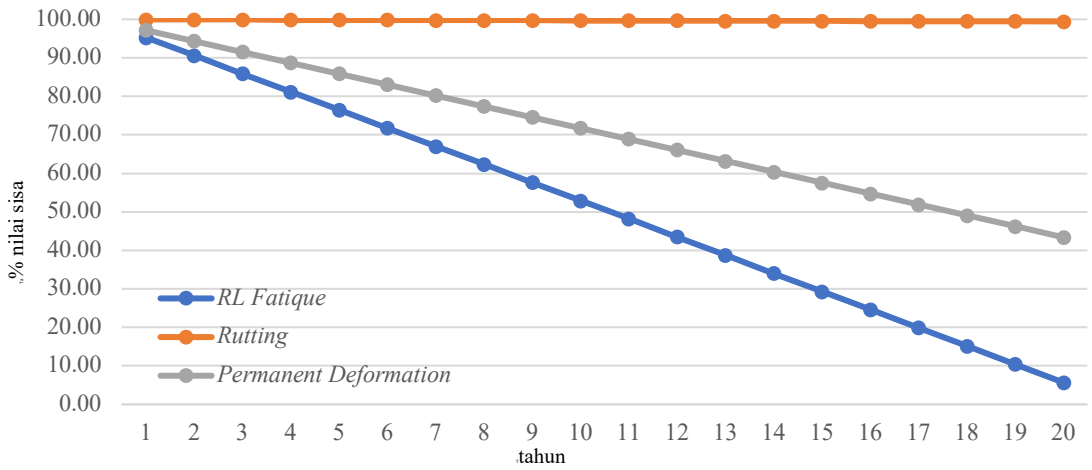
5.2.7 Perhitungan *Structural Number* (*SN*) untuk Desain Alternatif Struktur Perkerasan Pelebaran Metode Bina Marga 2017

Dikarenakan terdapat selisih yang cukup besar antara tebal perkerasan eksisting dengan tebal perkerasan alternatif untuk pelebaran, digunakan *structural number* (SN) untuk menyeimbangkan kekuatan dan ketahanan antara tebal lapisan eksisting dengan tebal lapisan pelebaran. Dibutuhkan koefisien relatif lapisan, nilai *structural number* (SN), dan koefisien drainase lapisan untuk menghitung tebal lapisan desain pelebaran yang harus ditambah sehingga *structural number* (SN) kedua tebal

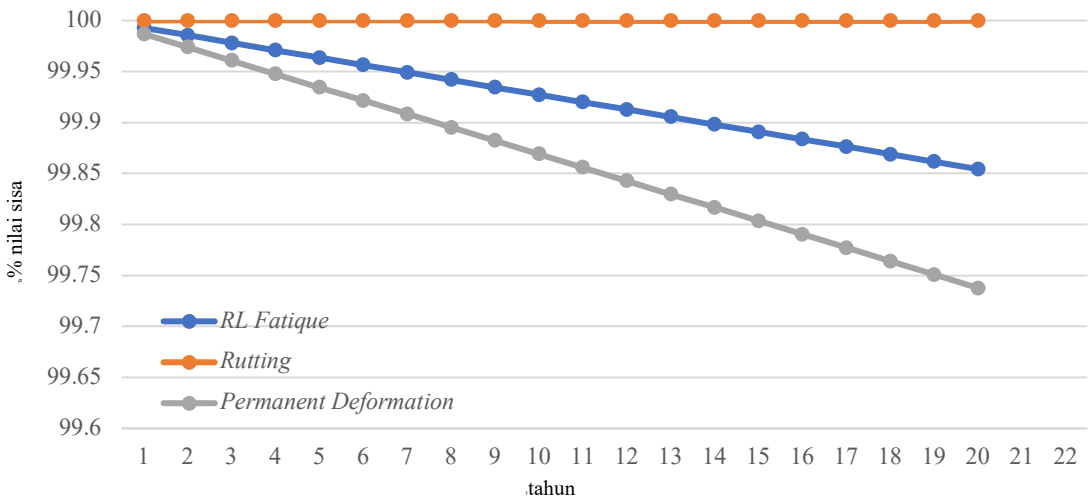
lapisan menjadi sama. Berikut merupakan nilai SN pada perkerasan eksisting dam desain perkerasan alternatif pelebaran terlampir pada Tabel 5.55, 5.56, dan 5.57.

Tabel 5. 54 Rekapitulasi Nilai Sisa Umur Layan Layan Desain Alternatif Pelebaran dengan *CTB* Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (%)

Tahun	Np	*RL Fatique*		*Rutting*		*Permanent Deformation*	
		E	V	E	V	E	V
1	499772.5252	95.301	99.993	99.973	99.999989	97.179	99.987
2	999719.9707	90.600	99.985	99.946	99.999979	94.357	99.974
3	1499842.398	85.898	99.978	99.919	99.999968	91.534	99.961
4	2000139.868	81.194	99.971	99.892	99.999957	88.710	99.948
5	2500612.442	76.488	99.964	99.865	99.999946	85.885	99.935
6	3001260.182	71.781	99.956	99.838	99.999936	83.060	99.922
7	3502083.148	67.072	99.949	99.811	99.999925	80.233	99.908
8	4003081.402	62.361	99.942	99.784	99.999914	77.405	99.895
9	4504255.006	57.649	99.935	99.756	99.999904	74.576	99.882
10	5005604.02	52.935	99.927	99.729	99.999893	71.746	99.869
11	5507128.507	48.220	99.920	99.702	99.999882	68.915	99.856
12	6008828.527	43.503	99.913	99.675	99.999871	66.083	99.843
13	6510704.142	38.784	99.905	99.648	99.999861	63.251	99.830
14	7012755.414	34.063	99.898	99.621	99.999850	60.417	99.817
15	7514982.403	29.341	99.891	99.594	99.999839	57.582	99.804
16	8017385.172	24.617	99.884	99.567	99.999828	54.746	99.790
17	8519963.782	19.892	99.876	99.539	99.999818	51.910	99.777
18	9022718.295	15.165	99.869	99.512	99.999807	49.072	99.764
19	9525648.771	10.436	99.862	99.485	99.999796	46.233	99.751
20	10028755.27	5.706	99.854	99.458	99.999785	43.393	99.738
21	10532037.86	0.973	99.847	99.431	99.999774	40.552	99.725
22	11035496.6	*FAIL*	99.840	99.403	99.999764	37.711	99.711



Gambar 5. 18 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif *CTB* Pendekatan Elastik



Gambar 5. 19 Grafik Umur Sisa Layan Desain Alternatif *CTB* Pendekatan Viskoelastik

Tabel 5. 55 Perhitungan SN Kumulatif Perkerasan Eksisting Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat

Perkerasan Eksisting	d (tebal lapisan)				Koefisien Kekuatan Relatif (a)	Koefisien Drainase (m)	*Structural Number (SN)*
Aspal	150	mm	5.906	inch	0.3	1	1.772
Agregat	200	mm	7.874	inch	0.12	0.8	0.756
AC-WC	60	mm	2.362	inch	0.4	1	0.945
SN Kumulatif							**3.473**

(Sumber: Balai P2JN Jambi, 2022)

Tabel 5. 56 Tabel 5. 60 Perhitungan SN Kumulatif Desain Perkerasan Alternatif *AC Base* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat

Pelebaran	d (tebal lapisan)				Koefisien Kekuatan Relatif (a)	Koefisien Drainase (m)	*Structural Number (SN)*
AC-WC	60	mm	2.362	inch	0.4	1	0.945
AC-BC	145	mm	5.709	inch	0.344	1	1.964
AC-Base	200	mm	7.874	inch	0.29	1	2.283
LPA Kelas A	205	mm	8.071	inch	0.135	1	1.090
SN Kumulatif							**6.282**

Tabel 5. 57 Perhitungan SN Kumulatif Desain Perkerasan Alternatif *CTB* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W - Batas Sumatera Barat untuk Pelebaran

Pelebaran	d (tebal lapisan)				Koefisien Kekuatan Relatif (a)	Koefisien Drainase (m)	*Structural Number (SN)*
AC-WC	70	mm	2.756	inch	0.4	1	1.102
AC-BC	80	mm	3.150	inch	0.344	1	1.084
CTB	150	mm	5.906	inch	0.21	1	1.240
LPA Kelas A	150	mm	5.906	inch	0.135	1	0.797
SN Kumulatif							**4.224**

Dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

SN Perkerasan Eksisting $= a_1.D_1.m_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$

= 0,3.5,906.1 + 0,12.7,874.0,8 + 0,414.2,362.1

= 3,473

Karena selisih *structural number* (SN) yang cukup besar antara tebal perkerasan eksisting dengan tebal perkerasan alternatif yaitu 6,282 dan 4,224, dibutuhkan penyesuaian tebal lapisan dan nilai *structural number* (SN) antara desain tebal lapisan yang dilampirkan pada Tabel 5.58 dan 5.59 sebagai berikut. Dilakukan penambahan *overlay* pada perkerasan eksisting untuk menyesuaikan nilai *SN* (*Structural Number*) sehingga menjadi sebagai berikut.

Tabel 5.58 Penyesuaian Tebal Perkerasan Eksisting untuk Pelebaran dengan Alternatif *AC Base*

Perkerasan Eksisting		d (tebal lapisan)				Koefisien Kekuatan Relatif (a)	Koefisien Drainase (m)	*Structural Number (SN)*
Eksisting	Aspal	150	mm	5.906	inch	0.3	1	1.772
	Agregat	200	mm	7.874	inch	0.12	0.8	0.756
	AC-WC	60	mm	2.362	inch	0.4	1	0.945
Overlay	HRS BC	120	mm	4.724	inch	0.35	1	1.653
	AC-WC	80	mm	3.150	inch	0.4	1	1.260
SN Kumulatif								**6.386**

Tabel 5.59 Penyesuaian Tebal Perkerasan Eksisting untuk Pelebaran dengan Alternatif *CTB*

Perkerasan Eksisting		d (tebal lapisan)				Koefisien Kekuatan Relatif (a)	Koefisien Drainase (m)	*Structural Number (SN)*
Eksisting	Aspal	150	mm	5.906	inch	0.3	1	1.772
	Agregat	200	mm	7.874	inch	0.12	0.8	0.756
	AC-WC	60	mm	2.362	inch	0.4	1	0.945
Overlay	HRS BC	0	mm	0.000	inch	0.35	1	0.000
	AC-WC	50	mm	1.966	inch	0.4	1	0.786
SN Kumulatif								**4.259**

5.3 Pembahasan

5.3.1 Perbandingan tebal perkerasan eksisting, desain *overlay* Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W dengan Bina Marga 2017

Tebal perkerasan eksisting bersumber dari BP2JN provinsi Jambi yang diketahui melalui uji *PIT* dan memiliki lapisan LPA Kelas A, AC-BC, dan AC-WC. Kemudian, hasil redesain tebal lapis tambah yang dilakukan menggunakan metode Bina Marga 2017 menggunakan material yang sama dengan perkerasan eksisting namun dengan ketebalan yang berbeda. Metode perhitungan tebal lapis tambah oleh Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017 menggunakan grafik sebagai media bantunya. Metode perhitungan tebal lapis tambah oleh Bina Marga 2017 membutuhkan beberapa *input* seperti CESA4 dan CESA5 10 tahun, lengkung lendutan, dan lendutan maksimum. Dari *input* yang telah diproses tersebut dengan memperhitungkan ketebalan yang mampu menahan deformasi permanen, mencegah retak lelah, dan menurunkan IRI, didapatkan hasil tipe material yang digunakan sebagai lapis tambah (*overlay)* adalah AC-WC setebal 6 cm. Terlampir rekapitulasi perbandingan material dan ketebalan masing-masing tebal desain perkerasan pada Tabel 5.60 berikut.

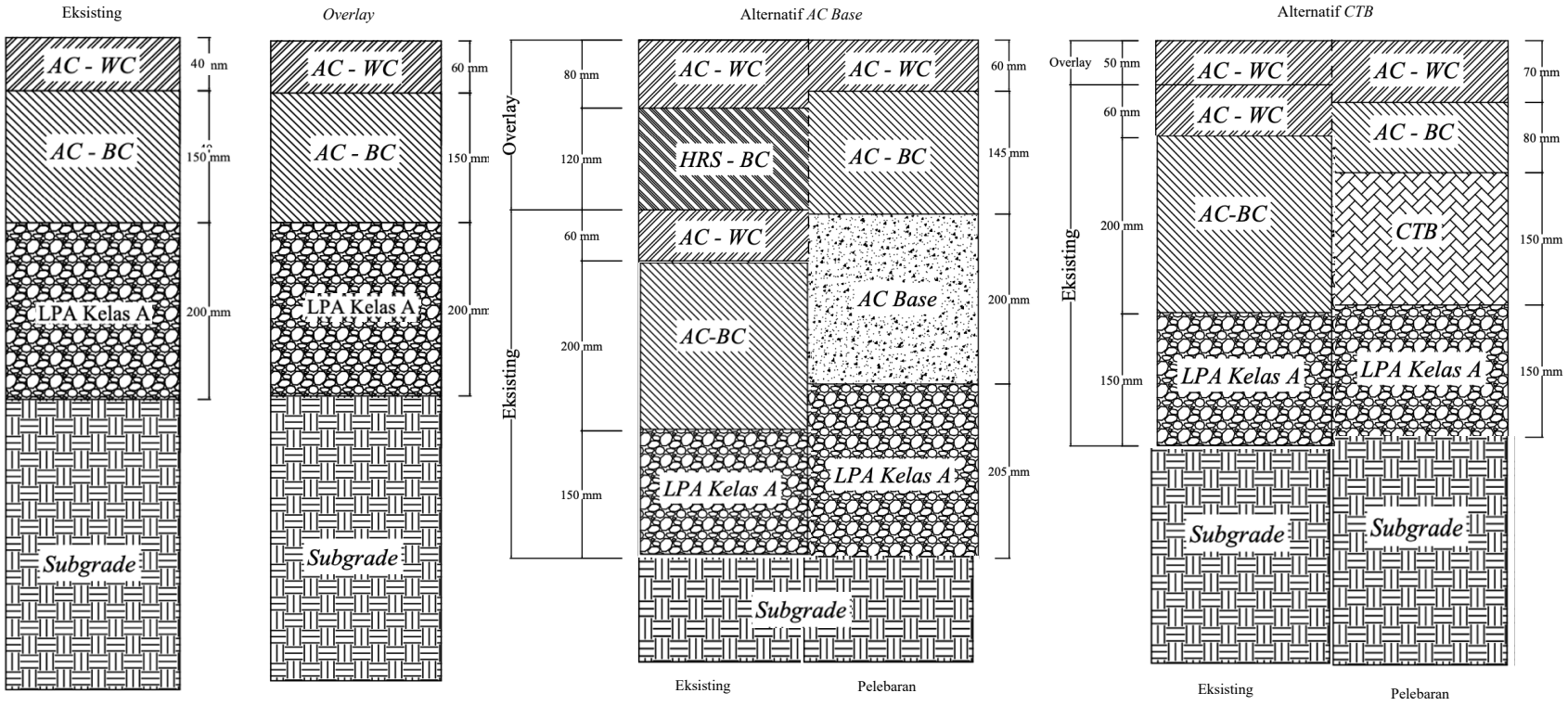
Tabel 5. 60 Rekapitulasi Desain Tebal Perkerasan

Lapis Perkerasan	Desain Tebal Perkerasan (cm)						
	Jenis Perkerasan	Eksisting	*Overlay*	Bina Marga 2017		Alternatif	
				AC Base	*CTB*	*AC Base*	*CTB*
Surface	*AC-WC*	4	6	4	4	6	7
	AC-BC	-	-	6	6	14,5	8
Base	*AC-BC*	15	15	-	-	-	-
	AC *Base*	-	-	14,5	-	20	-
	CTB	-	-	-	15	-	15
Subbase	LPA Kelas A	20	20	20,5	15	20,5	15

Desain alternatif pelebaran dihasilkan karena tidak mampunya desain eksisting dan desain pelebaran Bina Marga 2017 menahan beban CESA5 sebesar $10{,}028 \times 10^6$ ESAL selama 20 tahun. Material yang digunakan oleh desain alternatif pelebaran ini adalah *AC Base* dan CTB dengan ketebalan terlampir pada Tabel 5.61. Sedangkan, perkerasan eksisting hanya menggunakan jenis material yang lebih sedikit dan tebal lapisan yang lebih tipis dibandingkan dengan desain struktur perkerasan yang telah dirancang oleh peneliti. Hal ini dikarenakan ruas jalan perkerasan eksisting semula adalah ruas jalan kabupaten yang ditingkatkan menjadi ruas jalan nasional. Maka dari itu, ketebalan material yang dulu digunakan hanya mampu menahan beban yang kecil dan dengan umur rencana yang pendek pula. Ilustrasi perbandingan masing-masing desain struktur perkerasan terlampir pada Gambar 5.19.

5.3.2 Tegangan regangan dan prediksi kerusakan perkerasan eksisting, desain *overlay* Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W Bina Marga 2017 dievaluasi menggunakan *KENPAVE* pendekatan elastik dan viskoelastik

Kemampuan struktur perkerasan yang dimaksud pada penelitian ini adalah apakah setiap desain struktur perkerasan mampu menahan besar beban sesuai dengan umur rencana yang telah ditentukan. Hal ini digambarkan dengan besarnya tegangan regangan yang dihasilkan oleh aplikasi *KENPAVE* yang kemudian diolah menjadi nilai kontrol (Nf, Nd *rutting*, dan Nd *deformation*).



Gambar 5. 20 Perbandingan Tebal Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif

Pada Tabel 5.61 terlampir rekapitulasi masing-masing nilai tegangan regangan desain struktur perkerasan dengan pendekatan elastik dan viskoelastik. Setelah didapatkan nilai tegangan dan regangan, perhitungan dilanjutkan dengan menghitung nilai kontrol kerusakan (Nf, Nd *rutting,* Nd *permanent deformation*). Maka dari nilai kontrol tersebut dapat dibandingkan apakah nilai kontrol kerusakan tersebut melebihi beban rencana yang menandakan bahwa kerusakan tersebut mampu menahan beban yang akan terjadi dalam rentang umur layan yang telah ditentukan.

Rekapitulasi analisis nilai kontrol kerusakan telah terlampir pada Tabel 5.62. Didapatkan bahwa perkerasan eksisting hanya mampu menahan $0{,}177 \times 10^6$ ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* $9{,}412 \times 10^6$ ESAL hingga kerusakan *permanent deformation*, dan yang terakhir $3{,}052 \times 10^6$ ESAL hingga kerusakan *rutting* pada pendekatan elastik. Sedangkan, pada pendekatan viskoelastik perkerasan mampu menahan beban melampaui beban lalu lintas yang direncanakan akan terjadi selama 20 tahun, hal ini dikarenakan pendekatan viskoelastik menggunakan *creep compliance* yang dihitung menyesuaikan material yang digunakan pada setiap perkerasan dan memperhitungkan waktu pada perhitungannya sehingga mendapatkan hasil yang lebih detail dan terkhusus. Namun walaupun pada pendekatan viskoelastik perkerasan eksisting dianggap mampu menahan beban rencana, pada pendekatan elastik perkerasan eksisting dinyatakan tidak mampu sehingga secara keseluruhan perkerasan eksisting dianggap gagal dalam menahan beban rencana sesuai umur layan. Dibutuhkan desain alternatif untuk memperbaiki kemampuan perkerasan eksisting. Maka dari itu, dikeluarkan opsi perhitungan ulang *overlay* dan pelebaran untuk memperbaiki perkerasan eksisting.

Kemudian, pada desain *overlay* berdasarkan Bina Marga 2017 dilakukan penambahan 2 cm dari pekerjaan *overlay* pada proyek sebelumnya menjadi total lapis tambah setebal 6 cm dengan material yang sama (*AC-WC*). Melalui evaluasi *KENPAVE,* didapatkan pada pendekatan elastik dan viskoelastik desain *overlay* mampu menahan beban rencana dengan umur layan melampaui jauh dari kebutuhan

yaitu desain *overlay* mampu menahan 161,4x10^{6}ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 757,1x10^6 ESAL hingga kerusakan*,* dan yang terakhir 79,09x10^{6}ESAL hingga kerusakan *permanent deformation* pada pendekatan elastik. Pada pendekatan viskoelastik, desain *overlay* mampu menahan 191,1x10^{6}ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 532,4x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting,* dan yang terakhir 4067x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation.* Sehingga, dapat disimpulkan desain *overlay* Bina Marga 2017 mampu dan memenuhi untuk menahan beban sesuai umur rencana.

Berdasarkan evaluasi dengan aplikasi *KENPAVE,* pada desain pelebaran Bina Marga 2017 yang menggunakan *AC Base* dan *CTB* secara keseluruhan dinilai tidak mampu menahan beban lalu lintas sesuai umur rencana yang telah ditentukan. Didapatkan bahwa desain pelebaran Bina Marga 2017 dengan *AC Base* hanya mampu menahan 0,192x10^6 ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 0,167x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation*, dan yang terakhir 3,482x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting* pada pendekatan elastik. Sedangkan, pada pendekatan viskoelastik perkerasan mampu menahan beban melampaui beban lalu lintas yang direncanakan akan terjadi selama 20 tahun. Sedangkan, desain pelebaran Bina Marga 2017 dengan *CTB* mampu menahan 9,445x10^6 ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation,* 60,72x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting*, dan yang terakhir 619,1x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation* pada pendekatan elastik. Pada pendekatan viskoelastik, desain pelebaran Bina Marga 2017 dengan *CTB* mampu menahan beban melampaui beban lalu lintas yang direncanakan akan terjadi selama 20 tahun. Dikarenakan kegagalan ini, dibutuhkan desain alternatif yang harus memenuhi kriteria desain pelebaran.

Desain alternatif pelebaran yang menggunakan *AC Base* dan CTB dengan pendekatan elastik dan viskoelastik dinilai mampu untuk menahan beban lalu lintas yang direncanakan. Desain alternatif *AC Base* mampu menahan 10,15x10^6 ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 48,39x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation,* dan yang terakhir 583,9x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting* pada

pendekatan elastik. Pada pendekatan viskoelastik, desain alternatif *AC Base* mampu menahan 167700x10^6 ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 4670000x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation,* dan yang terakhir 5265000x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting.*

Pada desain alternatif *CTB* menggunakan pendekatan elastik, perkerasan dinyatakan mampu menahan 10,64x10^6 ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 79,09x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation,* dan yang terakhir 1850x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting* pada pendekatan elastik. Pada pendekatan viskoelastik, desain alternatif *AC Base* mampu menahan 6887x10^6 ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue,* 3825x10^6 ESAL hingga kerusakan *permanent deformation,* dan yang terakhir 4670000x10^6 ESAL hingga kerusakan *rutting.*

Hal ini berbeda dengan penelitian Tolab, dkk (2023) bahwa kerusakan awal perkerasan ruas jalan yang terjadi adalah kerusakan *permanent deformation* kemudian diikuti dengan kerusakan *rutting* dan *fatigue cracking,* Sedangkan, kerusakan awal yang terjadi pada perhitungan desain perkerasan pada penelitian ini adalah kerusakan *rutting*. Namun, penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Pambudi & Fauziah (2021) bahwa kerusakan awal yang terjadi pada desain perkerasan yang mereka teliti adalah kerusakan *rutting*. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Satria (2022), penelitian yang hanya menghasilkan *output* kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation* ini didapatkan bahwa kerusakan *permanent deformation* terjadi lebih dahulu dibandingkan kerusakan *fatigue cracking.* Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mahmudin (2020) dengan metode Bina Marga 2017 dihasilkan bahwa kerusakan awal yang terjadi pada ruas jalan yang diteliti adalah kerusakan *rutting.*

Tabel 5. 61 Rekapitulasi Tegangan Regangan Struktur Perkerasan

Desain Perkerasan	Elastik						Viskoelastik					
	Fatigue		*Rutting*		*Permanent Deformation*		*Fatigue*		*Rutting*		*Permanent Deformation*	
	Tegangan (kPa)	Regangan (10^-6)	Tegangan (kPa)	Regangan (10^-6)	Tegangan (kPa)	Regangan (10^-6)	Tegangan (kPa)	Regangan (10^-6)	Tegangan (kPa)	Regangan (10^-6)	Tegangan (kPa)	Regangan (10^-6)
Eksisting	325,931	316,7	84,506	372,8	38,966	583,1	1663,356	14,64	6,790	17,17	5,250	57,70
Overlay	44,854	39,98	167,090	108,8	32,654	180,2	321,772	37,98	15,983	117,7	6,112	74,74
AC Base BM 17	433,562	309,2	88,759	362	50,302	712,7	1698,650	19,93	8,525	23,33	7,079	75,27
CTB BM 17	167,048	53,81	419,764	113,8	21,739	289,6	265,908	489,8	12,347	239,4	8,783	121,3
AC Base Alternatif	197,810	92,65	25,314	11,53	13,711	20,11	448,310	4,844	1,823	15,08	1,414	15,49
CTB Alternatif	238,461	91,36	295,1	89,12	18,742	251,7	1481,376	12,78	62,440	15,49	5,694	75,77

Tabel 5. 62 Rekapitulasi Analisis Nilai Kontrol Kerusakan

CESA20/LHR	Perkerasan	Pendekatan	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis	Keterangan
10E+06	Eksisting	Elastik	Nf	0,177E+06	*no*	Gagal
10E+06			Nd *rutting*	3,052E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	0,412E+06	*no*	
10E+06		Viskoelastik	Nf	440E+06	*yes*	
10E+06			Nd *rutting*	2945000E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	12950E+06	*yes*	
10E+06	BM 17 *Overlay*	Elastik	Nf	161,4E+06	*yes*	**Mampu**
10E+06			Nd *rutting*	757,1E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	79,09E+06	*yes*	
10E+06		Viskoelastik	Nf	191,1E+06	*yes*	
10E+06			Nd *rutting*	532,4E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	4067E+06	*yes*	
10E+06	BM 17 *AC Base*	Elastik	Nf	0,192E+06	*no*	Gagal
10E+06			Nd *rutting*	3,482E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	0,167E+06	*no*	
10E+06		Viskoelastik	Nf	1596E+06	*yes*	
10E+06			Nd *rutting*	746400E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	3940E+06	*yes*	
10E+06	BM 17 *CTB*	Elastik	Nf	60,72E+06	*yes*	Gagal
10E+06			Nd *rutting*	619,1E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	9,455E+06	*no*	
10E+06		Viskoelastik	Nf	82,75E+06	*yes*	
10E+06			Nd *rutting*	665000E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	465,3E+06	*yes*	
10E+06	Alternatif *AC Base*	Elastik	Nf	10,15E+06	*yes*	**Mampu**
10E+06			Nd *rutting*	583,9E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	48,39E+06	*yes*	
10E+06		Viskoelastik	Nf	167700E+06	*yes*	
10E+06			Nd *rutting*	5265000E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	4670000E+06	*yes*	
10E+06	Alternatif *CTB*	Elastik	Nf	10,64E+06	*yes*	**Mampu**
10E+06			Nd *rutting*	1850E+09	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	17,72E+06	*yes*	
10E+06		Viskoelastik	Nf	6887E+06	*yes*	
10E+06			Nd *rutting*	4670000E+06	*yes*	
10E+06			Nd *deformation*	3825E+06	*yes*	

Tabel 5. 63 Rekapitulasi Umur Layan

Jenis Perkerasan	Elastik				Viskoelastik			
	Prediksi Kerusakan			Umur Layan (tahun)	Prediksi Kerusakan			Umur Layan (tahun)
	Fatigue (tahun)	*Rutting* (tahun)	*Permanent Deformation* (tahun)		*Fatigue* (tahun)	*Rutting* (tahun)	*Permanent Deformation* (tahun)	
Eksisting	0,3	6	6	0,3	167	356	198	167
Overlay	72	115	54	54	77	105	164	77
AC Base BM 17	0,5	6	0,4	0,4	137	316	163	137
CTB BM 17	48	110	18	18	56	312	102	56
AC Base Alternatif	20	108	43	20	272	373	369	272
CTB Alternatif	21	142	34	21	180	369	163	163

5.3.3 Nilai umur layan dari struktur perkerasan eksisting, desain *overlay* Bina Marga 2017, dan desain alternatif pelebaran Ruas Jalan Siulak Deras-Letter W melalui pendekatan elastik dan viskoelastik

Setelah dilakukan perhitungan nilai kontrol kerusakan, dapat dilanjutkan dengan perhitungan umur sisa layan (*remaining life*) pada masing-masing kerusakan. Rekapitulasi umur sisa layan dalam tahun terlampir pada Tabel 5.63. Pada Tabel 5.63 terlampir bahwa perkerasan eksisting akan mengalami kerusakan *fatigue* dalam waktu kurang dari 1 tahun diikuti dengan kerusakan *permanent deformation* dan kerusakan *rutting* di tahun ke-6 sehingga dapat disimpulkan bahwa perkerasan eksisting memiliki nilai umur layan kurang dari 1 tahun. Pada penambahan tebal lapis tambah yaitu dengan total *AC-WC* setebal 6 cm, terlihat bahwa umur layan pada desain *overlay* yaitu 54 tahun melampaui jauh daripada umur layan yang telah direncanakan dibandingkan dengan umur layan perkerasan eksisting yang hanya memiliki lapisan *AC-WC* setebal 4 cm yaitu kurang dari 1 tahun. Hal ini terjadi dikarenakan perkerasan eksisting semula memiliki status jalan provinsi yang saat ini akan dinaikstatuskan menjadi jalan nasional. Oleh karena itu, perkerasan diharuskan menahan beban dengan status jalan nasional yang lebih besar dibandingkan dengan beban jalan provinsi yang pernah direncanakan.

Pada desain perkerasan Bina Marga 2017 dengan *AC Base,* dihasilkan bahwa akan terjadi kerusakan *fatigue* dan *permanent deformation* dalam kurun waktu kurang dari setahun dan kerusakan *rutting* pada tahun ke-6. Dapat disimpulkan bahwa umur layan desain perkerasan Bina Marga 2017 dengan material *AC Base* memiliki umur layan 0,4 tahun. Hal ini berbeda jauh dengan desain Bina Marga 2017 yang menggunakan material *CTB,* perkerasan akan mengalami kerusakan *fatigue* dan *rutting* dalam kurun waktu lebih dari 20 tahun namun mengalami kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-18. Dapat disimpulkan bahwa umur layan desain perkerasan Bina Marga 2017 menggunakan material CTB memiliki umur layan 18 tahun. Ini menunjukkan bahwa kedua perkerasan tidak mampu memenuhi umur layan rencana yang telah ditentukan. Pendekatan elastik menghasilkan umur sisa layan yang lebih kecil dibandingkan pendekatan viskoelastik, ini karena pendekatan viskoelastik menggunakan *creep compliance* yang dihitung menyesuaikan material yang digunakan pada setiap perkerasan dan memperhitungkan waktu pada perhitungannya sehingga mendapatkan hasil yang lebih detail dan terkhusus.

Pada desain alternatif *AC-Base* dilakukan penambahan tebal lapisan *AC-BC* dan *AC-WC* dengan desain Bina Marga 2017 yang menggunakan material *AC-Base*. Dilakukan penambahan sebesar 2 cm pada *AC-WC*, 8,5 cm pada *AC-BC,* dan 6,5 cm pada *AC-Base.* Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Arianto (2024) yang melakukan penambahan tebal *AC Base* pada alternatifnya yatu sebesar 6,5 cm. Kemudian, dengan pendekatan elastik kerusakan *fatigue cracking* akan terjadi terlebih dahulu di tahun ke-20 diikuti dengan kerusakan *permanent deformation* dan *rutting.* Begitu pula dengan pendekatan viskoelastik, perkerasan akan rusak pada umur layan lebih dari 20 tahun. Hal ini menandakan bahwa perkerasan mampu memenuhi umur layan yang telah ditentukan. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Arianto (2024), kerusakan yang terjadi berurutan dari *fatigue cracking, rutting,* kemudian *permanent deformation.*

Pada desain alternatif *CTB* dilakukan penambahan tebal *AC-WC* dan AC-BC dengan desain Bina Marga 2017 yang menggunakan material *CTB.* Dengan pendekatan

elastik, pada perkerasan terjadi kerusakan *fatigue* pada tahun ke-21 diikuti dengan kerusakan *permanent deformation* dan *rutting.* Begitu pula dengan pendekatan viskoelastik, perkerasan akan rusak pada umur layan lebih dari 20 tahun. Hal ini menandakan bahwa perkerasan mampu memenuhi umur layan yang telah ditentukan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan perbandingan efisiensi umur layan, nilai respons, dan ketebalan yang telah diperhitungkan, perkerasan eksisting dengan tebal *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 15 cm, dan LPA Kelas A 20 cm tidak mampu menahan beban yang akan terjadi dengan umur rencana yang telah ditentukan. Sehingga, dibutuhkan desain perkerasan alternatif. Berdasarkan perhitungan, dibutuhkan penambahan tebal lapis tambah (*overlay*) dan pelebaran. Hasil desain perkerasan alternatif yang dapat digunakan dan memenuhi adalah desain perkerasan *overlay* menggunakan Bina Marga 2017 dengan penambahan tebal lapis tambah *AC-WC* 6 cm, desain perkerasan alternatif pelebaran oleh *KENPAVE* dengan *AC Base* yang memiliki tebal lapisan *AC-WC* 6 cm, *AC-BC* 14,5 cm, *AC Base* 20 cm, dan LPA Kelas A 20,5 cm*,* dan desain perkerasan alternatif pelebaran oleh *KENPAVE* dengan *CTB* dengan tebal *AC-WC* 7 cm, *AC BC* 8 cm, *CTB 15* cm, dan LPA Kelas A 15 cm.
2. Perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban sesuai dengan umur layan yang direncakan, sehingga dibutuhkan alternatif untuk meningkatkan umur layan pada ruas jalan yang diteliti. Pada penelitian ini diberikan opsi *overlay* dan pelebaran sebagai alternatif perbaikan. Setelah dievaluasi menggunakan aplikasi *KENPAVE* melalui pendekatan elastik dan viskoelastik, tegangan dan regangan yang dihasilkan desain *overlay* Bina Marga 2017 mampu menahan beban rencana dengan umur layan melampaui jauh dari kebutuhan. Namun, berbeda dengan desain pelebaran *AC Base* dan *CTB,* tegangan dan regangan

pemodelan elastik tidak mampu menahan beban rencana dengan umur layan yang telah ditentukan. Maka dari itu, dibutuhkan desain alternatif pelebaran. Berdasarkan tergangan dan regangan yang dihasilkan melalui aplikasi *KENPAVE* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik desain alternatif pelebaran yang menggunakan *AC Base* dan *CTB* dengan pendekatan elastik dan viskoelastik dinilai mampu untuk menahan beban lalu lintas yang direncanakan.

3. Nilai umur layan pada perkerasan eksisting adalah pada pendekatan elastik adalah 3 bulan dan pada pendekatan viskoelastik adalah 167 tahun. Sedangkan, nilai umur layan pada desain perkerasan *overlay* dengan pendekatan elastik adalah 54 tahun dan pada pendekatan viskoelastik adalah 77 tahun. Desain alternatif perkerasan pelebaran dengan *AC Base* pada pendekatan elastik memiliki nilai umur layan 20 tahun dan pada pendekatan viskoelastik memiliki umur layan 272 tahun. Desain alternatif perkerasan pelebaran dengan *CTB* pada pendekatan elastik memiliki nilai umur layan 21 tahun dan pada pendekatan viskoelastik memiliki umur layan 163 tahun. Berdasarkan efisiensi umur layan perkerasan yang paling mendekati umur rencana yaitu 20 tahun, desain perekerasan yang paling efisien adalah desain alternatif perkerasan pelebaran menggunakan *AC Base* dengan umur layan 20 tahun pada kerusakan *fatigue* menggunakan pendekatan elastik.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, opsi pelebaran, dan penambahan tebal lapis tambah dapat dipertimbangkan untuk menambah umur layan perkerasan eksisting.

2. Opsi pelebaran dan penambahan tebal lapis tambah yang disarankan menggunakan material *AC Base* dan *CTB* untuk pelebaran dan *AC-WC* untuk penambahan lapis tambah dengan ketebalan masing-masing yang telah diperhitungkan pada analisis di atas.
3. Dengan mempertimbangkan beban pada Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W – Batas Sumatera Barat perkerasan *AC Base* lebih disarankan dibandingkan CTB. Meskipun CTB menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap beban lalu lintas dan kerusakan, AC Base memiliki umur layan yang sesuai dengan umur rencana sehingga lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Ardyansyah, R. C., & Wahyuni, A. D. (2022). Analysis of Road Widening Reviewed from The Service Level of Kedung Jajang - Ranuyoso, Lumajang. *Journal of World Conference, IV*.

Flexible Pavement Design Manual. (2018). Tallahassee, Florida: Office of Design, Pavement Management Section.

Hadi, Identifikasi Kerentanan Kinerja Perkerasan Jalan Terhadap Aktivitas *Overload* Kendaraan Menggunakan Program *KENPAVE*, 2023

Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022, November). Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan antara Campuran Superpave dan AC-WC menggunakan Permodelan Viskoelastik dan Elastik. *Teknisia, 27*.

Huang, Y. H. (2012). *Pavement Analysis and Design.* Michigan: Pearson Education, Inc.

Kosasih, D. (2003, Januari 1). Analisis Data Lendutan Perkerasan dengan Program Backcalc untuk Sistem Struktur 2-Lapisan. *Jurnal Teknik Sipil, 10*.

Lia, N., & Mahardi, P. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur menggunakan Aplikasi Kenpave. *Rekayasa Teknik Sipil, 04*.

Pambudi, R. A. (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. *Naskah Publikasi*.

Rahmawati, R., Suparma, L. B., & Utomo, S. H. (2022, Juli 2). Penentuan Nilai Modulus Elastisitas Perkerasan Lentur menggunakan Metode Perhitungan Balik. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*(Vol. 8 No. 2 (2022)), 159-172.

Satria, M. I. (2022). *Analisis Perbandingan Desain Mekanistik-EMpiris Struktur Perkerasan Lentur dengan Pemodelan Elastik dan Viskoelastik: Studi Kasus pada Ruas Jalan Milir-Sentolo.* Yogyakarta: dspace UII.

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*.

Tolab, L. L., Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022, Juli). Analisis Perbandingan Perkerasan AZ-WC Berbahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 menggunakan Metode Elastik Linear. *Proceeding Civil Engineering Research Forum, 2*.

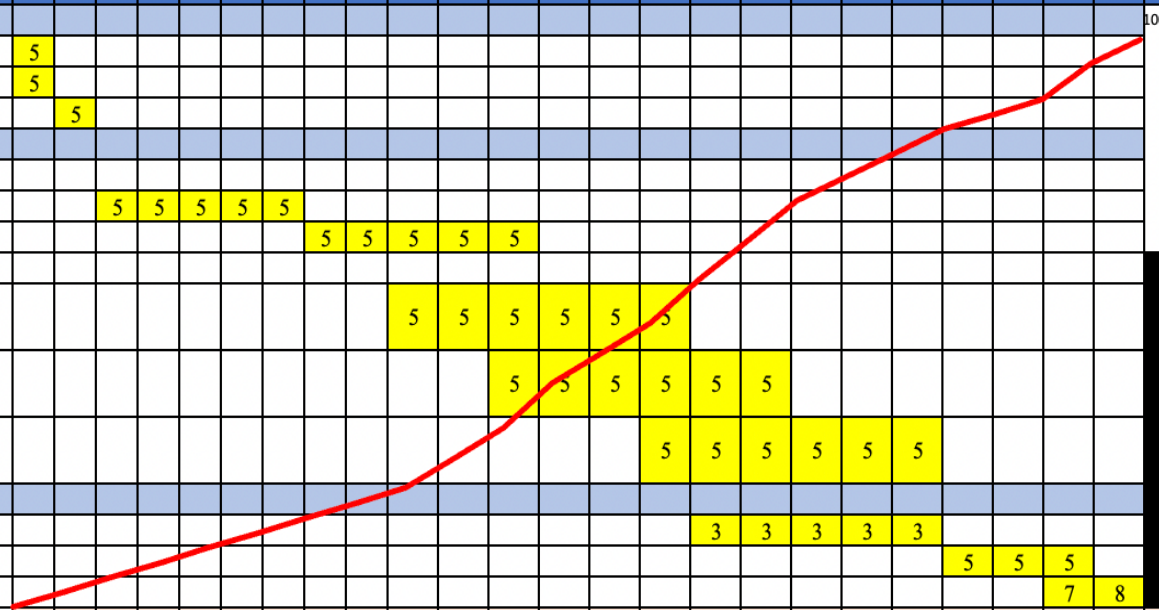
Zhang, R., Ren, T., Khan, M. A., Teng, Y., & Zheng, J. (2019). *Back-Calculation of Soil Modukus from PFWD Based on A Viscoelastic Model* (Vol. 2019). (V. G. Annamdas, Ed.) Hindawi.

(2018). *Using Falling Weight Deflectometer Data With Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume III: Guidelines for Deflection Testing, Analysis, and Interpretation.* Federal Highway Administration Research and Technology, Coordinating, Developing, and Delivering Highway Transportation Innovations. Washington DC: Federal Highway Administration.

LAMPIRAN

Lampiran 1. *Time Schedule* Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Jam Kerja	Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4				Bulan ke-5				Bulan ke-6				KET
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	
A	**Persiapan Data**																										
	1 Pengajuan Data Sekunder	5	5																								
	2 Pengunduhan Data Sekunder	5	5																								
	3 Pengolahan Data Sekunder	5		5																							
B	**Analisa dan Pembahasan**																										
	Analisis Bina Marga 2017																										
	Evaluasi Perkerasan Eksisting dengan Metode Bina Marga 2017	25			5	5	5	5	5																		
	Desain Alternatif menggunakan Metode Bina Marga 2017	25								5	5	5	5	5													
	Analisis *KENPAVE*																										
	Analisis Tegangan Regangan pada Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif menggunakan *KENPAVE*	30										5	5	5	5	5	5										
	Prediksi Kerusakan Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif Perkerasan	30												5	5	5	5	5	5								
	Nilai Sisa Perkerasan Eksisting dan Desain Alternatif Struktur Perkerasan	30															5	5	5	5	5	5					
C	**Penyusunan Laporan**																										
	Penyusunan Laporan TA	15																3	3	3	3	3					
	Penyusunan Jurnal Studi	15																					5	5	5		
	Penyusunan Dokumen Akhir	15																							7	8	
	Rencana Mingguan (Jam)	**185**	10	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	15	10	10	15	13	13	8	8	8	5	5	12	8	
	Jam Kerja Kumulatif (Jam)	**200**	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	85	95	105	120	133	146	154	162	170	175	180	192	200	



Lampiran 3. Nilai Lalu Lintas Harian Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat

N. 044 Siulak Deras/Letter W - Bts. Sumbar

LHR	:	9.986 kend.
LHR	:	9.633 smp
V	:	963 smp/jam
C	:	2.910 smp/jam
V/C	:	0,33
Level	:	A

GOL	Tuesday 12/Jul/2022 N	12/Jul/2022 O	Wednesday 13/Jul/2022 N	13/Jul/2022 O	Thursday 14/Jul/2022 N	14/Jul/2022 O	LHR (kend)	LHR (smp)	Keterangan	EMP
1	3.008	2.775	3.628	3.514	3.151	3.200	6.426	5.783	Sepeda motor, sekuter, sepeda kumbang & roda 3	0,90
2	1.069	955	155	162	135	155	877	877	Sedan, Jeep dan Wagon	1,00
3	79	102	881	903	841	900	1.236	1.236	Opelet, Suburban, Combi & Minibus	1,00
4	473	456	606	612	556	560	1.088	1.088	Pick Up, Micro truk	1,00
5a	3	2	3	3	4	3	6	11	Bus Kecil	1,80
5b	-	1	-	-	1	2	2	4	Bus Besar	1,80
6a	15	13	18	12	31	15	35	63	Truk Ringan 2 sumbu 4 roda	1,80
6b	122	163	145	176	140	161	303	545	Truk 2 Sumbu 6 roda	1,80
7a	4	-	6	-	10	2	8	22	Truk 3 Sumbu 8-10 roda	2,70
7b	-	-	-	-	-	-	-	-	Truk Gandeng	2,70
7c	-	-	-	-	-	-	-	-	Truk Semi trailer	2,70
8	3	2	-	-	6	2	5	4	Kendaraan Tidak bermotor	0,80
	4.776	4.469	5.442	5.382	4.875	5.000	9.986	9.633	*N.044 _ Siulak Deras/Letter W - Bts. Sumbar*	

Ruas : N.044 _ Siulak Deras/Letter W - Bts. Sumbar
Jenis Survei : TRAFFIC 3X24
Balai : JAMBI
Posisi Kamera : Opposite
Koordinat : 1.7554S - 101.3112E
STA : 24+560

FORMULIR PERHITUNGAN SURVEI PENCACAHAN LALU LINTAS

GOLONGAN	1		2		3		4		5a		5b		6a		6b		7a		7b		7c		8		KET.
WAKTU	Sepeda motor, sekuter, sepeda kumbang & roda 3		Sedan, Jeep dan Wagon		Opelet, Pick up opelet, suburban, combi & minibus		Pick up, micro truk dan Mobil hantaran		Bus Kecil		Bus Besar		Truk Ringan 2 sumbu 4 roda		Truk 2 Sumbu 6 roda		Truk 3 Sumbu 8-10 roda		Truk Gandeng		Truk Semi trailer		Kendaraan Tidak bermotor		
	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	(Kl)	(Ka)	
12 Jul 22	3.008	2.775	1.069	955	79	102	473	456	3	2	0	1	15	13	122	163	4	0	0	0	0	0	3	2	
13 Jul 22	3.628	3.514	155	162	881	903	606	612	3	3	0	0	18	12	145	176	6	0	0	0	0	0	0	0	
14 Jul 22	3.151	3.200	135	155	841	900	556	560	4	3	1	2	31	15	140	161	10	2	0	0	0	0	6	2	

Lampiran 4. Nilai *CBR* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W- Batas Sumatera Barat

No	No Ruas	Ruas Jalan	STA	% CBR
1	44	SIULAK DERAS/LETTER W - BTS SUMBAR	4+600	6,89

Lampiran 5. Hasil *PIT Test* Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W-Batas Sumatera Barat

No	STA	No Ruas	Nama Ruas	Lapis (*Layer*) 1		Lapis (*Layer*) 2	
				Jenis	Tebal (Cm)	Jenis	Tebal (Cm)
1	4+600	44	SIULAK DERAS/LETTER W - BTS SUMBAR	Aspal	15	Agregat	20

Lampiran 6.Perhitungan Data Lendutan Ruas Jalan Siulak Deras/Letter W- Batas Sumatera Barat

Sta	Beban (kN)	D_0	D_{200}	d3	d4	d5	d6	d7	Temp Aspal	Tebal Aspal (Cm)	D_0 Normal	D_{200} Normal	$D_0 - D_{200}$	WAMPT/ Tlap	Faktor Koreksi Temp D_0	Faktor Koreksi Temp $D_0 - D_{200}$	D_0 Terkoreksi Temp	$D_0 - D_{200}$ Terkoreksi Temp	D_0 Konversi BB
(2)	(3)	(4)	(5)						(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
											(40/(3))x(4)	(40/(3))x(5)	(8) - (9)	41/(6)	(Tabel 6-2)	(Tabel 6-3)	(12) x (8)	(13) x (10)	tor Tabel 6-7) x (14)
17.3	42.4	402.6	314.8						29.4	20	0.380	0.297	0.083	1.400	1.15	1.36	0.437	0.113	0.563
17.4	42.41	429.8	320.9						29.4	20	0.405	0.303	0.103	1.400	1.15	1.36	0.466	0.140	0.601
17.5	42.4	684.0	517.2						29.4	20	0.645	0.488	0.157	1.400	1.15	1.36	0.742	0.214	0.957
17.7	42.4	639.4	486.4						29.4	20	0.604	0.459	0.145	1.400	1.15	1.36	0.695	0.197	0.896
																Rata-Rata	0.585	0.166	0.754
																Stddev	0.156	0.048	0.201
																Fk Keseragaman	26.617	28.676	26.617
																dwakil	0.841	0.24	1.08

Lampiran 7. Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Elastik

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	0.06273	550.000	1088.837	808.729	1053.988
	(STRAIN)		-4.400E-05	3.125E-04	-4.400E-05	2.681E-04
1	18.99970	0.05714	84.506	84.915	-498.765	-408.720
	(STRAIN)		3.728E-04	3.733E-04	-3.077E-04	-3.077E-04
1	19.00000	0.05714	84.505	84.914	-498.789	-408.740
	(STRAIN)		3.728E-04	3.733E-04	-3.077E-04	-3.077E-04
1	39.00000	0.04706	36.139	36.705	-28.204	-21.900
	(STRAIN)		4.278E-04	4.339E-04	-2.671E-04	-2.671E-04
1	39.00030	0.04706	36.139	37.193	2.944	4.960
	(STRAIN)		5.351E-04	5.606E-04	-2.671E-04	-2.671E-04
2	0.00000	0.06177	550.000	751.088	388.473	673.924
	(STRAIN)		-1.650E-04	2.965E-04	-1.650E-04	1.983E-04
2	18.99970	0.05895	80.091	80.091	-478.329	-325.917
	(STRAIN)		3.348E-04	3.348E-04	-3.167E-04	-3.167E-04
2	19.00000	0.05895	80.090	80.090	-478.350	-325.931
	(STRAIN)		3.348E-04	3.348E-04	-3.167E-04	-3.167E-04
2	39.00000	0.04863	38.573	38.652	-30.215	-24.044
	(STRAIN)		4.603E-04	4.611E-04	-2.826E-04	-2.826E-04
2	39.00030	0.04863	38.572	38.724	3.013	5.655
	(STRAIN)		5.767E-04	5.804E-04	-2.826E-04	-2.826E-04
3	0.00000	0.06110	0.000	652.348	276.442	566.031
	(STRAIN)		-1.917E-04	2.867E-04	-1.917E-04	1.768E-04
3	18.99970	0.05911	75.956	75.956	-456.080	-274.894
	(STRAIN)		3.070E-04	3.070E-04	-3.138E-04	-3.138E-04
3	19.00000	0.05911	75.955	75.955	-456.099	-274.904
	(STRAIN)		3.070E-04	3.070E-04	-3.138E-04	-3.138E-04
3	39.00000	0.04891	38.966	38.966	-30.547	-24.308
	(STRAIN)		4.653E-04	4.653E-04	-2.854E-04	-2.854E-04
3	39.00030	0.04891	38.966	38.966	3.026	5.814
	(STRAIN)		5.831E-04	5.831E-04	-2.854E-04	-2.854E-04

Lampiran 8. Hasil Analisis *KENLAYER* Perkerasan Eksisting dengan Pendekatan Viskoelastik

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	0.01809	550.000	1076.205	84.818	1053.915
	(STRAIN)		-1.273E-05	1.099E-05	-1.273E-05	1.023E-05
1	18.99900	0.01823	6.790	6.791	-1879.024	-1709.122
	(STRAIN)		1.717E-05	1.717E-05	-1.426E-05	-1.426E-05
1	19.00000	0.01823	6.790	6.791	-1879.268	-1709.344
	(STRAIN)		1.717E-05	1.717E-05	-1.426E-05	-1.426E-05
1	39.00000	0.01731	5.089	5.107	-1.264	-1.048
	(STRAIN)		4.714E-05	4.733E-05	-2.148E-05	-2.148E-05
1	39.00100	0.01731	5.089	5.124	1.907	1.976
	(STRAIN)		5.543E-05	5.628E-05	-2.147E-05	-2.147E-05
2	0.00000	0.01823	550.000	1138.345	92.978	1116.529
	(STRAIN)		-1.322E-05	1.155E-05	-1.322E-05	1.075E-05
2	18.99900	0.01837	6.828	6.828	-1892.451	-1663.356
	(STRAIN)		1.691E-05	1.691E-05	-1.464E-05	-1.464E-05
2	19.00000	0.01837	6.828	6.828	-1892.681	-1663.550
	(STRAIN)		1.691E-05	1.691E-05	-1.464E-05	-1.464E-05
2	39.00000	0.01742	5.207	5.210	-1.330	-1.147
	(STRAIN)		4.858E-05	4.861E-05	-2.202E-05	-2.202E-05
2	39.00100	0.01742	5.207	5.213	1.927	2.004
	(STRAIN)		5.726E-05	5.739E-05	-2.201E-05	-2.201E-05
3	0.00000	0.01825	0.000	1107.152	79.255	1086.111
	(STRAIN)		-1.340E-05	1.091E-05	-1.340E-05	1.040E-05
3	18.99900	0.01840	6.795	6.795	-1877.383	-1616.823
	(STRAIN)		1.649E-05	1.649E-05	-1.462E-05	-1.462E-05
3	19.00000	0.01840	6.794	6.794	-1877.611	-1617.005
	(STRAIN)		1.649E-05	1.649E-05	-1.462E-05	-1.462E-05
3	39.00000	0.01746	5.250	5.250	-1.331	-1.153
	(STRAIN)		4.896E-05	4.896E-05	-2.212E-05	-2.212E-05
3	39.00100	0.01746	5.250	5.250	1.948	2.027
	(STRAIN)		5.770E-05	5.770E-05	-2.212E-05	-2.212E-05

Lampiran 9. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain *Overlay* Bina Marga 2017 dengan Pendekatan Elastik

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	0.01847	550.000	202.266	153.633	198.996
	(STRAIN)		-6.247E-06	5.565E-05	-6.246E-06	5.149E-05
1	20.99970	0.01846	167.090	174.028	39.577	44.854
	(STRAIN)		1.088E-04	1.169E-04	-3.998E-05	-3.998E-05
1	21.00000	0.01846	167.086	174.024	39.578	44.854
	(STRAIN)		1.088E-04	1.169E-04	-3.998E-05	-3.998E-05
1	41.00000	0.01693	30.511	30.620	-168.731	-139.219
	(STRAIN)		8.641E-05	8.650E-05	-8.170E-05	-8.170E-05
1	41.00030	0.01693	30.511	31.284	4.797	6.609
	(STRAIN)		1.669E-04	1.743E-04	-8.170E-05	-8.170E-05
2	0.00000	0.01924	550.000	220.811	166.229	215.542
	(STRAIN)		-7.557E-06	6.191E-05	-7.557E-06	5.520E-05
2	20.99970	0.01891	136.774	137.700	32.866	62.618
	(STRAIN)		8.184E-05	8.292E-05	-3.938E-05	-3.938E-05
2	21.00000	0.01891	136.772	137.698	32.865	62.616
	(STRAIN)		8.184E-05	8.292E-05	-3.938E-05	-3.938E-05
2	41.00000	0.01743	32.385	32.399	-180.474	-150.980
	(STRAIN)		9.274E-05	9.275E-05	-8.686E-05	-8.686E-05
2	41.00030	0.01743	32.385	32.487	4.916	7.389
	(STRAIN)		1.787E-04	1.797E-04	-8.686E-05	-8.686E-05
3	0.00000	0.01812	0.000	165.096	104.747	161.542
	(STRAIN)		-2.355E-05	5.325E-05	-2.355E-05	4.873E-05
3	20.99970	0.01894	119.352	119.352	29.047	67.582
	(STRAIN)		6.725E-05	6.725E-05	-3.811E-05	-3.811E-05
3	21.00000	0.01894	119.350	119.350	29.046	67.579
	(STRAIN)		6.725E-05	6.725E-05	-3.810E-05	-3.810E-05
3	41.00000	0.01752	32.654	32.654	-182.203	-152.046
	(STRAIN)		9.353E-05	9.353E-05	-8.776E-05	-8.776E-05
3	41.00030	0.01752	32.654	32.654	4.936	7.569
	(STRAIN)		1.802E-04	1.802E-04	-8.776E-05	-8.776E-05

Lampiran 10. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *AC Base* dengan Pendekatan Elastik

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	0.03797	550.000	809.596	799.126	807.657
	(STRAIN)		1.506E-04	1.517E-04	1.384E-04	1.383E-04
1	40.49970	0.03086	23.796	23.935	-212.489	-183.433
	(STRAIN)		1.138E-04	1.139E-04	-9.293E-05	-9.293E-05
1	40.50000	0.03086	23.796	23.935	-212.494	-183.437
	(STRAIN)		1.138E-04	1.139E-04	-9.293E-05	-9.293E-05
1	61.00000	0.02769	13.045	13.157	-13.324	-11.705
	(STRAIN)		1.451E-04	1.461E-04	-9.221E-05	-9.221E-05
1	61.00030	0.02769	13.044	13.286	1.141	1.544
	(STRAIN)		1.955E-04	2.013E-04	-9.221E-05	-9.221E-05
2	0.00000	0.03565	550.000	458.232	388.475	428.593
	(STRAIN)		3.068E-05	1.195E-04	3.068E-05	8.174E-05
2	40.49970	0.03147	25.161	25.180	-225.688	-196.671
	(STRAIN)		1.213E-04	1.213E-04	-9.818E-05	-9.818E-05
2	40.50000	0.03147	25.161	25.179	-225.693	-196.676
	(STRAIN)		1.213E-04	1.213E-04	-9.818E-05	-9.818E-05
2	61.00000	0.02811	13.616	13.634	-14.017	-12.720
	(STRAIN)		1.531E-04	1.533E-04	-9.558E-05	-9.558E-05
2	61.00030	0.02811	13.616	13.655	1.114	1.565
	(STRAIN)		2.065E-04	2.075E-04	-9.557E-05	-9.557E-05
3	0.00000	0.03478	0.000	361.724	276.441	334.114
	(STRAIN)		-1.721E-06	1.068E-04	-1.722E-06	7.168E-05
3	40.49970	0.03158	25.314	25.314	-227.495	-197.810
	(STRAIN)		1.221E-04	1.221E-04	-9.906E-05	-9.906E-05
3	40.50000	0.03158	25.313	25.313	-227.501	-197.814
	(STRAIN)		1.221E-04	1.221E-04	-9.906E-05	-9.906E-05
3	61.00000	0.02819	13.711	13.711	-14.135	-12.897
	(STRAIN)		1.545E-04	1.545E-04	-9.613E-05	-9.613E-05
3	61.00030	0.02819	13.711	13.711	1.108	1.569
	(STRAIN)		2.084E-04	2.084E-04	-9.613E-05	-9.613E-05

‘

Lampiran 11. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *AC Base* dengan Pendekatan Viskoelastik

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	0.00938	550.000	352.334	57.335	348.476
	(STRAIN)		-4.029E-06	3.636E-06	-4.638E-06	3.069E-06
1	40.49970	0.00940	1.786	1.788	-460.912	-429.692
	(STRAIN)		5.724E-06	5.726E-06	-4.622E-06	-4.622E-06
1	40.50000	0.00940	1.786	1.788	-460.921	-429.699
	(STRAIN)		5.724E-06	5.726E-06	-4.622E-06	-4.622E-06
1	61.00000	0.00917	1.420	1.422	-0.508	-0.459
	(STRAIN)		1.172E-05	1.174E-05	-5.636E-06	-5.636E-06
1	61.00030	0.00917	1.420	1.426	0.563	0.576
	(STRAIN)		1.508E-05	1.522E-05	-5.636E-06	-5.636E-06
2	0.00000	0.00940	550.000	373.161	74.508	369.656
	(STRAIN)		-3.881E-06	3.410E-06	-3.881E-06	3.248E-06
2	40.49970	0.00941	1.823	1.824	-476.227	-446.884
	(STRAIN)		5.962E-06	5.962E-06	-4.777E-06	-4.777E-06
2	40.50000	0.00941	1.823	1.824	-476.235	-446.893
	(STRAIN)		5.962E-06	5.962E-06	-4.777E-06	-4.777E-06
2	61.00000	0.00917	1.434	1.434	-0.532	-0.494
	(STRAIN)		1.195E-05	1.195E-05	-5.738E-06	-5.738E-06
2	61.00030	0.00917	1.434	1.435	0.559	0.572
	(STRAIN)		1.541E-05	1.543E-05	-5.738E-06	-5.738E-06
3	0.00000	0.00920	0.000	383.589	79.688	378.645
	(STRAIN)		-3.732E-06	3.697E-06	-3.732E-06	3.367E-06
3	40.49970	0.00919	1.807	1.807	-477.910	-448.310
	(STRAIN)		6.047E-06	6.047E-06	-4.844E-06	-4.844E-06
3	40.50000	0.00919	1.807	1.807	-477.919	-448.317
	(STRAIN)		6.047E-06	6.047E-06	-4.845E-06	-4.845E-06
3	61.00000	0.00895	1.414	1.414	-0.564	-0.529
	(STRAIN)		1.198E-05	1.198E-05	-5.828E-06	-5.828E-06
3	61.00030	0.00895	1.414	1.414	0.532	0.545
	(STRAIN)		1.549E-05	1.549E-05	-5.828E-06	-5.828E-06

Lampiran 12. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *CTB* dengan Pendekatan Elastik

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	0,03923	550,000	561,767	549,211	550,309
	(STRAIN)		9,398E-05	1,109E-04	9,489E-05	1,541E-05
1	14,99970	0,03622	295,100	309,759	217,256	238,461
	(STRAIN)		8,912E-05	1,062E-04	-1,693E-06	9,136E-05
1	15,00000	0,03622	295,091	309,754	217,262	238,466
	(STRAIN)		8,911E-05	1,062E-04	-1,688E-06	1,542E-05
1	45,00000	0,03306	17,764	17,915	-13,820	-11,476
	(STRAIN)		1,771E-04	1,785E-04	-1,072E-04	-1,072E-04
1	45,00030	0,03306	17,764	18,090	3,604	4,207
	(STRAIN)		2,350E-04	2,429E-04	-1,072E-04	-1,072E-04
2	0,00000	0,03815	550,000	611,268	556,294	603,418
	(STRAIN)		6,402E-05	1,340E-04	6,402E-05	1,240E-04
2	14,99970	0,03687	180,358	227,045	132,685	176,448
	(STRAIN)		3,169E-05	8,616E-05	-2,393E-05	2,713E-05
2	15,00000	0,03687	180,354	227,045	132,680	176,451
	(STRAIN)		3,169E-05	8,616E-05	-2,393E-05	2,714E-05
2	45,00000	0,03368	18,603	18,626	-14,675	-12,583
	(STRAIN)		1,876E-04	1,878E-04	-1,119E-04	-1,119E-04
2	45,00030	0,03368	18,603	18,653	3,654	4,392
	(STRAIN)		2,493E-04	2,505E-04	-1,119E-04	-1,119E-04
3	0,00000	0,03583	0,000	154,876	1,415	101,302
	(STRAIN)		-9,187E-05	1,034E-04	-9,187E-05	3,526E-05
3	14,99970	0,03692	115,321	148,335	114,473	139,782
	(STRAIN)		3,450E-07	3,886E-05	-6,452E-07	2,888E-05
3	15,00000	0,03692	115,321	148,325	114,472	139,785
	(STRAIN)		3,476E-07	3,885E-05	-6,433E-07	2,889E-05
3	45,00000	0,03378	18,742	18,742	-14,826	-12,761
	(STRAIN)		1,893E-04	1,893E-04	-1,128E-04	-1,128E-04
3	45,00030	0,03378	18,742	18,742	3,658	4,427
	(STRAIN)		2,517E-04	2,517E-04	-1,128E-04	-1,128E-04

Lampiran 13. Hasil Analisis *KENLAYER* Desain Alternatif Perkerasan Pelebaran menggunakan *CTB* dengan Pendekatan Viskoelastik

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	0.01884	550.000	1440.895	148.505	1394.692
	(STRAIN)		-1.551E-05	1.369E-05	-1.665E-05	1.157E-05
1	14.99970	0.01894	62.440	62.740	-1817.303	-1634.237
	(STRAIN)		1.549E-05	1.552E-05	-1.274E-05	-1.267E-05
1	15.00000	0.01894	62.438	62.737	-1817.401	-1634.329
	(STRAIN)		1.549E-05	1.552E-05	-1.274E-05	-1.267E-05
1	45.00000	0.01792	5.502	5.527	-4.063	-3.662
	(STRAIN)		5.465E-05	5.487E-05	-3.144E-05	-3.144E-05
1	45.00030	0.01792	5.502	5.556	1.201	1.305
	(STRAIN)		7.248E-05	7.380E-05	-3.144E-05	-3.144E-05
2	0.00000	0.01902	550.000	1535.166	174.702	1482.812
	(STRAIN)		-1.566E-05	1.359E-05	-1.566E-05	1.238E-05
2	14.99970	0.01909	49.708	49.535	-1780.513	-1481.376
	(STRAIN)		1.421E-05	1.445E-05	-1.315E-05	-1.278E-05
2	15.00000	0.01909	49.707	49.534	-1780.606	-1481.453
	(STRAIN)		1.421E-05	1.445E-05	-1.315E-05	-1.278E-05
2	45.00000	0.01805	5.639	5.642	-4.232	-3.910
	(STRAIN)		5.658E-05	5.661E-05	-3.226E-05	-3.226E-05
2	45.00030	0.01805	5.639	5.647	1.194	1.307
	(STRAIN)		7.516E-05	7.536E-05	-3.226E-05	-3.226E-05
3	0.00000	0.01913	0.000	1480.484	152.792	1428.010
	(STRAIN)		-1.566E-05	1.366E-05	-1.566E-05	1.231E-05
3	14.99970	0.01920	41.735	41.677	-1730.165	-1369.656
	(STRAIN)		1.322E-05	1.342E-05	-1.295E-05	-1.264E-05
3	15.00000	0.01920	41.734	41.676	-1730.254	-1369.722
	(STRAIN)		1.322E-05	1.343E-05	-1.295E-05	-1.264E-05
3	45.00000	0.01816	5.695	5.695	-4.245	-3.936
	(STRAIN)		5.705E-05	5.705E-05	-3.241E-05	-3.241E-05
3	45.00030	0.01816	5.694	5.694	1.218	1.334
	(STRAIN)		7.577E-05	7.577E-05	-3.241E-05	-3.241E-05