

TUGAS AKHIR

**EVALUASI DAN USULAN ALTERNATIF DESAIN
STRUKTUR PERKERASAN KAKU PADA RUAS
JALAN CIPATUJAH-KALAPAGENEP-
PANGANDARAN
(*EVALUATION AND ALTERNATIVE SUGGESTION OF
RIGID PAVEMENT STRUCTURE DESIGN ON THE
ROAD CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN*)**

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



**HERJUNO JATI KO
19511232**

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

TUGAS AKHIR

EVALUASI DAN USULAN ALTERNATIF DESAIN STRUKTUR PERKERASAN KAKU PADA RUAS JALAN CIPATUJAH-KALAPAGENEP- PANGANDARAN (EVALUATION AND ALTERNATIVE SUGGESTION OF RIGID PAVEMENT STRUCTURE DESIGN ON THE ROAD CIPATUJAH-KALAPAGENEP-PANGANDARAN)

Disusun oleh

Herjuno Jatiko
19511232

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

Diuji pada tanggal
29 Agustus 2024
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

ftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
K: 955110103

Penguji I

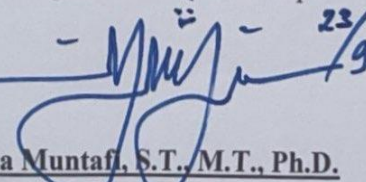
Prayogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.
NIK: 205111303

Penguji II

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T
NIK: 215111307



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110401

23/9 2024

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 21 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10.000', 'METEKA', 'TEMPEL', and the alphanumeric code '52E0AJX007361215'.

Herjuno Jatiko

(19511232)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi dan Usulan Alternatif Desain Struktur Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran*. 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 yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terimakasih atas nasihat, dorongan, serta bimbingan yang telah diberikan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir,
2. Bapak Prayogo Afang Prayitno, 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 Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Purwono dan Ibu Yennie Indah Purwani selaku orang tua penulis yang senantiasa memberi doa, kasih sayang, dan semangat hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini,
5. Nofaliya Anggota Utami selaku pihak yang selalu menemani dengan tulus dalam suka maupun duka dan terima kasih selalu memberikan semangat, dukungan, serta dorongan yang tiada hentinya.

6. Sahabat-sahabat seperjuangan Artha Putra yang selalu membantu dan saling menyemangati saya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Tegar Fadhillah, Haris Ahmad, Sallya Shabrina, dan Rini Sulistiawati yang telah menemani selalu dari awal kuliah sampai dengan di titik ini.
8. Teman-teman seperbimbingan yang selalu memberikan masukan dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini.

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 demi penyempurnaan pada masa yang akan datang.

Yogyakarta, 14 Agustus 2024

Penulis,

Herjuno Jatiko

19511232

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga	5
2.3 Evaluasi Struktur Perkerasan dengan <i>Software KENPAVE</i>	6
2.4 Analisis Perbandingan Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur	7
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Desain Tebal Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017	13
3.1.1 Desain Fondasi Perkerasan	20
3.1.1.1 Desain Fondasi Perkerasan Lentur	20
3.1.1.2 Desain Fondasi Perkerasan Kaku	20
3.1.2 Struktur Perkerasan	22
3.1.3 Desain Perkerasan	23
3.2 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris	24

3.2.1 Permodelan Lapis Perkerasan	26
3.3 <i>Software KENPAVE</i>	27
3.3.1 <i>Data Path</i>	28
3.3.2 <i>File Name</i>	28
3.3.3 <i>Help</i>	28
3.3.4 <i>LAYERINP</i> atau <i>SLABINP</i>	29
3.3.5 <i>KENLAYER</i> atau <i>KENSLABS</i>	29
3.4 Program <i>KENLAYER</i>	29
3.4.1 <i>File</i>	30
3.4.2 <i>General</i>	30
3.4.3 <i>Zcoord</i>	30
3.4.4 <i>Layer</i>	31
3.4.5 <i>NBOUND</i>	32
3.4.6 <i>Modul</i>	32
3.4.7 <i>Load</i>	33
3.5 Program <i>KENSLABS</i>	33
3.4.1 <i>File</i>	35
3.4.2 <i>General</i>	35
3.4.1 <i>Slab</i>	35
3.4.1 <i>Uniform</i>	36
3.4.1 <i>Optional</i>	37
3.4.1 <i>Foundation</i>	37
3.6 Analisis Kerusakan Perkerasan	38
3.6.1 <i>Fatigue Cracking</i>	38
3.6.2 <i>Rutting</i>	39
3.6.3 <i>Permanent Deformation</i>	39
3.7 Nilai Umur Sisa Layan	39
3.8 <i>Elastic Layer</i>	40
BAB IV METODE PENELITIAN	41
4.1 Pengumpulan Data	41
4.2 Analisis Data	41

4.3 Lokasi Studi Kasus	42
4.4 Tahapan Desain Struktur Perkerasan Bina Marga 2017	43
4.5 Prosedur Metode <i>KENPAVE-KENLAYER</i>	43
4.6 Prosedur Metode <i>KENPAVE-KENSLABS</i>	44
4.7 Bagan Alir Penelitian	45
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Perhitungan Tebal Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017	47
5.1.1 Data Penelitian	47
5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisiting	47
5.1.3 Kondisi Ruas Jalan	47
5.1.4 Data Lalu Lintas	48
5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas	48
5.1.6 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2017	54
5.1.6.1 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Lentur	55
5.1.6.2 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Kaku	57
5.2 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan dengan <i>KENPAVE-KENLAYER</i>	63
5.2.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan <i>KENPAVE-KENLAYER</i>	64
5.3 Evaluasi Desain Tebal Struktur Perkerasan Lentur Bina Marga 2017 dengan <i>KENPAVE-KENLAYER</i>	71
5.4 Evaluasi Desain Alternatif Tebal Struktur Perkerasan Lentur Bina Marga 2017 dengan <i>KENPAVE-KENLAYER</i>	74
5.5 Evaluasi Alternatif Tebal Struktur Perkerasan Kaku dengan <i>KENPAVE-KENSLABS</i>	77
5.5.1 Analisis Data Beban Lalu Lintas	78
5.5.2 Analisis Data Karakteristik Material	78
5.5.3 Analisis Data Konstruksi	81
5.5.3.1 Input Data	81
5.5.4 <i>Output</i> Analisis Evaluasi Perkerasan Kaku Menggunakan <i>Software KENPAVE-KENSLABS</i>	88
5.6 Pembahasan	88

5.6.1 Desain Struktur Perkerasan pada Ruas Jalan Cipatujah- Kalapagenep-Pangandaran dengan Metode Bina Marga 2017	89
5.6.2 Tegangan dan Regangan yang Terjadi pada Struktur Perkerasan Lentur Dengan Program <i>KENPAVE-KENLAYER</i>	91
5.6.3 Maksimum <i>Stress</i> dan Maksimum <i>Deflection</i> yang Terjadi pada Struktur Perkerasan Kaku dengan Program <i>KENPAVE- KENSLAB</i>	94
5.6.4 Perbandingan Umur Layan Perkerasan Eksisting, Perkerasan Lentur, dan Perkerasan Kaku	96
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	99
6.1 Kesimpulan	99
6.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Sistem Lapis Banyak	25
Gambar 3.2	Tampilan Awal Program <i>KENPAVE</i>	28
Gambar 3.3	Main Menu of Layerinp	29
Gambar 3.4	Tampilan Layar <i>General</i>	30
Gambar 3.5	Jendela Menu <i>Zcoord</i>	31
Gambar 3.6	Tampilan Jendela <i>Layer</i>	31
Gambar 3.7	Tampilan Jendela <i>Interface</i>	32
Gambar 3.8	Tampilan Jendela <i>Module</i>	32
Gambar 3.9	Tampilan Jendela Load	33
Gambar 3.10	Tampilan Jendela <i>General</i>	35
Gambar 3.11	Tampilan Jendela <i>Slab</i>	36
Gambar 3.12	Tampilan Jendela <i>Uniform</i>	36
Gambar 3.13	Tampilan Jendela <i>Optional</i>	37
Gambar 3.14	Tampilan Jendela <i>Foundation</i>	38
Gambar 4.1	Peta Ruas Jalan Cipatujuh – Kalapagenep – Pangandaran	42
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	46
Gambar 5.1	Tebal Perkerasan <i>CTB</i> Setiap Lapis	56
Gambar 5.2	Detail Tie-bar (Batang Pengikat) Sambungan Memanjang	60
Gambar 5.3	Geometri Sambungan Memanjang (Tie-bar) dan susut Melintang (Dowel) Perkerasan BBTT/JPCP	61
Gambar 5.4	Detail <i>Tie-bar</i> (Batang Pengikat) Sambungan Memanjang	62
Gambar 5.5	Detail <i>Dowel</i> (Batang Ruji) Sambungan Susut Melintang	63
Gambar 5.6	Letak Titik Tinjauan Kerusakan	66
Gambar 5.7	Sumbu Standar	67
Gambar 5.8	Letak Titik Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda	68
Gambar 5.9	Grafik Remaining Life Alternatif Struktur Perkerasan dengan <i>CTB</i>	77
Gambar 5.10	Tampilan pada <i>Menu SLABSINP</i>	81

Gambar 5.11 Tampilan Data Input Menu <i>General</i>	83
Gambar 5.12 Perbandingan Tebal Desain Perkerasan	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan Bina Marga	9
Tabel 2.2	Perbandingan Penelitian Perkerasan dengan Menggunakan <i>Software KENPAVE</i>	11
Tabel 3.1	Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	13
Tabel 3.2	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain	15
Tabel 3.3	Faktor Distribusi Lajur (DL)	16
Tabel 3.4	Nilai <i>VDF</i> Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga	17
Tabel 3.5	Nilai <i>VDF</i> Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan	18
Tabel 3. 6	Desain Fondasi Jalan Minimum	21
Tabel 3.7	Pemilihan Jenis Perkerasan	22
Tabel 3.8	Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB	23
Tabel 3.9	Desain Perkerasan Kaku untuk dengan Beban Lalu Lintas Berat	23
Tabel 3.10	Nilai <i>Poisson's Ratio</i> dan Modulus Elastisitas	27
Tabel 4.1	Kondisi Ruas Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran	43
Tabel 5.1	Tebal Lapis Perkerasan Eksisting	47
Tabel 5.2	Kondisi Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran	48
Tabel 5.3	Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas jalan Cipatujah- Kalapagenep–Pangandaran	48
Tabel 5.4	Data LHR 2019 dan LHR 2020	49
Tabel 5.5	Nilai <i>VDF</i> Jenis Kendaraan	50
Tabel 5.6	Perhitungan Nilai <i>CESA</i> 4	51
Tabel 5.7	Perhitungan Nilai <i>CESA</i> 5	52
Tabel 5.8	Rekapitulasi <i>CESA4</i> dan <i>CESA5</i> Setiap Tahun	53
Tabel 5.9	Pemilihan Jenis Perkerasan	55
Tabel 5.10	Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB	56
Tabel 5.11	Nilai LHR 2022	57
Tabel 5.12	Nilai Jumlah Kelompok Sumbu	58

Tabel 5.13 Perhitungan Nilai <i>HVAG</i>	59
Tabel 5.14 Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat	60
Tabel 5.15 Diameter Ruji	62
Tabel 5.16 Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan	63
Tabel 5.17 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan	64
Tabel 5.18 Input Data pada Menu <i>General</i>	65
Tabel 5.19 Data <i>Input Layer</i>	66
Tabel 5.20 Data <i>Input Moduli</i>	66
Tabel 5.21 Data <i>Input Load</i>	67
Tabel 5.22 Hasil Analisis Permodelan Eksisting	69
Tabel 5.23 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting	70
Tabel 5.24 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Eksisting (%)	71
Tabel 5.26 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan dengan <i>CTB</i>	72
Tabel 5.27 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan <i>CTB</i> Bina Marga 2017	72
Tabel 5.29 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif dengan <i>CTB</i>	75
Tabel 5.30 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif dengan <i>CTB</i>	75
Tabel 5.31 Input Data Menu <i>General</i>	82
Tabel 5.32 Pengaturan pada <i>Slab</i> dan <i>Joint</i>	83
Tabel 5.33 Properti <i>Slab</i>	83
Tabel 5.34 Jumlah Koordinat Sumbu X dan Y	84
Tabel 5.35 Koordinat Sumbu X dan Y	84
Tabel 5.36 <i>Load Group Area</i>	84
Tabel 5.37 <i>Loaded Areas for Load Group No. 1</i>	85
Tabel 5.38 <i>Loaded Areas for Load Group No. 2</i>	85
Tabel 5.39 <i>Elastic Properties of Dowel Bars</i>	85
Tabel 5.40 <i>Nodess for Printout</i>	86
Tabel 5.41 <i>Nodes Y Symmetry</i>	86
Tabel 5.42 <i>Solid Foundation</i>	86
Tabel 5.43 <i>Joint of Four Slab</i>	87
Tabel 5.44 <i>Fatigue Properties</i>	87

Tabel 5.45 <i>Volume of Traffic</i>	87
Tabel 5.46 Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku dari <i>Software</i>	88
Tabel 5.47 Rekapitulasi Tebal Perkerasan	89
Tabel 5.48 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Desain Perkerasan Pendekatan Elastik	92
Tabel 5.49 Rekapitulasi Repetisi Beban Desain Perkerasan Lentur	92
Tabel 5.50 Rekapitulasi Maksimum <i>Stress</i> dan Maksimum <i>Deflection</i> Desain Bina Marga 2017 dan Alternatif Perkerasan Kaku	95
Tabel 5.51 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Cipatujah- Kalapagenep-Pangandaran	106
Lampiran 2. Hasil Analisis <i>KENPAVE-KENLAYER</i> pada Perkerasan Eksisting	107
Lampiran 3. Hasil Analisis <i>KENPAVE-KENLAYER</i> pada Perkerasan <i>CTB</i> Desain Bina Marga 2017	108
Lampiran 4. Hasil Analisis <i>KENPAVE-KENLAYER</i> pada Perkerasan Alternatif <i>CTB</i> Desain Bina Marga 2017	109
Lampiran 5. Hasil Analisis <i>KENPAVE-KENSLABS</i> pada Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2017	110
Lampiran 6. Hasil Analisis <i>KENPAVE-KENSLABS</i> pada Perkerasan Alternatif Kaku Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2017	117

DAFTAR NOTASI

<i>AASHTO</i>	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
<i>AC-WC</i>	= <i>asphalt concrete-wearing course</i> (lapis permukaan)
<i>AC-BC</i>	= <i>asphalt concrete-binder course</i> (lapis pondasi)
cm	= centimeter
m	= meter
kg	= kilogram
<i>CTB</i>	= <i>cement treated base</i>
<i>ESAL</i>	= <i>equivalent standard axle load</i>
<i>HVAG</i>	= <i>high vehicle axle group</i>
<i>CBR</i>	= <i>california bearing ratio</i>
R	= faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
I	= tingkat pertumbuhan lalu lintas (%)
UR	= umur rencana (tahun)
<i>CESAL</i>	= <i>Cumulative Equivalent Single Axle Load</i>
LHRT	= lalu lintas harian rata-rata tahunan
<i>ESA</i>	= <i>equivalent standard axle</i>
<i>VDF</i>	= <i>vehicle damage factor</i>
E	= modulus elastisitas (kPa)
μ	= angka <i>Poisson's Ratio</i>
τ	= tegangan geser
σ	= tegangan normal
P	= beban terpusat roda
kPa	= kilo Pascal
Psi	= <i>pound per square inch</i> (pon per inci persegi)

ABSTRAK

Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran termasuk kategori jalan nasional yang menghubungkan beberapa provinsi di wilayah selatan Jawa Barat yang mempunyai panjang jalan $\pm$ 90 km dan dikenal sebagai bagian dari jalur lintas selatan. Selain itu, jalan ini juga sering digunakan oleh banyak kendaraan karena adanya kawasan wisata Pangandaran, mulai dari kendaraan kecil hingga kendaraan besar. Tingginya volume lalu lintas dan beban kendaraan yang berat dapat menyebabkan penurunan kualitas struktur perkerasan jalan di sepanjang ruas tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi struktur perkerasan dan mengusulkan desain alternatif perkerasan supaya menghasilkan struktur perkerasan yang optimal.

Penelitian ini menggunakan metode yang didasarkan pada data desain struktur perkerasan eksisting dan desain perkerasan berdasarkan Bina Marga 2017. Desain perkerasan Bina Marga 2017 menggunakan *CTB* pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku lalu lintas berat. Selanjutnya mengevaluasi desain perkerasan dengan *software KENPAVE* untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur, serta nilai tegangan maksimum dan lendutan maksimum pada perkerasan kaku yang disebabkan oleh beban lalu lintas. *Software KENPAVE* juga dapat memprediksi kerusakan yang mungkin terjadi. Setelah itu, dapat dilakukan prediksi terhadap umur layan yang tersedia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkerasan eksisting tidak mampu menahan beban lalu lintas sesuai dengan umur rencana yang telah ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan desain perkerasan alternatif yang lebih kuat untuk menahan beban tersebut dan mencapai umur rencana yang diinginkan. Hasil desain alternatif perkerasan yang diusulkan adalah desain alternatif perkerasan lentur dengan *CTB* menggunakan *KENPAVE-KENLAYER*, dan desain alternatif perkerasan kaku lalu lintas berat menggunakan *KENPAVE-KENSLABS*. Desain perkerasan alternatif perkerasan lentur *CTB* mempunyai tebal lapisan *AC-WC* 40 mm, *AC-BC* 180 mm, *AC-Base* 125 mm, *CTB* 300 mm, dan LPA Kelas A 150 mm. Sedangkan, perkerasan kaku lalu lintas berat mempunyai tebal lapisan beton K400 175 mm, *LMC* 100 mm, dan LPA Kelas A 150 mm.

Kata Kunci: Perkerasan Lentur, Perkerasan Kaku, Tegangan, Regangan, Umur layan, *KENPAVE*

ABSTRACT

The Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran road section is classified as a national road that connects several provinces in the southern region of West Java, with a road length of approximately 90 km and is known as part of the southern cross-route. Additionally, this road is frequently used by many vehicles due to the presence of the Pangandaran tourist area, ranging from small vehicles to large ones. The high traffic volume and heavy vehicle loads can lead to a decline in the quality of the road pavement structure along this section. This study aims to evaluate the pavement structure and propose alternative pavement designs to produce an optimal pavement structure.

The study uses a method based on data from the existing pavement structure design and pavement design according to Bina Marga 2017. The Bina Marga 2017 pavement design uses Cement Treated Base (CTB) in flexible pavement and rigid pavement for heavy traffic. Furthermore, the pavement design is evaluated using KENPAVE software to obtain stress and strain values in flexible pavement, as well as maximum stress and maximum deflection values in rigid pavement caused by traffic loads. KENPAVE software can also predict possible damage. After that, a prediction of the available service life can be made.

The results of the study show that the existing pavement is unable to withstand the traffic load according to the planned service life. Therefore, an alternative pavement design that is stronger is needed to withstand the load and achieve the desired service life. The proposed alternative pavement design includes a flexible pavement design with CTB using KENPAVE-KENLAYER, and a rigid pavement design for heavy traffic using KENPAVE-KENSLABS. The alternative flexible pavement design with CTB includes a layer thickness of 40 mm AC-WC, 180 mm AC-BC, 125 mm AC-Base, 300 mm CTB, and 150 mm LPA Class A. Meanwhile, the rigid pavement for heavy traffic has a layer thickness of 175 mm K400 concrete, 100 mm LMC, and 150 mm LPA Class A.

Keywords: Flexible Pavement, Rigid Pavement, Stress, Strain, Service Life, KENPAVE

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya adalah jalur-jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat. (Oglesby. 1999). Meningkatnya volume lalu lintas diakibatkan tidak adanya keseimbangan antara pertumbuhan prasarana transportasi dengan laju pertumbuhan kendaraan. Kerusakan jalan juga diakibatkan karena naiknya beban pada kendaraan. Oleh karena itu, sudah seharusnya dalam perencanaan jalan baiknya direncanakan dengan baik dan benar agar jalan tersebut tahan terhadap meningkatnya volume lalu lintas dan pergantian iklim yang cukup ekstrim selama masih berada dalam umur rencana dengan tidak lupa melakukan pemeliharaan jalan secara berkala.

Secara umum di Indonesia perkerasan yang sering digunakan terdapat dua jenis yaitu perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan kaku adalah jenis perkerasan yang menggunakan beton sebagai bahan utama perkerasan jalan. Perkerasan ini umumnya dipakai pada jalan yang memiliki kondisi lalu lintas yang cukup padat dan memiliki distribusi beban yang besar, seperti pada jalan - jalan lintas antar provinsi, jembatan layang, jalan tol, maupun pada persimpangan bersinyal. Jalan-jalan tersebut pada umumnya menggunakan beton sebagai bahan perkerasannya, namun untuk meningkatkan kenyamanan biasanya diatas permukaan perkerasaan dilapisi aspal. Sukirman (1992). Perkerasan kaku dapat digunakan pada struktur tanah lemah yang memiliki CBR rendah tanpa perbaikan struktur tanahnya terlebih dahulu. Tahan juga terhadap genangan air dan banjir dengan biaya perawatan yang lebih murah dibandingkan dengan perkerasan lentur.

Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran termasuk kategori Jalan Nasional yang mempunyai panjang jalan ± 90 km. Jalan ini mulai dibangun ulang pada tahun 2022 dan selesai dibangun tahun 2023 menggunakan jenis perkerasan yaitu perkerasan lentur. Badan Pusat Statistika Jawa Barat melakukan survei mengenai jumlah wisatawan yang berkunjung ke daerah Pangandaran menunjukkan peningkatan wisatawan yang terus berlanjut yaitu pada tahun 2019 sebesar $\pm 3,2$ juta jiwa dan tahun 2021 sebesar $\pm 3,6$ juta jiwa, dengan begitu arus dan beban lalu lintas akan bertambah, sehingga harus diimbangi dengan kualitas perkerasan yang baik pula. Pada penelitian ini mengusulkan alternatif desain untuk perkerasan eksisting jika diganti dengan perkerasan kaku. Kedua, membandingkan desain eksisting dengan desain perkerasan kaku terhadap hasil dari regangan dan tegangan yang didapatkan. Metode yang digunakan yaitu Bina Marga 2017 dan menggunakan *software KENPAVE*. Metode ini telah diterapkan juga dalam jurnal penelitian seperti pada penelitian Aji dan Susilo (2023) metode ini dapat merencanakan desain perkerasan baru dan mengetahui potensi kerusakan serta kapan kerusakan tersebut dapat terjadi dan juga bagaimana solusi alternatif yang digunakan.

Analisis *KENPAVE* merupakan *software* yang menggabungkan perkerasan lentur *KENLAYER* dan perkerasan kaku *KENSLABS* mampu mempermudah penggunaan elastis linier, nonlinier dan sifat viskoelastik bahan untuk lapisan yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh Ilpandari (2018) menjelaskan bahwa analisis *software* ini mampu digunakan untuk mengevaluasi dan memodelkan desain perkerasan kaku. Putra dan Tajudin (2021) juga menyatakan jika *software KENPAVE* dapat menganalisis perkerasan dengan fleksibel dan lebih mudah daripada *software* yang lain. Qisthi dan Kushari (2018) juga menggunakan *KENSLABS* sebagai pendekatan mekanistik empiris untuk mendapatkan respon struktur pada perkerasan. Perangkat lunak ini dibentuk oleh Dr. Yang H Huang, P.E. Profesor *Emeritus of Civil Enggineering University of Kentucky*. *KENPAVE* berfungsi untuk mengetahui tegangan dan regangan pada perkerasan jalan yang bisa menimbulkan kerusakan jalan dalam kurun waktu tertentu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang dapat diambil untuk penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana desain lapis perkerasan pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran jika perhitungan menggunakan metode Bina Marga 2017 ?
2. Berapa nilai tegangan dan regangan yang ditimbulkan akibat beban lalu lintas dengan menggunakan *software KENPAVE-KENLAYER* ?
3. Berapa nilai tegangan maksimum dan lendutan maksimum pada desain perkerasan kaku memakai *software KENPAVE-KENSLABS* ?
4. Bagaimana hasil dari perbandingan desain perkerasan yang paling optimal berdasarkan prediksi kerusakan dan umur layan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar rumusan masalah yang sudah dirumuskan, dapat diambil tujuan penelitian yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Mendapatkan desain dari lapis perkerasan Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran menggunakan metode Bina Marga 2017.
2. Menghitung nilai tegangan dan regangan dengan memakai *software KENPAVE-KENLAYER* untuk memprediksi kerusakan dan umur layan.
3. Menghitung nilai tegangan maksimum dan lendutan maksimum pada desain perkerasan kaku memakai *software KENPAVE-KENSLABS*.
4. Membandingkan desain perkerasan yang paling optimal berdasarkan prediksi kerusakan dan umur layan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan dan mempunyai manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan alternatif perkerasan dengan menggunakan perkerasan kaku atau *rigid pavement*.
2. Meningkatkan pengetahuan berhubungan dengan metode analisis perkerasan menggunakan Bina Marga 2017.

3. Memberikan informasi tentang penggunaan *software KENPAVE* dalam melakukan analisis tegangan dan regangan pada perkerasan jalan.

1.5 Batasan Penelitian

Diperlukannya suatu batasan pembahasan penelitian ini agar penelitian tidak keluar dari topik pembahasan dan dapat menjelaskan secara spesifik. Berikut ialah batasan penelitian yang menjadi acuan saat mengerjakan penelitian ini.

1. Objek dan lokasi dari penelitian ini adalah Ruas Jalan Cipatujah-Kelapagenep-Pangandaran.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan data sekunder yang didapat dari Kantor Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Jawa Barat.
3. Perhitungan desain perkerasan menggunakan metode Bina Marga 2017.
4. Penggunaan metode mekanistik-empirik *software KENPAVE* dilakukan untuk analisis dari nilai tegangan-regangan, prediksi kerusakan dan umur sisa layan.
5. Penggunaan *software KENPAVE-KENLAYER* untuk desain perkerasan lentur dan *software KENPAVE-KENSLABS* untuk desain perkerasan kaku.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam penelitian yang ditulis ini dibutuhkan tinjauan pustaka dari beberapa penelitian terdahulu yang sudah dilakukan untuk mendapatkan teori dan dasar-dasar yang dapat memberikan referensi yang mendukung dan membantu dari masalah yang berkaitan dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka ini juga berfungsi untuk memberikan perbedaan-perbedaan dari penelitian terdahulu sebelum penulis melakukan penelitian ini.

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga

Pada umumnya desain perkerasan adalah penentuan dari tebal lapis perkerasan yang akan memberikan pengaruh ketahanan dan berfungsi melindungi tanah dasar akibat beban yang terjadi di atasnya. Selalu terdapat penambahan volume lalu lintas yang terjadi pada tiap tahunnya sehingga diperlukan evaluasi tebal perkerasan untuk menjaga supaya lapis perkerasan mempunyai kinerja yang baik. Berikut beberapa evaluasi yang sudah dilakukan menggunakan metode bina marga seperti Saragih dkk. (2021) melakukan penelitian evaluasi tebal perkerasan kaku, metode yang digunakan yaitu Bina Marga 2017 dan PCA yang dilakukan pada Ruas Jalan Tol Tebing Tinggi-Serbelawan. Penelitian ini didapatkan pada perencanaan perkerasan kaku Metode Bina Marga 2017 didapat tebal pelat beton perkerasan jalan, yaitu 26 cm, disesuaikan dengan perhitungan tebal perkerasan Bina Marga 2017. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan membandingkan antara perhitungan metode Bina Marga dan PCA. Sehingga didapati bahwa metode Bina Marga merupakan metode yang lebih efisien dan ekonomis untuk digunakan dalam melakukan perencanaan perkerasan jalan karena perhitungan yang dibuat sudah sesuai atau mendekati dengan kondisi regional Indonesia.

Hafizhan (2018) juga sudah melakukan penelitian mengenai evaluasi tebal perkerasan kaku. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data primer berupa panjang dan lebar jalan, jenis kerusakan, dan LHR 2018. Hasil penelitian menunjukkan jenis-jenis kerusakan yang terdapat pada ruas jalan Pekanbaru-Siak km 12 - 14 adalah retak, lubang, tambalan, pelepasan permukaan. Berdasarkan analisis dengan metode Pd T-14-2003 dan metode Bina Marga 2013, tebal perkerasan yang tepat untuk Ruas Jalan Pekanbaru-Siak Km 12 - 14 adalah 290 mm, namun yang digunakan di lapangan adalah 270 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tebal perkerasan eksisting yang digunakan tidak tepat dan menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan lebih dini. Arianto dan Fauziah (2023) telah melakukan penelitian menggunakan metode Bina Marga 2017 dengan desain AC *Base* dan *CTB*, setelah didesain lalu melakukan evaluasi dengan program *KENPAVE* dengan pendekatan elastic dan viskoelastik untuk melihat nilai regangan dan tegangan dari akibat beban lalu lintas dan memprediksi kerusakan yang akan terjadi. Mampu juga untuk memprediksi umur sisa layan yang tersedia dengan masing-masing pendekatan. Berdasarkan jenis desain perkerasan terjadi perbedaan pada jenis kerusakan yang terjadi lebih awal, pada desain AC *Base* terjadi kerusakan permanent deformation terlebih dahulu sedangkan pada desain *CTB* terjadi kerusakan awal pada rutting. Kasus tersebut terjadi dikarenakan adanya perbedaan pada jenis material dan tebal setiap lapisan pada desain perkerasan tersebut.

2.3 Evaluasi Struktur Perkerasan dengan Software *KENPAVE*

Evaluasi desain perkerasan dengan *software KENPAVE* menghasilkan data Analisa perhitungan regangan dan tegangan seperti beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Sodiq (2021) melakukan penelitian pada Ruas Jalan Gito Gati berdasarkan metode *PCI* dan metode Bina Marga 2017 dengan *software KENPAVE*. Penelitian ini menggunakan *software KENPAVE* bertujuan untuk mendapatkan nilai sisa umur rencana. Nilai umur sisa perkerasan dengan Program *KENPAVE* diperoleh untuk lapis perkerasan eksisting jenis kerusakan *fatigue cracking* dapat

mengakomodasi beban sampai tahun ke-6, sedangkan untuk jenis kerusakan *rutting* dan *permanent deformation* dapat mengakomodasi beban sampai tahun ke-20.

Aji dan Susilo (2023) melakukan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerusakan perkerasan jalan menggunakan program *KENPAVE* serta mengetahui solusi alternatif yang digunakan untuk kerusakan tersebut. Program *KENPAVE* ini mampu mengetahui prediksi kerusakan suatu perkerasan jalan berupa kerusakan *Fatigue Cracking*, *Rutting* serta *Permanent Deformation* yang diperoleh dari nilai tegangan dan regangan akibat beban lalu-lintas kendaraan. Solusi alternatif yang digunakan berdasarkan manual design perkerasan jalan Binamarga tahun 2017 berupa perencanaan lapisan perkerasan jalan dan perbaikan *Overlay*. Berdasarkan hasil yang diperoleh untuk perkerasan eksisting menggunakan pemodelan elastik pada *KENPAVE* mampu menahan beban *Fatigue Cracking* selama umur rencana tetapi tidak mampu menahan kerusakan *Rutting* dan *Permanent Deformation* selama umur rencana. Untuk desain tebal perkerasan baru berdasarkan Bina Marga tahun 2017 menggunakan pemodelan viskoelastik pada program *KENPAVE*.

Qisthi dan Kushari (2018) melakukan penelitian yang menggunakan *software KENPAVE* terkhusus dengan *KENSLABS* dikarenakan perkerasan yang dipilih yaitu perkerasan kaku. Berhubungan dengan permasalahan kerusakan pada lapis perkerasan jalan, maka penelitian ini bertujuan untuk mendesain ulang tebal dari lapis perkerasan dan memprediksi dampak reduksi dari tebal dan mutu beton terhadap kerusakan yang terjadi pada perkerasan kaku yang dianalisis. Ilpandari (2018) telah meneliti tentang evaluasi dan pemodelan struktur perkerasan kaku menggunakan *software KENPAVE-KENSLABS* untuk mengetahui hasil perhitungan evaluasi dari pemodelan struktur perkerasan kaku menggunakan tipe perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (*BBTJ/JPCP*) dan perkerasan beton bersambung dengan tulangan (*BBDT/JRCP*) dengan panjang 1000 meter.

2.4 Analisis Perbandingan Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur

Pertimbangan pemilihan perkerasan kaku dan perkerasan lentur salah satu faktornya yaitu dari faktor biaya yang dikeluarkan sehingga diperlukan suatu analisis biaya antara 2 perkerasan tersebut. Berikut salah satu penelitian yang berfokus pada analisis perbandingan biaya, Muhammad (2021) telah melakukan

penelitian mengenai perbandingan biaya pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur pada Ruas Jalan Balong-Plosokerep. Penelitian ini menggunakan pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 atau Bina Marga 2017 untuk menghitung struktur perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perhitungan biaya selama siklus hidup selama 20 tahun dengan menjumlahkan biaya konstruksi, biaya perawatan dan rehabilitasi selama 20 tahun dan biaya pengguna jalan selama 20 tahun. Biaya selama siklus hidup pada perkerasan kaku memiliki total biaya selama siklus hidup pada perkerasan kaku lebih hemat 13,47% dibandingkan perkerasan lentur. Jadi bisa disimpulkan bahwa perkerasan kaku lebih layak untuk diaplikasikan pada Ruas Jalan Balong-Plosokerep.

Maharani dan Wasono (2018) melakukan beberapa perbandingan mengenai biaya pelaksanaan dan biaya pemeliharaan pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan umur rencana 20 tahun. Penelitian ini menggunakan metode Bina Marga untuk merencanakan tebal lapis perkerasan. Hasil perbandingan analisis antara perkerasan kaku dengan perkerasan lentur didapatkan bahwa perkerasan lentur lebih ekonomis tetapi butuh biaya tambahan untuk masa pemeliharaan. Umur rencana perkerasan lentur 20 tahun dan 40 tahun untuk perkerasan kaku. Bisa disimpulkan bahwa perkerasan kaku lebih ekonomis untuk jangka panjang.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan Bina Marga

Peneliti	Saragih dkk (2021)	Arianto dan Fauziah (2023)	Maharani dan Warsono (2018)	Muhammad (2021)	Hafizhan (2018)
Judul Penelitian	Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan Tol Tebing Tinggi-Serbelawan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 dan PCA	Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran	Evaluasi Kondisi Perkerasan dengan Metode <i>Pavements Condition Index (PCI)</i> dan Nilai sisa dengan Metode Mekanistik-Empirik Pada Jalan Gito-Gati	Analisis Biaya Selama Siklus Hidup Perkerasan Kaku pada Perencanaan Jalan: Studi Kasus Ruas Jalan Balong-Plosokerep, Desa Umbulharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta	Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Pekanbaru-Siak Km 12-14 Di Riau dengan Metode Bina Marga 2013
Tujuan Penelitian	Menghitung dan membandingkan tebal perkerasan kaku menggunakan Metode Bina Marga dan PCA dengan umur rencana 20 tahun sampai 40 tahun.	Merancang dan mengusulkan alternatif desain dengan Bina Marga 2017, dan melakukan perbandingan beberapa alternatif desain dan desain perkerasan eksisting	Menentukan tebal perkerasan dan tebal perkerasan tambahan (<i>overlay</i>)	Mendapatkan desain struktur dan mengetahui perbandingan biaya pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku	Melakukan evaluasi tebal perkerasan yang sesuai Pd T-14-2003 dan Bina Marga 2013, serta mengetahui penyimpangan tebal perkerasan
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Tol Tebing Tinggi-Serbelawan.	Ruas Jalan Cipatujah-Kelapagenep-Pangandaran	Ruas Jalan Raya Pantai Prigi-Popoh Kab. Tulungagung	Ruas Jalan Balong-Plosokerep	Ruas Jalan Pekanbaru-Siak Km 12-14

Sumber: Saragih dkk (2021), Arianto dan Fauziah (2023), Maharani dan Warsono (2018), Muhammad (2021), Hafizhan (2018)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan Bina Marga

Peneliti	Saragih dkk (2021)	Arianto dan Fauziah (2023)	Maharani dan Warsono (2018)	Muhammad (2021)	Hafizhan (2018)
Metode Analisis	Metode Bina Marga 2017 dan PCA	Metode Bina Marga 2017 dengan <i>software KENPAVE</i>	Metode Bina Marga 2017	Metode Bina Marga 2017	Metode Bina Marga 2013 dan Metode PDT-14-2003
Hasil Penelitian	Berdasarkan analisis didapatkan perkerasan dengan Bina Marga tebal perkerasan kaku memperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan fatik dan atau erosi ≤ 100 %. Demikian pula dalam metode PCA, menentukan LHR kendaraan hanya menghitung beban sumbu truk saja.	Perbandingan dilakukan pada desain AC <i>Base</i> dan CTB, diketahui bahwa desain AC <i>Base</i> memiliki umur sisa layan lebih tinggi pada kerusakan <i>rutting</i> sedangkan desain CTB memiliki umur sisa layan lebih tinggi pada kerusakan <i>permanent defrmation</i> .	Hasil perbandingan analisa antara perkerasan kaku dengan perkerasan lentur dilihat dari ekonomi perencanaan perkerasan lentur lebih murah tetapi pekerjaan lentur memerlukan biaya tambahan untuk masa pemeliharaan setelah selesai jalan dibuat (biasanya secara berkala), maka dipilih perkerasan kaku karena tidak diperlukan perawatan khusus untuk jangka panjang.	Hasil dari perbandingan Jalan tersebut. Biaya selama siklus hidup pada perkerasan kaku memiliki total biaya selama siklus hidup pada perkerasan kaku lebih hemat 13,47% dibandingkan perkerasan lentur. Jadi bisa disimpulkan bahwa perkerasan kaku lebih layak untuk diaplikasikan.	Tebal perkerasan yang tepat adalah 290 mm, namun yang digunakan di lapangan adalah 270 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tebal perkerasan eksisting yang digunakan tidak tepat dan menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan lebih dini.

Sumber: Saragih dkk (2021), Arianto dan Fauziah (2023), Maharani dan Warsono (2018), Muhammad (2021), Hafizhan (2018)

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkerasan dengan Menggunakan *Software KENPAVE*

Peneliti	Qisthi dan Kushari (2018)	Aji dan Susilo (2023)	Sodiq (2021)	Ilpandari (2018)	Jatiko (2024)
Judul Penelitian	Pengaruh Variasi Tebal dan Mutu Beton Terhadap Respons Struktural Perkerasan Kaku	Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program <i>Software Kenpave</i>	Evaluasi Kondisi Perkerasan dengan Metode <i>Pavements Condition Index (PCI)</i> dan Nilai sisa dengan Metode Mekanistik-Empirik Pada Jalan Gito-Gati	Analisis Desain Struktur <i>Rigid Pavement</i> dengan Metode Empirik, Evaluasi dan Pemodelan dengan <i>Software KENPAVE-KENSLABS</i>	Evaluasi dan Usulan Alternatif Desain Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran
Tujuan Penelitian	Mendesain ulang pelat beton dan memprediksi dampak reduksi tebal maupun mutu beton terhadap kerusakan yang terjadi pada perkerasan kaku	Mengetahui kerusakan perkerasan jalan menggunakan program <i>software KENPAVE</i> serta mengetahui solusi alternatif yang digunakan untuk kerusakan tersebut.	Menentukan tebal struktur perkerasan dan tebal perkerasan tambahan (<i>overlay</i>)	Mengetahui hasil analisis dan pemodelan struktur <i>rigid pavement</i> menggunakan <i>software KENPAVE</i>	Mendapatkan dan mengusulkan desain perkerasan kaku, menghitung nilai regangan dan tegangan, dan membandingkan perkerasan eksisting dengan alternatif desain
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Arteri Utara atau Ring Road Utara, Yogyakarta	Ruas Jalan Dekso-Tempel	Ruas Jalan Gito-Gati	Ruas Jalan Tol Semarang - Solo Seksi III Bawen - Salatiga	Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran

Sumber: Qisthi dan Kushari (2018), Aji dan Susilo (2023), Sodiq (2021), Ilpandari (2018), Jatiko (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Perkerasan dengan Menggunakan Software KENPAVE

Peneliti	Qisthi dan Kushari (2018)	Aji dan Susilo (2023)	Sodiq (2021)	Ilpandari (2018)	Jatiko (2024)
Metode Analisis	Metode Departemen Kimpraswil Pd T-14-2003 dengan <i>software KENPAVE</i>	Metode Bina Marga 2017 dengan <i>software KENPAVE</i>	Metode <i>PCI</i> dan Bina Marga 2017 dengan <i>software KENPAVE</i>	Metode Departemen Kimpraswil Pd T-14-2003 dan Metode <i>AASHTO</i> 1993 dengan <i>software KENPAVE</i>	Metode Bina Marga 2017 dengan <i>software KENPAVE</i>
Hasil Penelitian	Penurunan tebal dapat menaikkan tegangan dan lendutan maksimum. Penggunaan mutu beton yang lebih tinggi sangat berpengaruh karena dapat meningkatkan umur perkerasan, sehingga mampu mereduksi <i>cracking index</i> pada <i>slab</i> beton.	Mendapatkan hasil dimana perkerasan eksisting mampu menahan kerusakan <i>fatigue cracking</i> selama umur rencana tetapi untuk kerusakan <i>permanent deformation</i> dan <i>rutting</i> perkerasan sudah mengalami kerusakan sebelum umur rencana	Analisis yang telah dilakukan berdasarkan <i>KENPAVE</i> didapatkan lapis perkerasan eksisting dapat terjadi kerusakan <i>fatigue cracking</i> terlebih dahulu dan untuk <i>overlay</i> mampu menahan hingga tahun ke-20.	Mutu beton yang dinaikkan maka akan semakin besar nilai maksimum <i>stress</i> , sedangkan menaikkan tebal pelat beton maka semakin kecil nilai maksimum <i>stress</i> . Nilai maksimum <i>deflection</i> , <i>index cracking</i> dan <i>design life</i> dengan menaikkan mutu beton serta tebal pelat beton maka nilai maksimum <i>deflection</i> dan <i>index cracking</i> menjadi kecil dan <i>design life</i> semakin meningkat.	Mendapatkan hasil perkerasan yang optimal dan efektif menggunakan desain perkerasan lentur dan perkerasan kaku untuk umur rencana 40 tahun berdasarkan <i>KENPAVE</i> . Desain tersebut yaitu alternatif desain perkerasan dengan <i>CTB</i> dan alternatif desain perkerasan kaku lalu lintas berat dengan masing-masing umur layan sebesar 42 tahun dan 46 tahun.

Sumber: Qisthi dan Kushari (2018), Aji dan Susilo (2023), Sodiq (2021), Ilpandari (2018), Jatiko (2024)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Desain Tebal Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017

Perencanaan tebal perkerasan memerlukan data yang berhubungan mengenai penentuan tebal perkerasan. Zohri dkk (2019) mengatakan bahwa data yang diperlukan yaitu data lalu lintas harian rata-rata, data CBR tanah dasar, pertumbuhan volume lalu lintas, klasifikasi tipe jalan dan umur rencana. Perencanaan tebal perkerasan dimulai dengan menentukan umur rencana pada ruas jalan tersebut. Umur rencana adalah kumulatif waktu dalam tahun yang ditentukan saat jalan mulai dibuka atau mulai beroperasi sampai jalan tersebut perlu dilakukan perbaikan kondisi atau lapis permukaan baru. Menentukan umur rencana perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR) sebagai berikut.

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

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

Sumber : Bina Marga (2017)

Data-data yang perlu dibutuhkan dalam perencanaan tebal perkerasan lentur sebagai berikut.

1. Data lalu lintas pada jalan yang dilakukan penelitian tersebut seperti lalu lintas harian rata-rata, jenis kendaraan dan volume lalu lintas. Lalu lintas harian rata-rata pada penelitian ini menggunakan satuan smp/jam sedangkan data yang didapat masih menggunakan satuan kend/jam untuk mengubahnya diperlukan mengali dengan ekivalen mobil penumpang (emp). Tujuan penggunaan satuan smp/jam (Satuan Mobil Penumpang per jam) dalam LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) adalah untuk menyederhanakan dan menyeragamkan berbagai jenis kendaraan yang melewati suatu jalan dalam perhitungan lalu lintas. Dengan menggunakan SMP/jam, kendaraan yang berbeda jenisnya (seperti motor, mobil, truk, bus) dapat diubah menjadi satuan yang seragam, yaitu smp, sehingga lebih mudah untuk menganalisis arus lalu lintas. Ekivalen mobil penumpang sudah diatur dalam MKJI 1997 yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Nilai Ekivalen Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	emp
Kendaraan Ringan (<i>LV</i>)	1,0
Kendaraan Berat (<i>HV</i>)	1,3
Sepeda Motor (<i>MC</i>)	0,4

Sumber : MKJI (1997)

2. Faktor pertumbuhan lalu lintas merupakan data-data pertumbuhan dari beberapa periode terdahulu atau perhitungan yang memiliki hubungan dengan faktor pertumbuhan yang berlaku, jika data yang diperlukan tidak ada maka dapat digunakan Tabel 3.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain sebagai nilai minimum.

Tabel 3.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain

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

Sumber : Bina Marga (2017)

Perhitungan pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana menggunakan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) :

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

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

3. Beban lalu lintas pada lajur yang sudah direncanakan bisa dinyatakan menggunakan kumulatif beban gandar standar (ESA) pada perkerasan lentur untuk perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (HVAG), faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Pemilihan faktor distribusi arah (DD) dipilih menggunakan jenis jalan tersebut, jika jalan dua arah umumnya diambil nilai 0,50 untuk faktor distribusi arahnya. Darmawan dan Lizar (2020) menyatakan pemakaian nilai 0,50 biasanya dipilih kecuali pada lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Pemakaian faktor distribusi lajur untuk menyinkronkan beban kumulatif (ESA) dan (HVAG) pada jalan tersebut. Faktor distribusi dapat ditentukan pada Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL) sebagai berikut.

Tabel 3.3 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber : Bina Marga (2017)

Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) dipakai untuk mengonversi beban lalu lintas ke beban standar ESA untuk perkerasan lentur dan *HVAG* untuk perkerasan kaku. Pada penelitian ini menggunakan nilai dari *VDF* 4 dan *VDF* 5. Penggunaan nilai *VDF* 4 dan 5 dalam desain perkerasan bertujuan untuk mengakomodasi kerusakan yang ditimbulkan oleh kendaraan berat. Jika jalan dirancang untuk dilalui oleh kendaraan dengan *VDF* tinggi, seperti *VDF* 4 atau *VDF* 5, maka lapisan perkerasan yang dibutuhkan harus lebih tebal dan menggunakan material dengan kualitas lebih baik untuk mencegah deformasi atau kerusakan dini pada jalan. Untuk periode beban faktual (sampai tahun 2020), digunakan *VDF* beban nyata atau aktual sedangkan untuk periode beban normal (terkendali) digunakan *VDF* dengan muatan sumbu terberat 12 ton. Setelah memperoleh jumlah kumulatif *ESA* dan *HVAG* pada jalur rencana selama umur rencana maka bisa diteruskan dengan analisis struktur perkerasan. Nilai *VDF* setiap kendaraan dimuat dalam Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,50	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,20	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

Tabel 3.5 Nilai VDF Masing-Masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

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

Sumber : Bina Marga (2017)

4. Beban sumbu standar merupakan kumulatif dari seluruh beban sumbu lalu lintas desain pada lajur yang ingin dilaksanakan pekerjaan selama umur rencana, perhitungan *ESA* menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut :

VDF yang digunakan sesuai dengan masing-masing kendaraan niaga

$$ESA_{TH-1} = (\Sigma LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.2)$$

dengan

ESA_{TH-1} : kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen di tahun pertama,

LHR_{JK} : lalu lintas harian rerata untuk tiap jenis kendaraan,

VDF_{JK} : faktor ekivalen beban untuk tiap jenis kendaraan,

DD : faktor distribusi arah,

DL : faktor distribusi jalur, dan

$CESAL$: kumulatif seluruh beban sumbu lalu lintas desain selama umur rencana.

5. Desain perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*Heavy Vehicle Axle Group, HVAG*) dan bukan dari nilai *ESA* untuk satuan beban lalu lintas pada perkerasan beton. Jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*HVAG*) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut :

$$HVAG = (Jmlh\ klmpk\ sumbu\ per\ kendaraan \times LHR) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.3)$$

dengan

$HVAG$: jumlah kelompok sumbu kendaraan berat,

LHR : lalu lintas harian rerata untuk tiap jenis kendaraan,

DD : faktor distribusi arah, dan

DL : faktor distribusi jalur.

3.1.1 Desain Fondasi Perkerasan

Desain fondasi perkerasan merupakan salah satu syarat penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang berkinerja secara baik. Pada penelitian ini nilai CBR pada lokasi penelitian sudah diketahui yaitu senilai 7%, sehingga untuk desain fondasi untuk perkerasan lentur dan perkerasan kaku dapat ditentukan.

3.1.1.1 Desain Fondasi Perkerasan Lentur

Desain fondasi perkerasan lentur menggunakan tanah dasar normal. Tanah dasar normal merupakan tanah dasar yang biasanya memiliki nilai CBR *in-situ* lebih besar dari 2,5%, termasuk dengan daerah timbunan, galian dan permukaan tanah asli. Penentuan tebal perbaikan tanah dasar mampu dilihat pada Tabel 3.6 Desain Fondasi Jalan Minimum.

3.1.1.2 Desain Fondasi Perkerasan Kaku

Ketentuan berikut ini akan mengenai tanah dasar normal. Pedoman perencanaan Pd T-14-2003 mensyaratkan nilai CBR ekuivalen tanah dasar normal dapat ditentukan. Jika fondasi perkerasan terdiri lebih dari satu lapis atau jika tanah dasar asli terdiri lebih dari satu lapis dengan kekuatan tertinggi terdapat pada lapis teratas sehingga CBR tanah dasar dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$CBR_{ekuivalen} = \left(\frac{\sum_i h_i CBR_i^{0,33}}{\sum_i h} \right)^3 \quad (3.4)$$

Dengan :

h_i : tebal lapis i ,

$\sum h_i$: 1 meter

Apabila semakin dalam kekuatan tanah dasar semakin meningkat maka formula tersebut di atas tidak berlaku. Dalam kasus ini nilai CBR karakteristik adalah nilai CBR lapis teratas tanah dasar. CBR efektif tanah dasar hendaknya tidak kurang dari 6%.

Tabel 3. 6 Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Pondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)			Stabilisasi Semen
			<2	2-4	>4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥ 6	SG6	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)	Tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2.5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuaiian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan pondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan di atas tanah lunak	SG1		Lapis penopang	1000	1100	
		atau lapis penopang dan geogrid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir	1000	1250	1500	

Sumber: Bina Marga (2017)

3.1.2 Struktur Perkerasan

Penentuan struktur perkerasan akan mempunyai banyak variasi melihat dari volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 memiliki beberapa pilihan alternatif struktur perkerasan terdapat pada Tabel 3.6 Pemilihan Jenis Perkerasan sebagai berikut.

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 $CBR \geq 2,5\%$)	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 fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasaan tanpa penutup (Japat, Jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

3.1.3 Desain Perkerasan

Perhitungan desain struktur perkerasan disesuaikan dengan nilai *CESA* umur rencana perkerasan lentur dan *HVAG* umur rencana perkerasan kaku, setelah itu penentuan desain dapat menggunakan bagan desain pada Bina Marga 2017. Pada Tabel 3.8 dapat dilihat bagan desain desain 3 pekerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB serta pada Tabel 3.9 merupakan bagan desain 4 perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat.

Tabel 3.8 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB

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

Sumber : Bina Marga (2017)

Tabel 3.9 Desain Perkerasan Kaku untuk dengan Beban Lalu Lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overload) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
SRTUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal plat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber : Bina Marga (2017)

3.2 Desain Tebal Perkerasan dengan Metode Mekanistik-Empiris

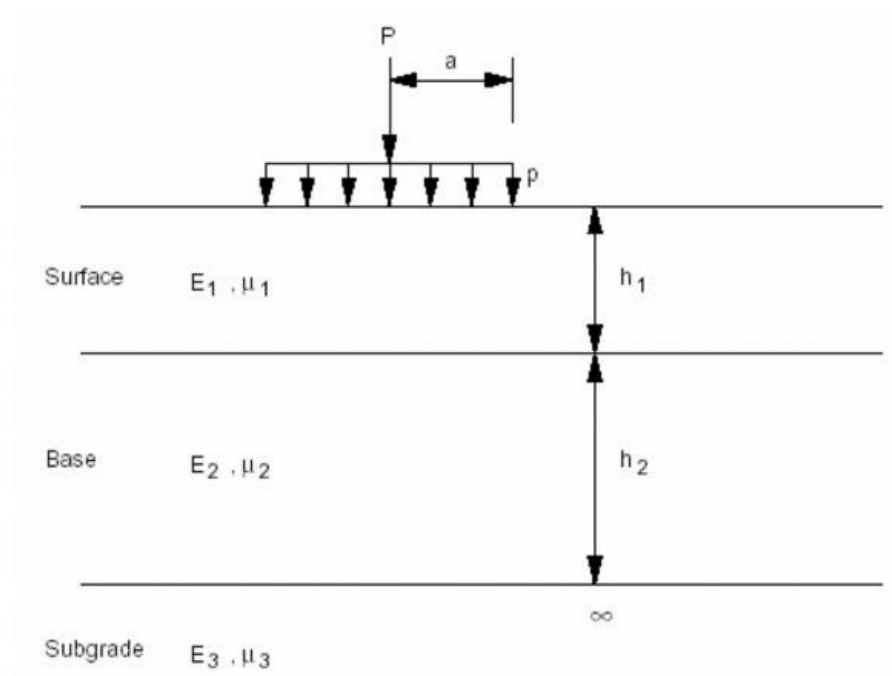
Metode mekanistik-empiris adalah pendekatan yang menggabungkan metode (berdasarkan teori dan analisis struktural) dan metode empiris (berdasarkan pengalaman lapangan dan data pengujian) dalam perencanaan perkerasan jalan. Tujuannya adalah untuk mengatasi kekurangan dari kedua metode tersebut secara terpisah. Setiap metode yang telah disebutkan diatas memiliki kekurangan dalam penggunaannya dalam perencanaan desain perkerasan. Perkembangan metode dilakukan dengan mengacu pada kaidah teoritis dari sifat-sifat perkerasan yang dilengkapi dengan perhitungan respon struktur perkerasan terhadap beban kendaraan dapat disebut dengan metode analitik – mekanisme. Kemajuan dalam bidang ilmu teknologi untuk mempermudah dan terkontrolnya perhitungan desain perkerasan maka dibuatlah metode mekanistik – empiris.

Metode mekanistik – empiris didasari oleh mekanika material yang berkaitan mengenai data-data yang diperlukan seperti beban roda, respon struktur perkerasan seperti regangan dan tegangan. Nilai respon tersebut dipakai untuk memprediksi respon struktur berupa tekanan pada tes laboratorium ataupun kinerja pada lapangan. Pengamatan kinerja sangat dibutuhkan karena setiap jenis dan lokasi pekerjaan mempunyai kondisi yang tidak sama sehingga teori belum cukup terbukti untuk desain struktur perkerasan secara realistis. *Multilayer Elastic System* merupakan salah satu dari metode analisis dalam metode mekanistik. Sistem ini sering berkaitan dengan tegangan, regangan dan lendutan yang merupakan respon pada beban roda kendaraan.

Multilayer Elastic System, menggunakan beberapa asumsi untuk menganalisa respon struktur, sebagai berikut.

1. Lapisan dari struktur perkerasan mempunyai ketebalan yang beragam, kecuali tanah dasar yang ketebalannya dianggap tidak terbatas, sebagai halnya dengan lebar dari setiap lapisan dianggap tidak terbatas.
2. Sifat pada material-material yang dipakai dari perkerasan dianggap homogen.

3. Sifat pada material-material yang dipakai dari perkerasan dianggap isotropic, ialah sifat bahan di setiap titik tertentu pada setiap arah.
4. Lapisan linear elastis, linear dijelaskan sebagai hubungan dengan regangan dan tegangan dianggap linear, sementara itu untuk elastis dimaksudkan untuk regangan yang akan kembali ke bentuk awal bilamana tegangan yang terjadi ditiadakan.
5. Sifat pada material dapat memakai dua parameter struktural, yaitu konstanta *Poisson* dan modulus *resilient*.
6. Beban yang diberikan dari roda kendaraan diasumsikan memberikan gaya vertikal yang setipe kepada struktur perkerasan dengan bentuk lingkaran.
7. Lapis perkerasan dengan lapis yang berada dibawahnya tidak terjadi slip.



Gambar 3.1 Sistem Lapis Banyak

Sumber : Huang (2004)

3.2.1 Permodelan Lapis Perkerasan

1. Parameter setiap lapis

a. Modulus elastis

Material elastis merupakan bahan yang mempunyai kemampuan kembali ke bentuk awalnya setelah terjadi tekanan atau diregangkan.

Modulus elastisitas juga bisa disebut dengan Modulus *Young* yang dilambangkan dengan E merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada material. Perhitungan nilai modulus elastisitas dapat menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut :

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (3.4)$$

dengan

E = modulus elastisitas (kPa atau Psi),

τ = tegangan (kPa,) dan

ε = regangan.

Modulus elastisitas pada suatu material mempunyai batas tegangan dan regangan elastisitasnya. Batas elastisitas suatu material berbeda dengan kekuatan dalam menahan tegangan dan regangan pada benda tersebut tetapi seberapa mampu dan baiknya material dapat kembali pada ukuran dan bentuk awalnya.

b. *Poisson's Ratio*

Parameter *Poisson's Ratio* adalah yang diambil dari perbandingan dari regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang diakibatkan pada beban sumbu sejajar dan regangan aksial. Berikut pada Tabel 3.10 tercantum beberapa nilai *poisson's ratio* dan modulus elastisitas yang digunakan pada penelitian ini

Tabel 3.10 Nilai *Poisson's Ratio* dan Modulus Elastisitas

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

Sumber : Bina Marga (2017)

2. Ketebalan setiap lapis perkerasan

Data tebal lapis perkerasan diperlukan dalam teori elastis lapis banyak untuk input dalam penyelesaian dengan program. Ketebalan mempunyai satuan mm atau *inch*.

3.3 Software *KENPAVE*

Software KENPAVE adalah software desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E (1985), Professor *Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. *Software* ini dibuat dalam pemrograman *Visual Basic* dan bisa digunakan dengan versi *windows 95* atau di atasnya. Tampilan awal *software KENPAVE* selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Tampilan Awal Program KENPAVE

KENPAVE ini terdapat empat bagian program diantaranya yaitu *LAYERINP*, *KENLAYER*, *SLABSINP* dan *KENSLABS*. Program *LAYERINP* dan *KENLAYER* merupakan software analisis untuk *flexible pavement* (perkerasan lentur) yang didasarkan pada teori sistem lapis banyak. Sedangkan *SLABSINP* dan *KENSLABS* merupakan program analisis untuk *rigid pavement* (perkerasan kaku) yang berdasarkan elemen hingga. Berikut penjelasan dari masing-masing menu yang ada pada program *KENPAVE*.

3.3.1 Data Path

Data Path sebagai keterangan penyimpanan data hasil analisis, umumnya data akan tersimpan pada lokasi penginstalan *KENPAVE* berada.

3.3.2 File Name

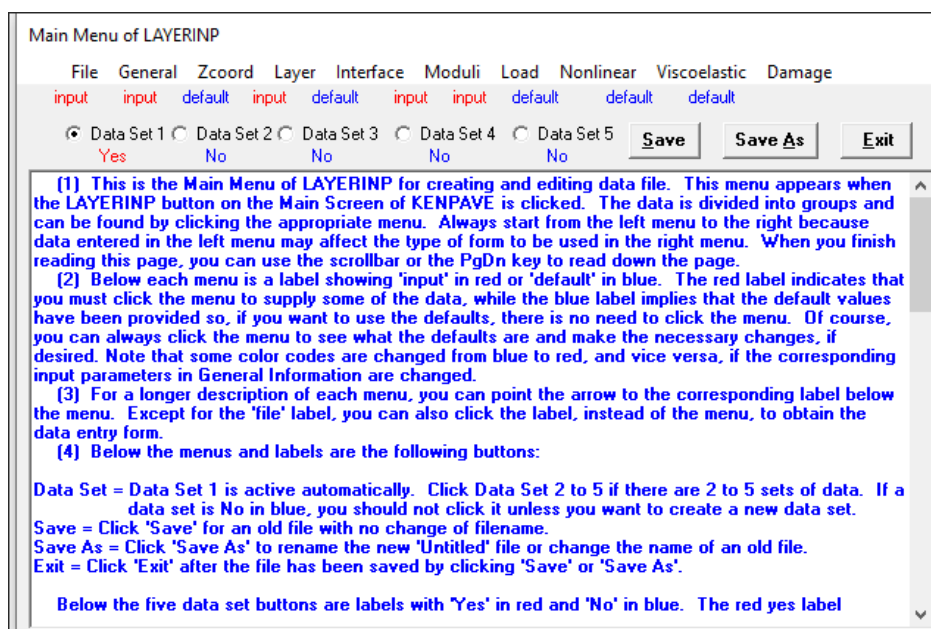
Pada menu ini peneliti dapat mengubah nama dari hasil analisis sesuai yang diinginkan.

3.3.3 Help

Menu *Help* adalah fitur yang akan memberikan informasi seperti penggunaan dan penjelasan mengenai parameter input data yang tepat.

3.3.4 *LAYERINP* atau *SLABINP*

LAYERINP dan *SLABINP* digunakan dalam pembuatan file data analisis struktur. Berikut gambar jendela *LAYERINP*.



Gambar 3.3 Main Menu of Layerinp

Bagian menu terdapat tulisan '*input*' yang dimana menu itu perlu disesuaikan dengan data struktur perkerasan yang akan dianalisis jika tertulis '*default*' maka bagian tidak harus diisi.

3.3.5 *KENLAYER* atau *KENSLABS*

KENLAYER atau *KENSLABS* merupakan menu utama dalam analisis perkerasan dan berjalan jika *file* data telah dibuat. Program ini akan menganalisis dari *file* data dan mulai eksekusi.

3.4 Program *KENLAYER*

Menu ini digunakan untuk jenis struktur perkerasan lentur yang dapat berjalan jika peneliti telas memasukkan data pada menu *LAYERINP*. Menu pada

LAYERINP terdiri dari 11 (sebelas) menu dengan masing-masing memiliki fungsi dalam memasukkan data yang akan dianalisis.

3.4.1 File

Menu *file* berguna untuk memulai analisis yang baru dengan pilihan *new* atau file yang sudah ada dengan pilihan *old*.

3.4.2 General

General untuk menunjukkan informasi dari perkerasan yang akan dilakukan analisis. Berikut pada Gambar 3.4 tampilan dari *General*.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

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

OK

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

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

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

Gambar 3.4 Tampilan Layar *General*

3.4.3 Zcoord

Zcoord adalah menu untuk menganalisis struktur perkerasan pada titik jarak koordinat Z. Nilai *NZ* pada menu *general* bisa berpengaruh pada jumlah point pada menu ini. Contoh menu *zcoord* terdapat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.

Unit in.

Point No.	ZC
1	0
2	0
3	0

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. You should not click the other cell before pressing the Enter key, otherwise the data you have typed will move to the cell you click.

(2) ZC (vertical distance, or z coordinate, of each response point): When the point is located exactly at the interface between two layers, the results are at the bottom of upper layer. If the results at the top of lower layer are desired, a slightly larger z coordinate, say 0.0001 larger, should be used.

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

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

OK

Gambar 3.5 Jendela Menu *Zcoord*

3.4.4 Layer

Menu *layer* terdapat dua kolom yang bisa dimasukan dengan data yang akan dianalisis. Kolom pertama adalah TH yaitu dari setiap layer dan kolom kedua PR yaitu *poisson's ratio* tiap layer. Contoh tampilan terdapat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.

Unit in. pcf

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

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

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

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

OK

Gambar 3.6 Tampilan Jendela *Layer*

3.4.5 NBOUND

Nilai *NBOUND* pada menu general akan mempengaruhi dari kinerja menu ini, jika *NBOUND* = 1 sehingga menu akan menjadi *default* sedangkan *NBOUND* = 2 maka menu aktif dan bisa melakukan pengisian data.

Interface No.	INT
1	0
2	0

(1) This form appears when the 'Interface' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of interfaces on this form is equal to NL - 1, where NL is specified in the 'General' menu.
 (2) INT (condition of each interface): Assign 1 for bonded interface and 0 for frictionless interface.
 (3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.
 (4) You cannot delete or add a line on this form.
 (5) Upon completion, click the OK button at the lower right corner to return to the Main Menu of LAYERINP.

OK

Gambar 3.7 Tampilan Jendela *Interface*

3.4.6 Modul

Dalam menu *modul* mempunyai beberapa periode yang bisa dimasukkan dengan data-data nilai E. Jumlah dari periode tergantung pada nilai *NY* dalam menu *general*.

Layer Modulus of each period for Data Set No. 1

Period1 input

(1) This form appears when the 'Moduli' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of periods on this form is equal to NPY, as specified in the 'General' menu. The 12 buttons on the form indicates that a maximum of 12 periods may be used. However, only the periods being actually specified are marked with the period number on the button.
 (2) Below the period button is a label showing 'input' in red, indicating that there are no defaults and you must enter the elastic modulus for each layer. After the data are entered, the letter 'input' will be changed to 'done'.
 (3) Now you can click the Period1 button to enter the data. After the data for all periods are entered, as indicated by 'done' under each period button, click OK to return to the Main Menu of LAYERINP.

OK

Gambar 3.8 Tampilan Jendela *Module*

3.4.7 Load

Kolom *load* terdapat beberapa opsi pengisian, (0) untuk kendaraan sumbu tunggal, (1) untuk kendaraan tunggal roda ganda, (2) untuk sumbu *tandem*, (3) untuk sumbu *triple*. Kolom CR merupakan radius dari kontak pembebanan, selanjutnya kolom CP merupakan nilai beban. Untuk kolom XW dan YW merupakan jarak antara roda arah x dan y. Kolom NPT dan NR merupakan titik koordinat regangan dan tegangan yang akan dianalisis. Contoh tampilan *load* terdapat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.

Load Information for Data Set No. 1

Double click anywhere on a line to get auxiliary form for NR or NPT.

Unit	in.	psi	in.	in.	
Load Group No	LOAD	CR	CP	YW	XW
1	0	0	0	0	0

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

(1) This form appears when the 'Load' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of lines, or load groups, is equal to NLG, as specified in the 'General' menu. Please refer to Figure 3.8 for wheel and axle arrangements.
 (2) LOAD (type of loading): Assign 0 for single axle with single tire, 1 for single axle with dual tires, 2 for tandem axles, and 3 for tridem axles.
 (3) CR (contact radius of circular loaded area).
 (4) CP (contact pressure on circular loaded area).
 (5) YW (center to center spacing between two dual wheels along the y axis): Assign 0 if there is only one wheel or LOAD = 0.
 (6) XW (center to center spacing between two axles along the x axis): Assign 0 if only one axle exists, i.e. LOAD = 0 or 1.
 (7) NR (number of radial coordinates to be analyzed under a single wheel, maximum 25): A single

OK

Gambar 3.9 Tampilan Jendela Load

3.5 Program KENSLABS

Program *KENPAVE* bagian *KENSLABS* untuk menganalisis *output* dari *running software KENSLABS* yang meliputi *stress* (σ), *deflection* (w), *index cracking*, dan *design life* (umur rencana). *Software KENPAVE-KENSLABS* berbasis pada metode elemen hingga, dimana slab beton dibagi menjadi elemen hingga persegi panjang dengan sejumlah besar node. Baik beban roda dan reaksi tanah dasar diterapkan ke pelat sebagai kekuatan terkonsentrasi vertikal di node (Huang, 1985).

Software KENPAVE-KENSLABS mampu dimanfaatkan untuk menghitung maksimal 6 slab beton, 7 sambungan (joint) dan 420 titik node. Setiap slab beton

dapat memiliki maksimal 15 titik node pada sumbu x dan 15 titik pada sumbu y. Analisis kerusakan dapat dibuat pada tiap tahunnya dengan membagi menjadi maksimum 12 periode dan 12 kelompok beban. Kapabilitas dari *Software KENPAVE-KENSLABS* sebagai berikut.

1. Mampu menganalisis maksimal 6 (enam) buah slab beton.
2. Setiap slab mampu memiliki ketebalan yang bervariasi.
3. Satu slab beton dapat terdiri dari 2 lapis beton, dengan ikatan antar lapis terikat (*bounded*) atau tidak terikat (*unbounded*).
4. Beban dapat tersebar merata pada luasan segi empat atau terpusat pada titik node. Tiap beban dapat mempunyai tekanan yang berbeda.
5. Efek dari *curling* akibat suhu dan jarak antara slab beton dan lapis pondasi dapat dianalisis.
6. Hubungan antara slab dan pondasi dapat diasumsikan secara kontak penuh (*full contact*) maupun tidak ada kontak pada beberapa titik node (*partial contact*).
7. *Software* ini dapat menganalisa slab beton pada tipe pondasi elastis, solid maupun berlapis (*layered*).

Batasan dalam *software KENPAVE-KENSLABS* yaitu sebagai berikut.

1. Analisis *curling* akibat suhu berdasarkan asumsi bahwa hanya terdapat satu lapisan slab dan tiap slab mempunyai ketebalan yang sama. Untuk slab dengan ketebalan beragam harus diasumsikan rata-ratanya.
2. *Software* ini tidak memperbolehkan penggunaan sambungan yang kaku dimana lendutan atau rotasi pada dua sisi sambungan besarnya sama.
3. *Software* ini hanya dapat menghitung nilai *stress* (tegangan), *deflection* (lendutan), *index cracking* dan *design life* (umur rencana) pada slab beton dan lapis pondasi. Tegangan pada lapis pondasi tidak dapat diketahui.

Ada beberapa parameter dalam menginput data ke dalam *software KENPAVE-KENSLABS* untuk mengetahui respon pada struktur rigid pavement. Melakukan input data untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) perlu terlebih dahulu klik bagian menu *SLABSNIP*.

3.4.1 File

Pada Menu *file* berguna untuk memulai analisis perkerasan kaku yang baru dengan pilihan *new* atau *file* yang sudah ada dengan pilihan *old*.

3.4.2 General

Menu *general* berfungsi untuk memasukkan informasi yang terdapat pada perkerasan yang ingin dilakukan analisis. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 mengenai tampilan menu *general*.

General Information for Set No. 1

TITLE		
Type of foundation (0=liquid, 1=solid, 2=layer)	(NFOUND)	0
Damage analysis (0=no, 1=PCA criteria, 2=user specified)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Number of slab layers	(NLAYER)	1
Bond between two slab layers (0=unbonded, 1=bonded)	(NBOND)	0
Number of slabs	(NSLAB)	1
Number of joints	(NJOINT)	0
Nodal number for checking convergence	(NNCK)	1
Number of nodes for stress printout	(NPRINT)	0
Number of nodes on X axis of symmetry	(NSX)	0
Number of nodes on Y axis of symmetry	(NSY)	0
More detailed printout (0=no, 1=yes)	(MDPD)	0
Number of nodes with different thicknesses of slab layer 1	(NAT1)	0
Number of nodes with different thicknesses of slab layer 2	(NAT2)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

Default options are shown by the black dots below. If they are not ok, please click the other button.

☒ with uniform load
☐ without uniform load

☐ with temperature curling
☒ without temperature curling

☐ with concentrated load
☒ without concentrated load

OK

(1) This form appears when the "General" on the Main Menu of SLABSINP is clicked. If you want to use the PgDn key to scroll down the page, please click this textbox. The default values apply to a single one-layer slab on a liquid foundation with no damage analysis. If the number of slabs are more than 1, be sure that the correct NSLAB and NJOINT must be entered, as indicated in red. The red NPRINT of 0 means the stresses at every node in the loaded slab will be computed and printed. This is usually not necessary for pavements because only the stresses in those nodes near to the loads are of practical significance. However, to plot the contours of stresses in a pavement slab or moments in a raft foundation, NPRINT = 0 must be used so the stresses or moments at every node in the loaded slab will

Gambar 3.10 Tampilan Jendela General

3.4.1 Slab

Pada *Slab Information* data yang dimasukkan adalah data slab dan join, *properties* slab beton yang digunakan untuk analisis dan jumlah titik pada koordinat sumbu X dan Y. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.11 Tampilan Jendela *Slab*.

Gambar 3.11 Tampilan Jendela *Slab*

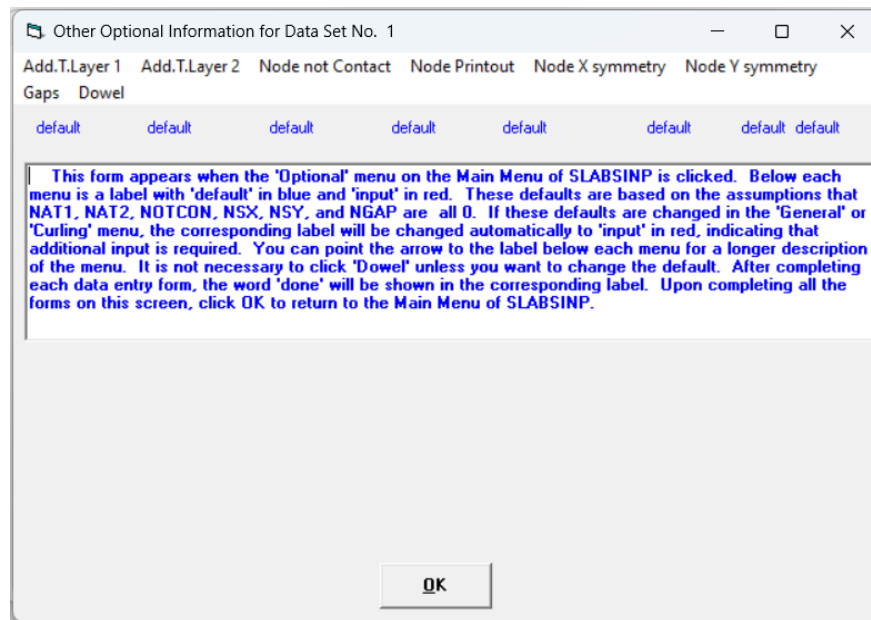
3.4.1 *Uniform*

Dalam program *KENSLABS* pembebanan perkerasan menggunakan titik koordinat pada slab beton. Pada analisis ini kelompok beban akan dibagi menjadi 2 yaitu sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu tendem roda ganda (*tandem axle double tire*). Berikut adalah Gambar 3.12 Tampilan Jendela *Uniform*.

Gambar 3.12 Tampilan Jendela *Uniform*

3.4.1 *Optional*

Menu ini muncul ketika menu “*Node Printout*” pada pilihan other information diklik. Jumlah baris atau *node* sama dengan NP (*nodal number* pada tegangan yang ingin dianalisis dan dicetak) yang diisi dalam menu “*General*”. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.13 Tampilan Jendela *Optional*.



Gambar 3.13 Tampilan Jendela *Optional*

3.4.1 *Foundation*

Form ini muncul saat $NFOUND = 1$ dan “*Foundation*” pada menu utama SLABSINP diklik. Hanya ada dua data masukan di dalam menu ini seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.14.

Solid Foundation for Data Set No. 1

Young's modulus of subgrade in psi	(YMS)	0
Poisson's ratio of subgrade	(PRS)	0

(1) This form appears when NFOUND = 1 and the 'Foundation' menu on the Main Menu of SLABSINP is clicked. There are only two entries on this form.
 (2) You can delete the default by the Del key and then type in the value of YMS in the textbox. To move the cursor to the next textbox, use the Tab key or just click on the textbox before typing in the value of PRS.
 (3) after completion, click OK to return to the Main Menu of SLABSINP

OK

Gambar 3.14 Tampilan Jendela *Foundation*

3.6 Analisis Kerusakan Perkerasan

Kerusakan pada struktur lapis perkerasan kerap sering terjadi, salah satu penyebab utama yaitu beban kendaraan yang lewat di atasnya. Dengan analisis menggunakan *KENPAVE* dapat dihasilkan nilai tegangan dan nilai regangan yang dapat memprediksi jenis kerusakan yang akan terjadi. Berikut beberapa jenis kerusakan yang akan terjadi seperti *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.

3.6.1 *Fatigue Cracking*

Untuk mengetahui jumlah repetisi beban yang telah terjadi berdasarkan regangan tarik pada bagian bawah permukaan perkerasan lentur, perlu menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \quad (3.5)$$

dengan:

N_f = jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan,

ϵ_t = *tensile strain* di bagian bawah aspal, dan

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

3.6.2 Rutting

Jumlah dari repetisi beban untuk retak berdasarkan pada regangan tekan pada bagian bawah pondasi dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$N_r = f_4(\varepsilon_c)^{f_5} \quad (3.6)$$

dengan:

N_r = jumlah repetisi beban yang diijinkan,

$f_4 f_5$ = koefisien deformasi permanen, dan

ε_c = regangan tegangan vertikal.

3.6.3 Permanent Deformation

Jumlah nilai repetisi beban dapat dihitung dengan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$N_d = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3.7)$$

dengan:

N_r = jumlah repetisi beban yang diijinkan,

$f_4 f_5$ = koefisien deformasi permanen, dan

ε_c = regangan tegangan vertikal.

3.7 Nilai Umur Sisa Layan

Umur layan struktur perkerasan adalah kemampuan daya dukung struktur perkerasan jalan dalam menahan beban yang dihasilkan oleh lalu lintas secara berulang hingga jalan tersebut membutuhkan adanya perbaikan. Dalam menentukan umur layan dapat menggunakan satuan tahun atau *million standart axle (MSA)*.

Nilai sisa umur layan didapatkan dengan analisis dengan menghitung jumlah lalu lintas dan jumlah repitisi beban ijin yang dinyatakan dengan satuan 18-Kip *ESAL*. Persamaan 3.8 berikut digunakan untuk menghitung nilai umur sisa layan.

$$RL = 100 \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \quad (3.8)$$

dengan :

RL = *remaining life*,

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

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

3.8 Elastic Layer

Elastic layer atau lapisan elastik merupakan karakteristik material pada lapis perkerasan. Karakteristik ini dianggap bahwa setiap lapisan struktur homogen, isotropis dan elastis secara linear. Permodelan lapisan elastis dapat dengan menghitung regangan, tegangan dan defleksi pada struktur perkerasan yang pada permukaannya menerima beban lalu lintas. Elastic layer menggunakan permodelan matematika sederhana yang memerlukan beberapa asumsi dasar. Berikut adalah asumsi-asumsi yang digunakan antara lain.

1. Lapisan perkerasan membentang horizontal secara tak terbatas.
2. Lapisan tanah dasar membentang ke bawah secara tak terbatas.
3. Material dari perkerasan tidak terjadi tegangan melebihi rentang elastisitasnya.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini sangat dibutuhkan kumpulan-kumpulan data yang tersedia untuk dianalisis, jika data tersebut tidak bisa didapat semua akan berakibat pada tidak berjalannya penelitian yang akan dilaksanakan. Terdapat dua jenis data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari orang pertama seperti hasil pengamatan langsung pada lapangan, sementara itu untuk data sekunder merupakan data yang sudah tersedia diberbagai tempat seperti didapat dari pemerintah, perusahaan, universitas, biro pusat statistik, dan perpustakaan. Kekurangan dari data sekunder yang dimiliki dapat dilengkapi dengan data primer.

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari P2JN Provinsi Jawa Barat. Berikut beberapa data yang sudah diperoleh untuk melakukan analisis jalan arteri di Provinsi Jawa Barat.

1. Peta lokasi pekerjaan
2. Data Lalu lintas Harian Rerata (LHR)
3. Data Material yang digunakan pada perkerasan
4. Data dari struktur perkerasan eksisting seperti geometri jalan (Panjang jalan, lebar jalan, jumlah arah dan jalur jalan) dan desain dari struktur perkerasan tersebut.

4.2 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini dibantu dengan *software* agar mempermudah proses dalam menganalisis yaitu *Microsoft Excel 2018* dan *KENPAVE*. Berikut ini adalah tahapan analisis data dalam penelitian ini.

1. Melaksnakan perhitungan tentang pembagian sumbu pada masing-masing golongan kendaraan

2. Melakukan analisis faktor pertumbuhan lalu lintas dengan Persamaan 4.1 sebagai berikut

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (4.1)$$

dengan

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

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

UR = umur rencana (tahun).

3. Menghitung *vehicle damage factor* menggunakan Tabel 3.4 dan Tabel 3.5

4.3 Lokasi Studi Kasus

Pada penelitian ini, lokasi peninjauan bertempat di Ruas Jalan Kelapagenep-Cipatujah-Pangandaran sepanjang 1.200 meter yang dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Peta Ruas Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran
(Sumber: *Google Earth*, 2023)

Berikut merupakan data kondisi dari lokasi penelitian pada Ruas Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran di tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Kondisi Ruas Jalan Kalapagenep – Cipatujah – Pangandaran

Klasifikasi Ruas Jalan	Data Ruas Jalan
Status Jalan	Jalan Arteri
Tipe Perkerasan	Perkerasan Lentur
Panjang Jalan (yang diteliti)	1,2 km
Lebar Jalan	7 m

4.4 Tahapan Desain Struktur Perkerasan Bina Marga 2017

Terdapat tahapan-tahapan desain perkerasan jalan pada Manual Desain Perkerasan Jalan N0.04/SE/Db/2017 atau sering disebut sebagai Bina Marga 2017. Berikut tahapan dari desain perkerasan jalan berdasarkan Bina Marga 2017.

1. Melakukan penentuan umur rencana (UR).
2. Menganalisis data lalu lintas harian rerata tahunan (LHRT).
3. Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas.
4. Menentukan faktor ekuivalen beban.
5. Menganalisis perhitungan *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)* dan *Heavy Vehicle Axle Group (HVAG)*.
6. Menentukan desain dari pondasi jalan.
7. Menentukan desain perkerasan yang akan dijadikan sebagai alternatif.

4.5 Prosedur Metode *KENPAVE-KENLAYER*

Dalam penelitian ini pemodelan desain struktur perkerasan lentur menggunakan program *KENPAVE-KENLAYER*. Prosedur dari program ini sebagai berikut.

1. Menentukan data-data material seperti
 - a. Mendapatkan tebal desain perkerasan
 - b. Melakukan perkiraan terhadap nilai modulus elastisitas (E) pada tiap lapisan struktur perkerasan
 - c. Menentukan nilai *poisson's ratio* pada tiap lapisan struktur perkerasan
2. Menganalisis minimum data lalu lintas

3. Melakukan permodelan struktur perkerasan lentur menggunakan *KENPAVE-KENLAYER*
4. Memasukkan data mengenai struktur perkerasan, seperti jenis material, total layer *Z*, jenis respon yang dianalisa, jenis pengikat lapisan perkerasan dan menentukan satuan
5. Melakukan *input* data jumlah point dengan jarak vertikal selanjutnya dapat *input* ketebalan dan nilai *poisson's ratio* pada setiap lapisan struktur perkerasan
6. Menambahkan data dari ikatan antar lapisan
7. Melakukan *input* jumlah periode dan nilai modulus elastisitas tiap lapis dilanjutkan dengan *input* data beban lalu lintas
8. Mendapatkan hasil berupa defleksi dari *KENPAVE-KENLAYER*

4.6 Prosedur Metode *KENPAVE-KENSLABS*

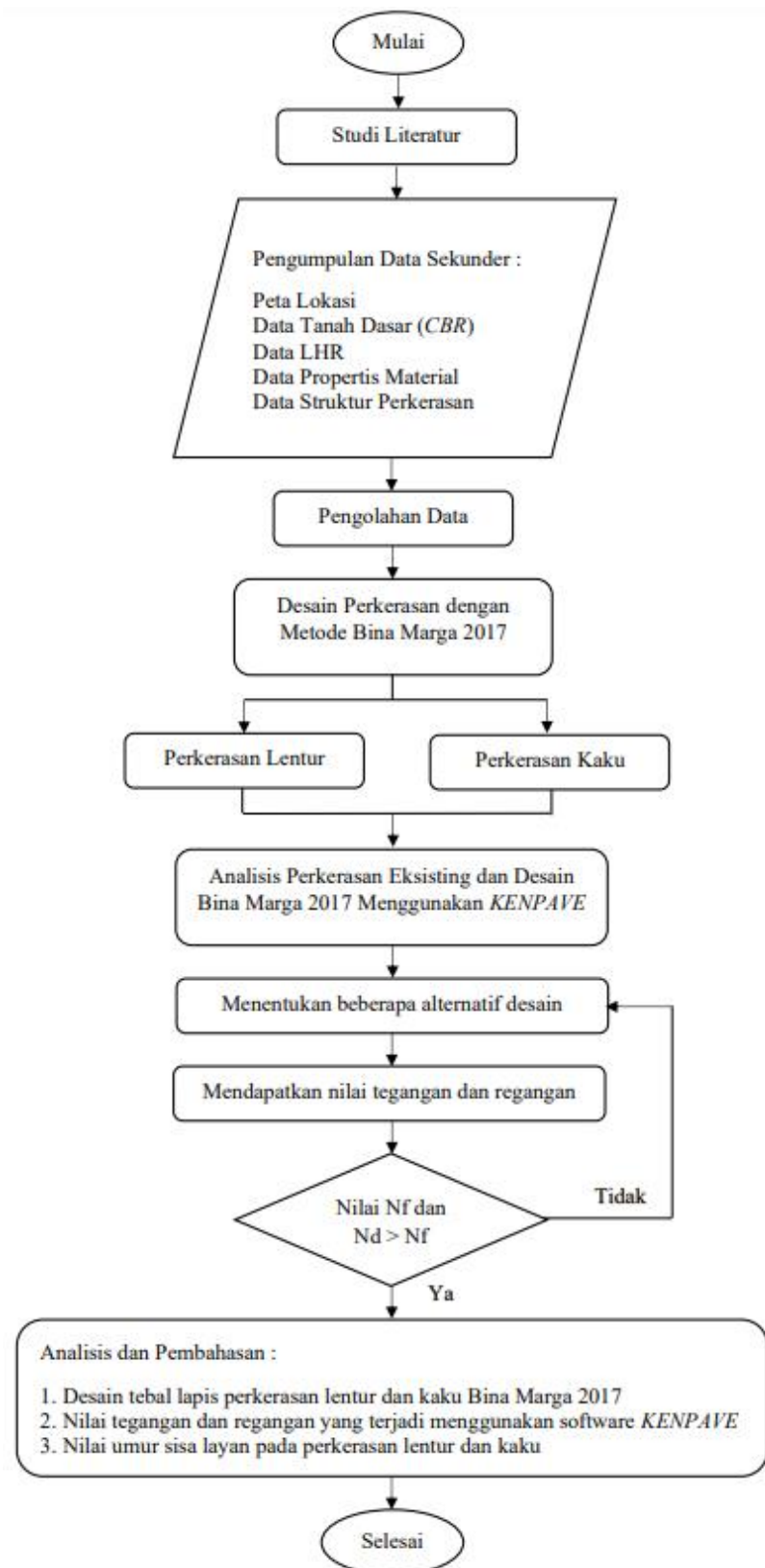
Pemodelan pada desain perkerasan kaku menggunakan *KENPAVE-KENSLABS*, untuk prosedurnya dapat dilihat berikut ini.

1. Menentukan data material seperti
 - a. Jenis dan ketebalan tiap lapis perkerasan
 - b. Dimensi pada slab beton
 - c. Menentukan nilai modulus elastisitas dan *poisson's ratio* pada tiap lapis perkerasan
2. Melakukan analisis minimum data lalu lintas
3. Membuat permodelan pada struktur perkerasan kaku dengan menggunakan *KENPAVE-KENSLABS*
4. Memasukkan data mengenai tipe pondasi yang digunakan, jumlah periode dalam satu tahun, jumlah grup beban dan jumlah slab beton.
5. Menambahkan informasi tentang slab beton meliputi jumlah node pada sumbu *x* dan *y*, koordinat node dan propertis material slab beton.
6. Memasukkan data beban lalu-lintas meliputi nomor slab yang dibebani, koordinat *x* dan *y* dari beban lalu-lintas serta tekanan kontak.

7. Memasukkan data propertis material lapis pondasi dan tanah dasar antara lain: tebal lapisan, *poisson's ratio* dan modulus elastisitas (*modulus of subgrade reaction*).
8. Menentukan respon sensitivitas *rigid pavement* dengan hasil *running Software KENPAVE-KENSLABS* yang meliputi maksimum *stress* (σ), *maksimum deflection* (w), *index cracking*, dan *design life*.
9. Menganalisis pengulangan beban yang diizinkan untuk memodelkan perkerasan.

4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan gambaran visual yang menggambarkan urutan langkah-langkah atau proses yang akan digunakan dalam sebuah peniltian. Bagan ini berperan sebagai visualisasi dalam pelaksanaan penelitian dari awal hingga sampai akhir, serta menggambarkan keterkaitan antara setiap langkah atau proses penelitian tersebut. Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Tebal Struktur Perkerasan dengan Bina Marga 2017

5.1.1 Data Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder yang didapatkan melalui P2JN Provinsi Jawa Barat. Data sekunder tersebut memuat data tebal perkerasan eksisting dan data lalu lintas pada tahun 2020.

5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisting

Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran termasuk jalan arteri yang mempunyai Panjang total ± 90 km. Menurut data yang didapatkan dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jawa Barat, memuat tebal struktur tebal perkerasan eksisting yang memiliki lapis banyak. Struktur perkerasan eksisting dapat dilihat dalam Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan
<i>AC-WC</i>	4 cm
<i>AC-BC</i>	6 cm
<i>LPA kelas A</i>	30 cm

5.1.3 Kondisi Ruas Jalan

Kondisi dari Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah ini.

Tabel 5.2 Kondisi Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran

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

5.1.4 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas harian rata-rata pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dapat dideskripsikan pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas jalan Cipatujah-Kalapagenep–Pangandaran

No.	Gol.	Jenis Kendaraan	LHR 2019
1.	1	Sepeda Motor	10052
2.	2	Sedan, Jeep dan Station Wagon	2071
3.	3	Pick Up, Combi dan Mini Bus	1278
4.	4	Pick Up, Mini Truk, dan Mobil Hataran	1065
5.	5a	Bus Kecil	145
6.	5b	Bus Besar	61
7.	6a	Truk Ringan 2 Sumbu	659
8.	6b	Truk Berat 2 Sumbu	467
9.	7a	Truk Ringan 3 Sumbu	112
10.	7b	Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	15
11.	7c	Truk 4 Sumbu - Trailer	17
12.	8	Kendaraan Tak Bermotor	52

Sumber : Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Jawa Barat 2020

5.1.5 Perhitungan Beban Lalu Lintas

Data lalu lintas tersebut dapat menentukan nilai *CESA*. Mendapatkan nilai *CESA* juga memerlukan penentuan nilai dari beberapa faktor berikut.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dinyatakan dengan satuan persen pertahun (%/tahun). Perhitungan dari pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan data LHR 2019 dan 2020 dengan satuan smp/jam. Cara mengubah LHR kend/jam menjadi LHR smp/jam dengan mengalikan pada ekivalen mobil penumpang (emp) sesuai jenis kendaraan. Berikut adalah Tabel 5.4 hasil rekapitulasi perhitungan pada LHR 2019 dan 2020 dengan satuan smp/jam.

Tabel 5.4 Data LHR 2019 dan LHR 2020

Jenis Kendaraan	LHR 2019 kend/jam	emp	LHR 2019 smp/jam	LHR 2020 kend/jam	emp	LHR 2020 smp/jam
1	10174	0.4	4069,6	10052	0.4	4020,8
2,3,4	3103	1	3103	4414	1	4414
5A	219	1.3	284,7	145	1.3	188,5
5B	201	1.3	261,3	61	1.3	79,3
6A	278	1.3	361,4	659	1.3	856,7
6B	396	1.3	514,8	467	1.3	607,1
7A	159	1.3	206,7	112	1.3	145,6
7B	18	1.3	23,4	15	1.3	19,5
7C	147	1.3	191,1	17	1.3	22,1
Total			9016	Total		10353,6

Nilai laju pertumbuhan lalu lintas tahunan atau $i(2019-2020)$ dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$i = \frac{jml\ kend.tahun\ 2020 - jml\ kend.tahun\ 2019}{jml\ kend.tahun\ 2019} \times 100\%$$

$$i = \frac{10354 - 9016}{9016} \times 100\%$$

$$i = 14,84\%$$

Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas $R(2022-2062)$ dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

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

$$R = \frac{(1+0,01 \times 14,81\%)^{40}-1}{0,01 \times 14,81\%}$$

$$R = 41,180$$

b. Faktor distribusi lajur (D_L)

Faktor distribusi lajur ditentukan melalui Tabel 3.3, untuk kendaraan niaga dengan jumlah lajur setiap arah yaitu 1 sehingga didapatkan nilainya sebesar 100%.

c. Faktor distribusi arah (D_D)

Faktor distribusi arah pada Bina Marga 2017 disarankan untuk menggunakan nilai antara 0,3 sampai 0,7 maka dapat ditentukan untuk nilai faktor distribusi arah sebesar 0,5.

d. VDF (*Vehicle Damage Factor*)

Nilai VDF pada setiap kendaraan yang dalam perhitungan ESA dapat dilihat pada Tabel 5.5 Nilai VDF Jenis Kendaraan berikut ini.

Tabel 5.5 Nilai VDF Jenis Kendaraan

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

Sumber : Bina Marga 2017

Perhitungan untuk nilai *CESA* 4 dan *CESA* 5 dalam umur 40 tahun menggunakan rumus persamaan 3.2 dengan data yang sudah dijelaskan diatas. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 untuk *CESA* 4 dan Tabel 5.7 untuk *CESA* 5. Sedangkan, untuk perhitungan *CESA* 4 dan 5 pertahun dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.6 Perhitungan Nilai CESA 4

Jenis Kendaraaan	LHR 2020	LHR 2022	LHR 2023	VDF 4 Aktual	ESA4 (22-62)
1	10052	13257	15225	-	-
2,3,4	4414	5822	6686	-	-
5A	145	192	220	0,3	432879,7469
5B	61	81	93	1	608737,1441
6A	659	870	999	0,55	3596058,314
6B	467	616	708	5,3	24535864,54
7A	112	148	170	8,2	9120535,778
7B	15	20	23	11,8	1773604,519
7C	17	23	26	11	1901364,166
<i>CESA 40 Tahun</i>					41.969.044,21
					$41,97 \times 10^6$

Tabel 5.7 Perhitungan Nilai CESA 5

Jenis Kendaraan	LHR 2020	LHR 2022	LHR 2023	VDF 5 Aktual	ESA5 (22-62)
1	10052	13257	15225	-	-
2,3,4	4414	5822	6686	-	-
5A	145	192	220	0,2	288586,4979
5B	61	81	93	1	608737,1441
6A	659	870	999	0,5	3269143,922
6B	467	616	708	9,2	42590557,32
7A	112	148	170	14,4	16016550,64
7B	15	20	23	18,2	2735559,512
7C	17	23	26	19,8	3422455,499
<i>CESA 40 Tahun</i>					68.931.590,53
					$68,93 \times 10^6$

Berdasarkan pada perhitungan diatas diperoleh nilai $CESA^4$ sebesar $41,97 \times 10^6$ dan $CESA^5$ sebesar $68,93 \times 10^6$.

Tabel 5.8 Rekapitulasi *CESA4* dan *CESA5* Setiap Tahun

Tahun	<i>CESA4</i>	<i>CESA5</i>
2023	1,019,171.25	1,673,926.50
2024	2,039,854.95	3,350,337.11
2025	3,062,053.34	5,029,235.51
2026	4,085,768.68	6,710,625.39
2027	5,111,003.21	8,394,510.46
2028	6,137,759.19	10,080,894.41
2029	7,166,038.88	11,769,780.96
2030	8,195,844.53	13,461,173.82
2031	9,227,178.41	15,155,076.70
2032	10,260,042.79	16,851,493.33
2033	11,294,439.95	18,550,427.45
2034	12,330,372.15	20,251,882.78
2035	13,367,841.67	21,955,863.08
2036	14,406,850.80	23,662,372.08
2037	15,447,401.81	25,371,413.54
2038	16,489,497.01	27,082,991.22
2039	17,533,138.67	28,797,108.87
2040	18,578,329.10	30,513,770.28
2041	19,625,070.59	32,232,979.22
2042	20,673,365.44	33,954,739.46

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi CESA4 dan CESA5 Setiap Tahun

Tahun	<i>CESA4</i>	<i>CESA5</i>
2043	21,723,215.97	35,679,054.79
2044	22,774,624.47	37,405,929.01
2045	23,827,593.26	39,135,365.91
2046	24,882,124.66	40,867,369.29
2047	25,938,220.98	42,601,942.97
2048	26,995,884.55	44,339,090.75
2049	28,055,117.70	46,078,816.46
2050	29,115,922.74	47,821,123.93
2051	30,178,302.02	49,566,016.97
2052	31,242,257.87	51,313,499.44
2053	32,307,792.63	53,063,575.18
2054	33,374,908.65	54,816,248.02
2055	34,443,608.26	56,571,521.83
2056	35,513,893.82	58,329,400.47
2057	36,585,767.69	60,089,887.80
2058	37,659,232.22	61,852,987.70
2059	38,734,289.77	63,618,704.03
2060	39,810,942.71	65,387,040.69
2061	40,889,193.40	67,158,001.56
2062	41,969,044.21	68,931,590.53

5.1.6 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Bina Marga 2017

Penentuan jenis dan tebal struktur perkerasan ditinjau dari perhitungan analisis beban lalu lintas. Berdasarkan Tabel 3.7 dapat ditentukan jenis perkerasan melalui nilai dari *CESA* 4. Dalam perhitungan didapatkan nilai *CESA* 4 sebesar $41,97 \times 10^6$ menggunakan Bagan Desain 3 dan 4 yaitu desain 3 perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB serta bagan desain 4 perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat. Berikut merupakan detail dalam penentuan jenis stuktur perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 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 $CBR \geq 2,5\%$)	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 fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasaan tanpa penutup (Japat, Jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Bina Marga (2017)

5.1.6.1 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Lentur

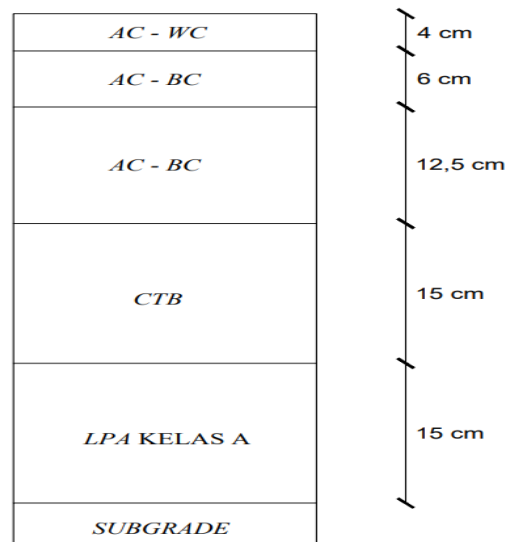
Penentuan untuk tebal struktur perkerasan lentur ditentukan dari hasil perhitungan CESA 5 yaitu sebesar $68,93 \times 10^6$. Berikut penentuan tebal perkerasan lentur yang terdapat pada Tabel 5.10 yang sesuai pada Bagan Desain 3 dari Bina Marga 2017.

Tabel 5.10 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum dengan CTB

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

Sumber: Bina Marga (2017)

Dari Tabel 5.10 dapat diambil tebal struktur perkerasan lentur yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 5. 1 sebagai berikut.

**Gambar 5.1 Tebal Perkerasan CTB Setiap Lapis**

5.1.6.2 Penentuan Tebal Lapis Perkerasan Kaku

Penentuan tebal perkerasan kaku tidak menggunakan *ESA* melainkan menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*Heavy Vehicle Axle Group, HVAG*). Untuk menentukan *HVAG* memerlukan beberapa data sebagai berikut.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dinyatakan dengan satuan persen pertahun (%/tahun). Didapatkan nilai i sebesar 14,84% dari perhitungan laju pertumbuhan lalu lintas tahunan $i(2019-2020)$. Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas $R(2022-2062)$ didapatkan nilai sebesar 41,180.

b. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Dari nilai $i(2019-2020)$ yang sudah didapatkan, mampu menghitung LHR 2022 yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Nilai LHR 2022

Kode	Jenis Kendaraan	LHR 2022
1	Sepeda motor	13257
2,3,4	Mobil penumpang, <i>Pickup</i>	5822
5A	Bus kecil	192
5B	Bus besar	81
6A	Truk ringan 2 sumbu	870
6B	Truk berat 2 sumbu	616
7A	Truk ringan 3 sumbu	148
7B	Truk 2 sumbu dan trailer penarik	20
7C	Truk 4 sumbu - trailer	23

Sumber : Bina Marga 2017

c. Faktor distribusi lajur (D_L)

Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga dengan jumlah lajur setiap arah yaitu 1 sehingga didapatkan nilainya sebesar $100\% / 1$

d. Faktor distribusi arah (D_D)

Faktor distribusi arah menggunakan nilai antara 0,3 sampai 0,7 yang disarankan pada Bina Marga 2017, maka dapat ditentukan untuk nilai faktor distribusi arah sebesar 0,5.

e. Jumlah kelompok sumbu

Kelompok sumbu untuk perhitungan *HVAG* dapat ditentukan melalui Tabel 3.5 tentang nilai VDF masing-masing jenis kendaraan niaga. Berikut ini adalah kelompok sumbu yang akan digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Nilai Jumlah Kelompok Sumbu

Kode	Jenis Kendaraan	Kelompok Sumbu
1	Sepeda motor	2
2,3,4	Mobil penumpang, <i>Pickup</i>	2
5A	Bus kecil	2
5B	Bus besar	2
6A	Truk ringan 2 sumbu	2
6B	Truk berat 2 sumbu	2
7A	Truk ringan 3 sumbu	3
7B	Truk 2 sumbu dan trailer penarik	4
7C	Truk 4 sumbu - trailer	4

Sumber : Bina Marga 2017

f. *High Vehicle Axle Group*

Perhitungan *HVAG* dapat ditentukan melalui Persamaan 3.3 tentang bagaimana cara menghitung dan menentukan nilai dari *HVAG*. Berikut adalah hasil dari perhitungan *HVAG* menggunakan Persamaan 3.3 dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Perhitungan Nilai HVAG

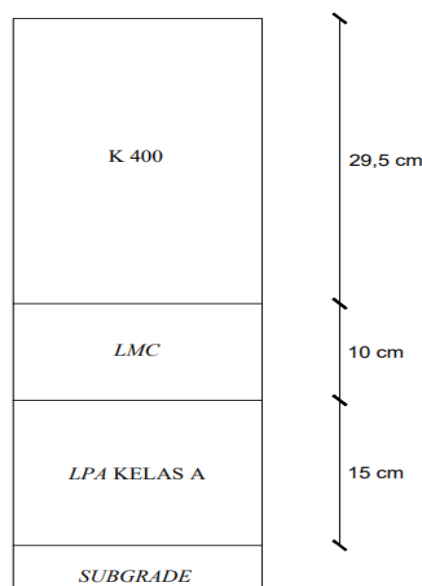
Jenis Kendaraan	Jumlah Kelompok Sumbu	LHR 2022	Kelompok Sumbu 2022	Jumlah kelompok sumbu 22-62
1	2	13257	-	-
2,3,4	2	5822	-	-
5A	2	192	384	2.885.864,979
5B	2	81	162	1.217.474,288
6A	2	870	1740	13.076.575,69
6B	2	616	1232	9.258.816,809
7A	3	148	444	3.336.781,382
7B	4	20	80	601.221,8707
7C	4	23	92	691.405,1513
<i>HVAG 40 Tahun</i>				31.068.140,17
				$31,06 \times 10^6$

Perhitungan pada Tabel 5.13 menghasilkan nilai untuk *HVAG* 40 tahun sebesar $31,06 \times 10^6$. Dari hasil tersebut dapat ditentukan tebal dari perkerasan kaku berdasarkan Bina Marga 2017 yang sesuai pada bagan bagian 4. Berikut penentuan tebal perkerasan kaku yang dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.2.

Tabel 5.14 Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overload) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
SRTUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal plat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber : Bina Marga (2017)



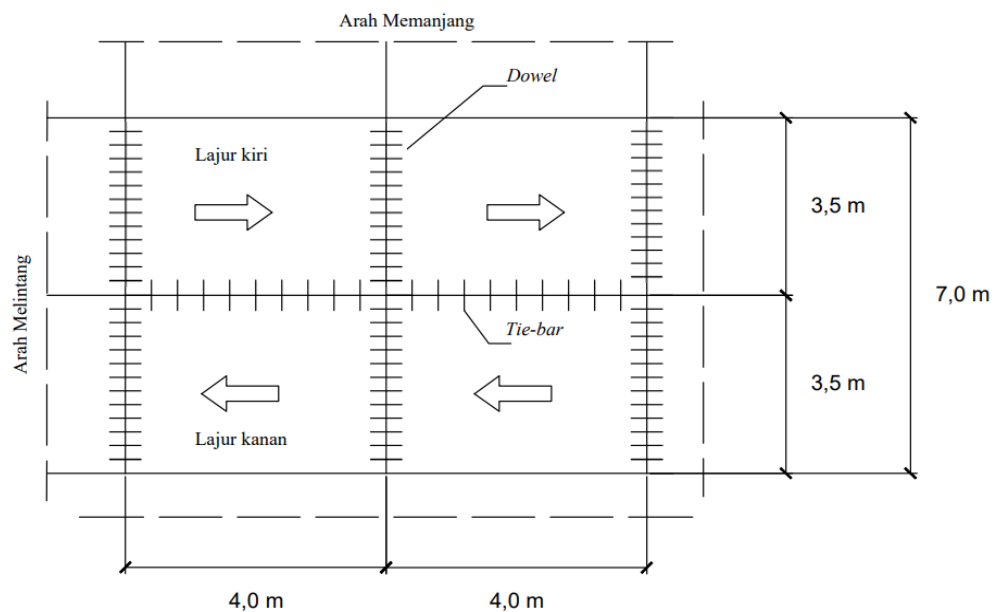
Gambar 5.2 Detail Tie-bar (Batang Pengikat) Sambungan Memanjang

5.1.7.1 Penentuan Sambungan dan Tulangan

Analisis penentuan sambungan dan tulangan dapat direncanakan dengan tipe perkerasan kaku yang didasarkan pada metode mengacu pedoman teknis

Departemen Kimpraswil (Pd T-14-2003) yaitu perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) atau *Jointed plain concrete pavement* (JPCP) dengan data sebagai berikut.

- Tebal pelat beton (h) = 29,5 cm = 0,295 m
- Lebar pelat beton = 2 x 3,5 m = 7 m
- Panjang pelat beton = 4 m (Pd T-14-2003)
- Sambungan susut dipasang setiap = 4 m
 - Data tersebut dapat menghasilkan geometri pada sambungan memanjang yang menggunakan (*tie-bar*) dan sambungan susut melintang menggunakan (*dowel*) untuk perkerasan Beton bersambung Tanpa Tulangan (BBTT/JPCP) dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

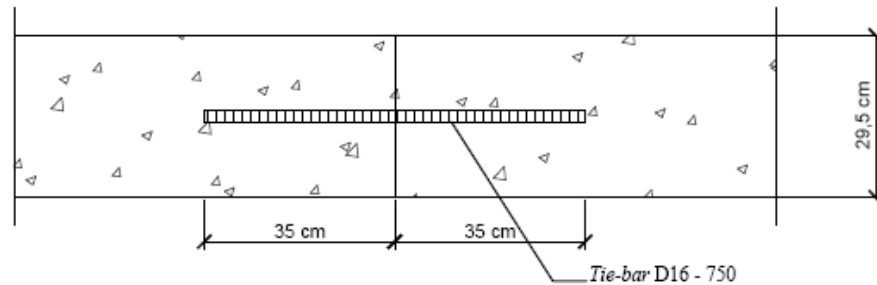


Gambar 5.3 Geometri Sambungan Memanjang (Tie-bar) dan susut Melintang (Dowel) Perkerasan BBTT/JPCP

a. *Tie-bar* (batang pengikat) sambungan memanjang :

- Diameter = 16 mm baja ulir (Pd T-14-2003)
- Jarak = 75 cm (Pd T-14-2003)
- Panjang = $(38,3 \times 16) + 75$
 $= 687,8 \text{ mm} = 68,78 \text{ cm} = 70 \text{ cm}$

Berdasarkan hasil analisis *tie-bar* (batang pengikat) pada sambungan memanjang dengan baja ulir D16 - 750, detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Detail *Tie-bar* (Batang Pengikat) Sambungan Memanjang

b. *Dowel* (ruji) sambungan susut melintang ;

- Diameter

Diameter pada ruji penentuannya menggunakan Tabel 5.15 yang dapat dilihat berikut ini.

Tabel 5.15 Diameter Ruji

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

Sumber : Pd T-14-2003

Berdasarkan penentuan diameter ruji dikarenakan tebal pelat yang digunakan sebesar 295 mm maka penyesuaiannya menggunakan nomer 5 pada tabel, didapatkan diameter 36 mm dengan baja polos yang akan dipakai dalam perkerasan.

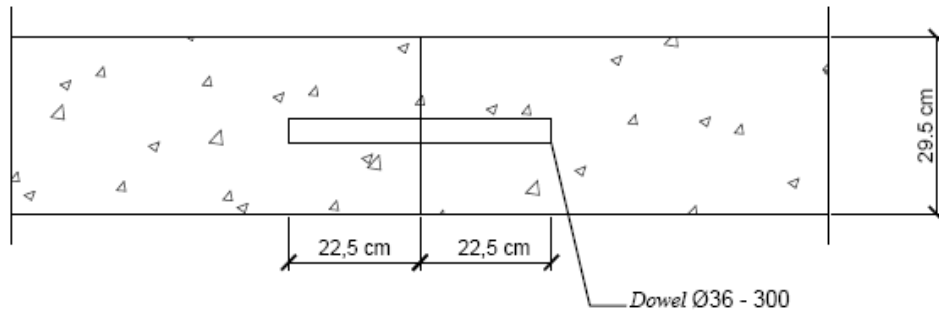
- Jarak

Jarak antar batang pengikat menurut Pd T-14-2003 ditentukan dengan nilai 30 cm.

- Panjang

Panjang setiap sambungan memanjang menurut Pd T-14-2003 ditentukan menggunakan 45 cm.

Berdasarkan hasil analisis *dowel* (batang ruji) pada sambungan melintang dengan baja polos, detailnya dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Detail Dowel (Batang Ruji) Sambungan Susut Melintang

5.2 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan dengan *KENPAVE-KENLAYER*

Pada evaluasi ketebalan desain struktur perkerasan menggunakan program *KENPAVE-KENLAYER*, parameter yang digunakan untuk mengetahui nilai tegangan-regangan dan lendutan harus mengetahui nilai *Poisson's Ratio* dan modulus elastisitas pada masing-masing lapisan struktur perkerasan. Hasil dari repetisi beban dihasilkan dari nilai regangan yang terdapat pada lapisan *surface* dan dibawah lapis *subbase*. Desain struktur yang akan dievaluasi dengan *KENPAVE-KENLAYER* ini meliputi tebal eksisting dan desain Bina Marga 2017 yang menggunakan *CTB*. Berikut ini terdapat hasil rekapitulasi desain struktur perkerasan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Tebal Struktur Perkerasan

Lapis Perkerasan	Eksisting (mm)	<i>CTB</i> (mm)
<i>Surface</i>	40	40
<i>Base</i>	60	335
<i>Subbase</i>	300	150

5.2.1 Evaluasi Tebal Desain Perkerasan Eksisting Menggunakan *KENPAVE-KENLAYER*

Data yang diperlukan pada evaluasi ini adalah tebal desain struktur perkerasan eksisting dievaluasi dengan *KENPAVE-KENLAYER* yang bertujuan guna mengetahui besaran kemungkinan kerusakan yang terjadi pada perkerasan.

1. Data yang diperlukan dalam analisis *KENPAVE-KENLAYER*

Data dalam analisis yang diperlukan pada *KENPAVE-KENLAYER* yaitu berupa data nilai *poisson's ratio* dan modulus elastisitas pada masing-masing lapisan struktur perkerasan. Berikut adalah rekap dari parameter tiap lapisan perkerasan yang terdapat dalam Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Parameter Tiap Lapis Perkerasan

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

Sumber : Bina Marga (2017)

2. Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan dengan *KENPAVE-KENLAYER*

Evaluasi pada tebal desain struktur perkerasan eksisting dengan *KENPAVE-KENLAYER* bertujuan untuk mengetahui tegangan dan regangan pada perkerasan lentur. Tahapan dari pengerjaan berupa memilih menu *LAYERINP* yang terdapat pada tampilan awal *KENPAVE*, selanjutnya melakukan *input* data yang terdapat pada setiap *toolbar*.

a. *General*

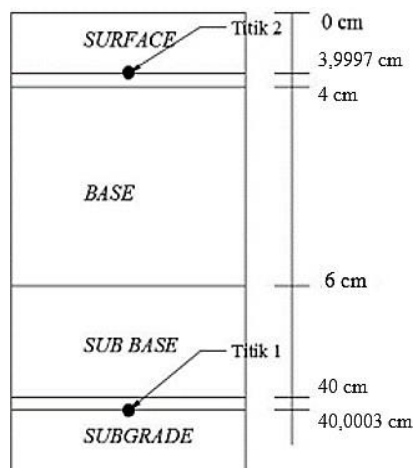
Tahapan pertama yaitu mengisi setiap nilai yang terdapat pada menu *general* seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Input Data pada Menu *General*

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Eksisting	Diisi sesuai dengan desain yang dimasukkan
<i>MATL</i>	1	Analisis lapisan perkerasan dengan metode linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak adanya analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NLG</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	4	Jumlah <i>layer</i> perkerasan yang dianalisis
<i>NZ</i>	4	Letak titik koordinat arah Z yang akan dianalisis
<i>ICL</i>	80	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NSDT</i>	9	Untuk nilai tegangan-regangan dan vertikal <i>displacement</i>
<i>NBOND</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NLCT</i>	1	Mengikuti ketentuan <i>KENPAVE</i>
<i>NUNIT</i>	1	SI (Standar International)

b. *Zcoord*

Titik tinjau kerusakan harus disesuaikan dengan nilai *NZ* yaitu 4 titik. Titik tinjau yang pertama terletak pada bagian bawah perkerasan. Titik tersebut berguna untuk meninjau kerusakan *permanent deformation*. Kerusakan *rutting* dan *fatigue cracking* dapat ditinjau pada titik tinjau kedua yang terletak pada bagian bawah lapisan *surface*. Detail penempatan tiap titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.6 Letak Titik Tinjauan Kerusakan

c. *Layer*

Pada menu *layer* ini data yang akan dimasukkan berupa data *Poisson's Ratio* pada setiap lapisan struktur perkerasan yang dianalisis data ini dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Data Input Layer

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

d. *Moduli*

Menu moduli berisikan nilai dari modulus elastisitas pada tiap lapis struktur perkerasan. Nilai modulus elastisitas tersebut tercantum pada Tabel 5.20 yang dapat dilihat berikut ini.

Tabel 5.20 Data Input Moduli

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

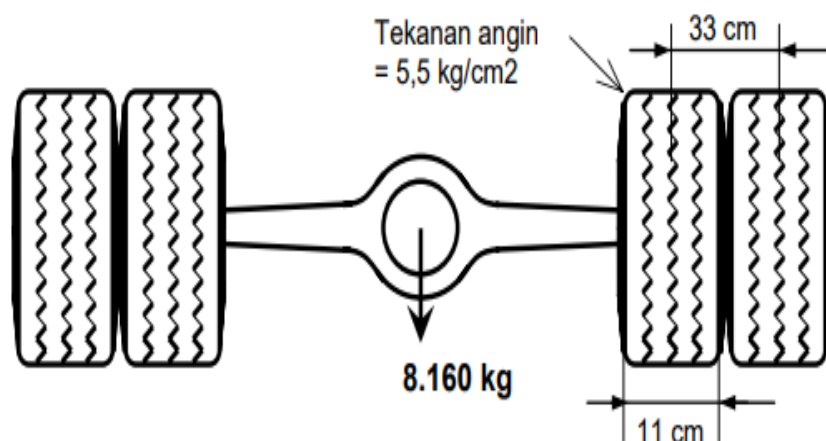
e. *Load*

Data yang akan dimasukkan pada menu load dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Data *Input Load*

Data No.	1	Grup
Load	1	<i>Single axle load, roda gandar tunggal</i>
CR	11	Berdasarkan jarak antar ban (cm)
CP	550	Nilai tekanan ban (kPa)
YW	33	Jarak antara sumbu roda gandar
XW	0	Berdasarkan sumbu standar
NPT or NR	3	Jumlah titik koordinat tinjaun

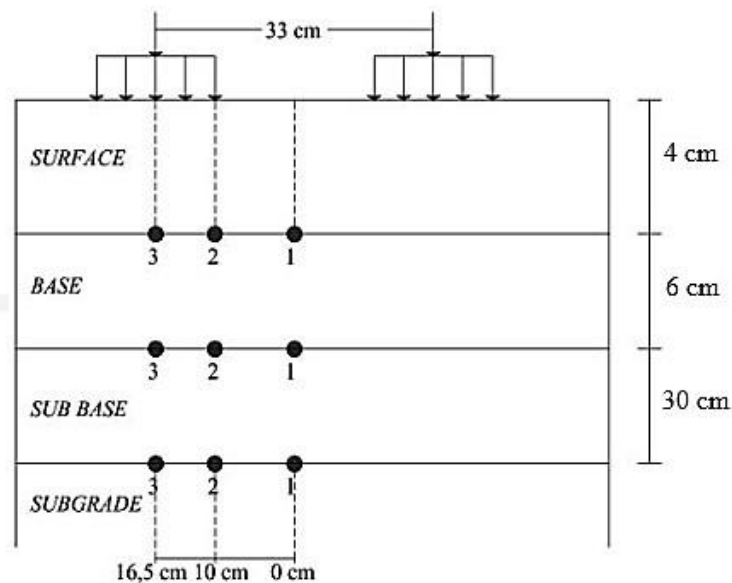
Dikarenakan penelitian ini akan menggunakan *single axle with dual tires* maka nilai *CR*, *CP*, *YW* dan *XW* dapat dilihat pada Gambar 5.7 mengenai sumbu standar berikut ini.



Gambar 5.7 Sumbu Standar 8160 kg

Sumber : Sukirman (1992)

Penentuan nilai dari *NPT* didapatkan dengan melihat titik koordinat tinjauan yang terdapat pada *single axle with dual tires* terdapat 3 titik tinjau yang akan dijelaskan pada Gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5.8 Letak Titik Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda

Tahapan berikutnya jika semua data telah selesai diinput lalu dapat melanjutkannya dengan menyimpan *file* dan kembali pada menu utama *KENPAVE*. Tahapan terakhir yaitu dengan meninjau hasil dari analisis dengan memilih menu *KENLAYER*, proses untuk mendapatkan hasil tinjauan memerlukan waktu beberapa saat sampai terlihat hasil *running* dengan nama file *'textdocument'*.

1. Hasil Analisis dari *KENLAYER*

Program *KENLAYER* memiliki hasil analisis berupa nilai tegangan dan regangan yang dialami pada desain struktur perkerasan jalan. Berikut adalah hasil nilai tegangan dan regangan yang terjadi disaat struktur perkerasan jalan mendapati pembebanan yang ditinjau dengan titik koordinat yang sudah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Hasil Analisis Permodelan Eksisting

Pengulangan Beban	<i>Fatigue</i> (<i>Vertical Strain</i>) pada kedalaman 3,9997 mm	<i>Rutting</i> (<i>Horizontal Strain</i>) pada kedalaman 3,9997 mm	<i>Permanent</i> <i>Deformation</i> (<i>Vertical Strain</i>) pada kedalaman 40,0003 mm
1	0,0000397	0,0001134	0,0007241
2	0,0000535	0,0000442	0,0007904
3	0,0000999	0,0003056	0,0008013
Maksimum	0,0000999	0,0003056	0,0008013

Dari Tabel 5.22 didapatkan hasil nilai pada lapisan tepat di bawah *surface* pada desain struktur perkerasan sebesar 0,000099 yang akan menjadi data analisis kerusakan pada jenis *Nf/fatigue cracking*. Analisis untuk kerusakan *Nd rutting* dan *permanent deformation* setiap kerusakan mendapatkan nilai sebesar 0,0003056 dan 0,0008013.

Hasil dari tegangan dan regangan tersebut mampu dihitung dengan Persamaan 3.5 sampai dengan Persamaan 3.7 yang bertujuan untuk menghitung jumlah lintasan (dalam satuan *ESAL*) yang mengakibatkan terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* pada struktur perkerasan jalan.

- a. Perhitungan jumlah repetisi beban pada kerusakan *fatigue cracking*

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

$$N_f = 0,0796 (0,0000999)^{-3,921} |1200000|^{-0,854}$$

$$N_f = 7,926E+06 \text{ ESAL}$$

- b. Perhitungan nilai *Nd* pada kerusakan *rutting*

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (0,0003056)^{-4,477}$$

$$Nd = 7,431E+06 \text{ ESAL}$$

c. Perhitungan nilai Nd pada kerusakan *permanent deformation*

$$Nd = f_4(\epsilon c)^{f5}$$

$$Nd = 1,365 \times 10^{-9}(0,0008013)^{-4,477}$$

$$Nd = 9,928E+04 \text{ ESAL}$$

2. Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan

Program *KENPAVE* mampu menghasilkan nilai kerusakan yang terjadi pada perkerasan setelah perkerasan tersebut mengalami pembebanan. Setelah itu, dapat dilanjutkan dengan perhitungan untuk mengetahui nilai sisa umur pada struktur perkerasan menggunakan Persamaan 3.8.

$$\begin{aligned} RL_{Fatigue} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{1.467.208,75}{7.925.724,77} \right) = 81,49 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RL_{Rutting} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{1.467.208,75}{7.431.921,33} \right) = 80,26 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RL_{Deform} &= 100 \times \left(1 - \frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \\ &= 100 \times \left(1 - \frac{1.467.208,75}{99.275,43} \right) = -13,78 \% \text{ (Fail)} \end{aligned}$$

Struktur perkerasan jalan eksisting memiliki analisis beban lalu lintas dengan menggunakan program *KENPAVE* yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5.23 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan Eksisting

CESA20/LHR (Nr)	Repetisi Beban (ESAL)		Analisis Beban Lalulintas
31,7E+06	Nf	7,926E+06	Nf < Nr (<i>no</i>)
31,7E+06	Nd <i>rutting</i>	7,432E+06	Nd < Nr (<i>no</i>)
31,7E+06	Nd <i>deformation</i>	9,928E+04	Nd < Nr (<i>no</i>)

Berdasarkan perhitungan mengenai umur sisa layan struktur perkerasan jalan menggunakan Persamaan 3.8 dapat disajikan pada Tabel 5.24 berikut ini.

Tabel 5.24 Umur Sisa Layan Struktur Perkerasan Jalan Eksisting (%)

Tahun	Np	Fatigue	Rutting	Permanent Deformation
1	1.467.208,75	81,49	80,26	<i>Fail</i>
2	3.151.228,17	60,24	57,60	
3	4.728.596,13	40,34	36,37	
4	6.307.134,50	20,42	15,13	
5	7.886.844,15	0,49	<i>Fail</i>	
6	9.467.725,93	<i>Fail</i>		

5.3 Evaluasi Desain Tebal Struktur Perkerasan Lentur Bina Marga 2017 dengan KENPAVE-KENLAYER

Berdasarkan pada hasil tebal perkerasan struktur CTB dengan metode Bina Marga 2017 dievaluasi menggunakan *software KENPAVE-KENLAYER* dengan pendakatan elastik, sehingga didapatkan nilai regangan dan tegangan yang akan disajikan pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Hasil Analisis Veritcal dan Horizontal Strain

Pengulangan Beban	Fatigue (Vertical Strain) pada kedalaman 22,4997 mm	Rutting (Horizontal Strain) pada kedalaman 22,4997 mm	Permanent Deformation (Vertical Strain) pada kedalaman 52,5003 mm
1	0,00008719	0,0001402	0,0001989
2	0,00009033	0,0001251	0,0002117
3	0,00005796	0,00006677	0,0001755
Maksimum	0,00009033	0,0001402	0,0002117

Hasil analisis beban lalu lintas dengan desain struktur perkerasan *CTB* metode Bina Marga 2017 menggunakan *software KENPAVE-KENLAYER* dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5.26 Analisis Beban Lalu Lintas Perkerasan dengan *CTB*

<i>CESA40/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban (<i>ESAL</i>)		Analisis Beban Lalulintas
68,93E+06	Nf	1,104E+07	Nf < Nr (<i>no</i>)
68,93E+06	Nd <i>rutting</i>	7,099E+07	Nd > Nr (<i>yes</i>)
68,93E+06	Nd <i>deformation</i>	3,845E+07	Nd < Nr (<i>no</i>)

Melihat perhitungan analisis beban diatas, langkah selanjutnya yaitu dengan perhitungan untuk mengetahui umur sisa layan pada struktur perkerasan jalan *CTB* dengan menggunakan Persamaan 3.8 yang tersajikan pada Tabel 5.27 berikut ini.

Tabel 5.27 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan *CTB* Bina Marga 2017

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
1	1.673.926,50	84,838	97,642	95,646
2	3.350.337,11	69,653	95,281	91,286
3	5.029.235,51	54,445	92,916	86,920
4	6.710.625,39	39,215	90,547	82,546
5	8.394.510,46	23,962	88,176	78,167
6	10.080.894,41	8,687	85,800	73,781
7	11.769.780,96	<i>Fail</i>	83,421	69,388
8	13.461.173,82		81,039	64,989
9	15.155.076,70		78,653	60,584
10	16.851.493,33		76,263	56,171
11	18.550.427,45		73,870	51,753
12	20.251.882,78		71,473	47,327

**Lanjutan Tabel 5.27 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan CTB Bina
Marga 2017**

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
13	21.955.863,08		69,073	42,896
14	23.662.372,08		66,669	38,457
15	25.371.413,54		64,262	34,012
16	27.082.991,22		61,851	29,561
17	28.797.108,87		59,436	25,102
18	30.513.770,28		57,018	20,637
19	32.232.979,22		54,597	16,166
20	33.954.739,46		52,171	11,688
21	35.679.054,79		49,743	7,203
22	37.405.929,01		47,310	2,712
23	39.135.365,91		44,874	<i>Fail</i>
24	40.867.369,29		42,434	
25	42.601.942,97		39,991	
26	44.339.090,75		37,544	
27	46.078.816,46		35,094	
28	47.821.123,93		32,639	
29	49.566.016,97		30,181	
30	51.313.499,44		27,720	
31	53.063.575,18		25,255	
32	54.816.248,02		22,786	
33	56.571.521,83		20,314	
34	58.329.400,47		17,837	
35	60.089.887,80		15,358	
36	61.852.987,70		12,874	
37	63.618.704,03		10,387	
38	65.387.040,69		7,96	

Lanjutan Tabel 5.27 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan CTB Bina Marga 2017

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
39	67.158.001,56		5,401	
40	68.931.590,53		2,903	

5.4 Evaluasi Desain Alternatif Tebal Struktur Perkerasan Lentur Bina Marga 2017 dengan KENPAVE-KENLAYER

Berdasarkan hasil analisis pada *KENPAVE-KENLAYER*, dapat dilihat bahwa hasil dari analisis masih belum mampu menahan beban lalu lintas, sehingga belum memenuhi umur rencana yang sudah ditetapkan. Maka dari itu, perlunya direncanakan tebal perkerasan alternatif untuk menunjang struktur perkerasan agar mencapai umur rencana yang sudah ditetapkan. Rencana desain alternatif dan analisis tebal perkerasannya dengan rincian AC-WC sebesar 40 mm, AC-BC sebesar 180 mm, AC-Base sebesar 225 mm, CTB sebesar 300 mm, dan LPA Kelas A sebesar 150 mm. Hasil alternatif tebal struktur perkerasan yang sudah ditentukan akan dilanjutkan dengan analisis pada *software KENPAVE-KENLAYER*. Output dari analisis yaitu didapatkan hasil dari tegangan dan regangan yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut ini.

Tabel 5.28 Hasil Analisis Vertical dan Horizontal Strain

Pengulangan Beban	<i>Fatigue (Vertical Strain)</i> pada kedalaman 44,4997 mm	<i>Rutting (Horizontal Strain)</i> pada kedalaman 44,4997 mm	<i>Permanent Deformation (Vertical Strain)</i> pada kedalaman 89,5003 mm
1	0,00004748	0,00006441	0,0001108
2	0,0000504	0,00006944	0,000115
3	0,0000509	0,00007012	0,0001158
Maksimum	0,0000509	0,00007012	0,0001158

Hasil analisis beban lalu lintas dengan desain struktur perkerasan alternatif CTB metode Bina Marga 2017 menggunakan *software KENPAVE-KENLAYER* dapat dilihat pada Tabel 5.29 sebagai berikut.

Tabel 5.29 Analisa Beban Lalu Lintas Perkerasan Alternatif dengan CTB

<i>CESA40/LHR</i> (Nr)	Repetisi Beban (<i>ESAL</i>)		Analisis Beban Lalulintas
68,93E+06	Nf	7,291E+07	Nf > Nr (yes)
68,93E+06	Nd <i>rutting</i>	5,411E+09	Nd>Nr (yes)
68,93E+06	Nd <i>deformation</i>	5,727E+08	Nd>Nr (yes)

Berdasarkan hasil tegangan dan regangan diatas, sehingga dapat diteruskan dengan perhitungan untuk mencari umur sisa layan dan didapatkan hasilnya pada Tabel 5.30 berikut ini.

Tabel 5.30 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif dengan CTB

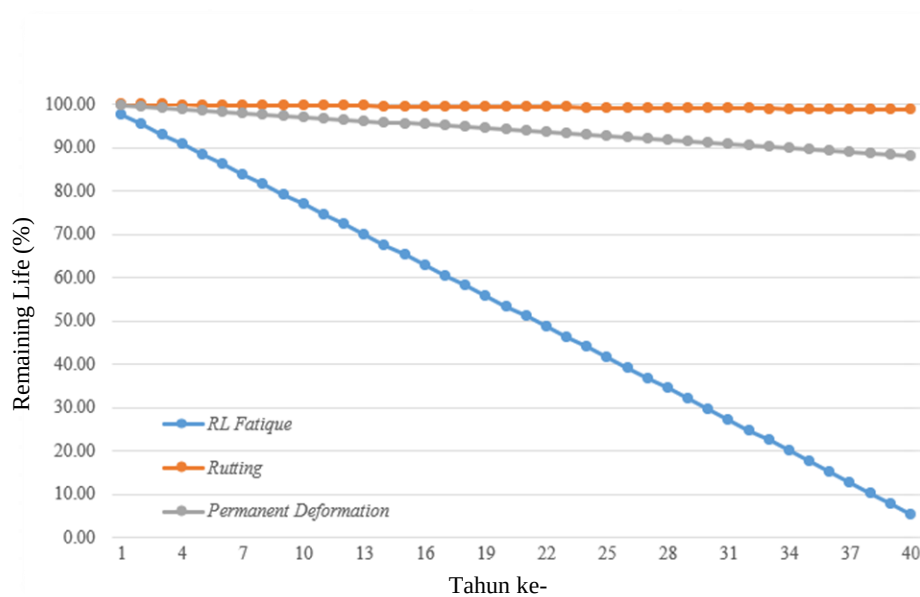
Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
1	1.673.926,50	97,704	99,969	99,708
2	3.350.337,11	95,405	99,938	99,415
3	5.029.235,51	93,102	99,907	99,122
4	6.710.625,39	90,796	99,876	98,828
5	8.394.510,46	88,487	99,845	98,534
6	10.080.894,41	86,174	99,814	98,240
7	11.769.780,96	83,858	99,782	97,945
8	13.461.173,82	81,538	99,751	97,649
9	15.155.076,70	79,215	99,720	97,354
10	16.851.493,33	76,888	99,689	97,057
11	18.550.427,45	74,558	99,657	96,761
12	20.251.882,78	72,224	99,626	96,464

Lanjutan Tabel 5.30 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif CTB

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
13	21.955.863,08	69,887	99,594	96,166
14	23.662.372,08	67,547	99,563	95,868
15	25.371.413,54	65,203	99,531	95,570
16	27.082.991,22	62,855	99,500	95,271
17	28.797.108,87	60,504	99,468	94,971
18	30.513.770,28	58,150	99,436	94,672
19	32.232.979,22	55,792	99,404	94,372
20	33.954.739,46	53,431	99,373	94,071
21	35.679.054,79	51,066	99,341	93,770
22	37.405.929,01	48,697	99,309	93,468
23	39.135.365,91	46,325	99,277	93,166
24	40.867.369,29	43,950	99,245	92,864
25	42.601.942,97	41,571	99,213	92,561
26	44.339.090,75	39,188	99,181	92,258
27	46.078.816,46	36,802	99,148	91,954
28	47.821.123,93	34,413	99,116	91,650
29	49.566.016,97	32,020	99,084	91,345
30	51.313.499,44	29,623	99,052	91,040
31	53.063.575,18	27,223	99,019	90,734
32	54.816.248,02	24,819	98,987	90,428
33	56.571.521,83	22,412	98,955	90,122
34	58.329.400,47	20,001	98,922	89,815
35	60.089.887,80	17,586	98,890	89,507
36	61.852.987,70	15,168	98,857	89,199
37	63.618.704,03	12,746	98,824	88,891
38	65.387.040,69	10,321	98,792	88,582

Lanjutan Tabel 5.30 Presentasi Umur Sisa Layan Perkerasan Alternatif CTB

Tahun	Np	<i>RL Fatigue</i>	<i>Rutting</i>	<i>Permanent Deformation</i>
39	67.158.001,56	7,892	98,759	88,273
40	68.931.590,53	5,460	98,726	87,963



Gambar 5.9 Grafik Remaining Life Alternatif Struktur Perkerasan dengan CTB

5.5 Evaluasi Alternatif Tebal Struktur Perkerasan Kaku dengan KENPAVE-KENSLABS

Dalam mengevaluasi dan permodelan hasil analisis respon sensitivitas terhadap struktur perkerasan kaku ini pembebanan lalu lintasnya dapat diasumsikan statis. Analisis yang digunakan yaitu dengan KENPAVE-KENSLABS menggunakan metode mekanistik empiris. *Output* yang dapat dihasilkan dalam KENPAVE-KENSLABS yaitu berupa respon *stress* (tegangan) dan *deflection* (lendutan) juga didapatkan *cracking index* (CI) dan *design life* (umur rencana). Hasil perhitungan tersebut didapatkan setelah melakukan *running* pada program KENPAVE-KENSLABS. Mutu beton dan pelat beton menjadi parameter yang mempengaruhi

respon struktur serta umur layan pada perkerasan. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan untuk input data ketika melakukan *running* yaitu berupa analisis data beban lalu lintas, analisis data material, dan analisis data konstruksi.

5.5.1 Analisis Data Beban Lalu Lintas

Pengaruh dari data beban lalu lintas yaitu untuk menghitung respon yang ditimbulkan dari beban lalu lintas yang terjadi pada desain struktur perkerasan. Hasil yang diharapkan dari analisis ini berupa jumlah pengulangan beban sumbu kendaraan pada periode waktu tertentu selama umur rencana. Pada *rigid pavement* diasumsikan umur rencana selama 40 tahun. Output dari waktu periode untuk analisis kerusakan perkerasan yaitu *index cracking (CI)* yang ditetapkan dalam periode 1 tahunan. Data sekunder yang dipakai untuk analisis berupa LHR pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenap-Pangandaran. Dilanjutkan dengan dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban juga jarak antar ban untuk roda ganda diperlukan pada analisis perhitungan mekanistik-empirik. Dalam analisis ini, nilai detail beban sumbu dan roda diperoleh dari referensi Huang (2004) yang tercantum dalam contoh analisis program *KENSLABS*. Nilai tekanan roda per ban yang digunakan adalah 689,5 kPa.

5.5.2 Analisis Data Karakteristik Material

Diperlukan data material berupa data karakteristik *subgrade* (tanah dasar) seperti nilai CBR dan mutu beton yang digunakan karena berpengaruh pada respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Proses input data untuk *software KENPAVE-KENSLABS* terdapat tahapan-tahapan untuk menganalisis data material sebagai berikut.

1. Karakteristik Material pada Lapisan Perkerasan *Subgrade*

Data yang diperlukan pada lapisan *subgrade* berupa nilai dukung tanah minimum. Persyaratan yang dikehendaki untuk subgrade dianggap stabil yaitu nilai CBR minimum sebesar 6%. Nilai CBR pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran sudah dianggap stabil dikarenakan sudah mencapai

7% sehingga tidak diperlukan stabilisasi tanah dasar. Tahapan analisis perhitungan seperti berikut.

a. *Modulus Young of Subgrade*

Proses untuk input data diperlukan parameter *modulus young of subgrade*. Untuk merumuskan korelasi modulus elastisitas dengan parameter tanah lain untuk memudahkan proses analisis salah satunya menggunakan nilai CBR yang biasa digunakan untuk pekerjaan struktur perkerasan jalan. Croney (1991) menjelaskan bahwa untuk mengetahui korelasi antara modulus elastisitas dengan *CBR* yaitu dengan rumus $E = 6,6 \text{ CBR (Mpa)}$. Oleh karena itu, dengan nilai *CBR* sebesar 7% didapatkan modulus elastisitas tanah dasar sebagai berikut.

$$E = 6,6 \times \text{CBR}$$

$$E = 6,6 \times 7 = 46,2 \text{ Mpa} = 46200 \text{ Kpa}$$

b. *Poisson Ratio*

Poisson ratio pada pemodelan ini bertujuan untuk perhitungan dalam respon struktur perkerasan meskipun pengaruh dalam perhitungannya tidak terlalu besar. Berdasarkan Tabel 3.11 tentang nilai *poisson ratios for different material*, untuk *saturated soft clays* nilai *poisson ratio* berkisar antara 0,40 sampai 0,50. Sedangkan, untuk nilai *poisson ratio* pada *subgrade* ini menggunakan nilai sebesar 0,45.

2. Karakteristik Material pada Slab Beton

Input data karakteristik material pada slab beton yang dibutuhkan yaitu mutu beton karena mutu beton berpengaruh pada respon perkerasan akibat dari beban lalu lintas. Perencanaan alternatif desain struktur perkerasan ini diasumsikan menggunakan mutu beton K400 dengan *portland cement concrete (PCC)*. Nilai mutu beton ini dapat diperoleh nilai dari modulus elastisitas beton (E_c), kuat tekan beton (f_c'), *poisson ratio portland cement concrete (PCC)*, dan *modulus of rupture* (S_c). Tahapan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari parameter data yang sudah disebutkan yaitu sebagai berikut.

a. Kuat tekan beton (f_c')

Mutu beton yang akan digunakan untuk alternatif desain perkerasan kaku pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran yaitu diasumsikan menggunakan mutu beton K400 yang mempunyai kuat tekan karakteristik 400 kg/cm^2 . Mutu beton K400 ini jika akan dikonversi menjadi kuat tekan benda uji silinder maka dikalikan dengan angka 0,083, maka didapatkan nilai kuat tekan (f_c') sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_c' &= 400 \times 0,83 \\ &= 332 \text{ kg/cm}^2 = 33,2 \text{ Mpa} \\ 1 \text{ kg/cm}^2 &= 14,22 \text{ psi} \\ F_c' &= 332 \times 14,22 \\ &= 4.721,04 \text{ psi} \end{aligned}$$

b. Modulus elastisitas beton (E_c)

Tahapan input data pada *software KENPAVE-KENSLABS* memerlukan parameter dari modulus elastisitas beton. Cara mengetahui modulus elastisitas beton dengan mutu beton K400 perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= 57.000 \sqrt{F_c} \\ &= 57.000 \sqrt{4721} \\ &= 3.916.460 \text{ psi} \end{aligned}$$

c. *Poisson ratio*

Nilai *poisson ratio* dibutuhkan dalam memodelkan analisis respon struktur perkerasan kaku meskipun tidak terlalu besar pengaruhnya. Parameter ini jarang diukur dan biasanya hanya diasumsikan melalui tipe beton yang dipakai. Menurut Huang (2004) melalui tabel *poisson ratio for different material*. Beton normal memiliki nilai *poisson ratio* sebesar 0,15 sampai 0,20 dan untuk analisis ini memakai nilai *poisson ratio* untuk beton yaitu 0,15.

d. *Modulus of rupture* (S_c)

Kuat tekan beton sebagai ukuran secara universal untuk parameter kualitas dan daya tahan beton. Berdasarkan Huang (2004) telah memberikan sebuah

hubungan antara *modulus of rupture* dan kuat tekan beton melalui perhitungan sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} S_c &= 8 \sqrt{F_c} \\ &= 8 \sqrt{4721} \\ &= 549,796 \text{ psi} \end{aligned}$$

5.5.3 Analisis Data Konstruksi

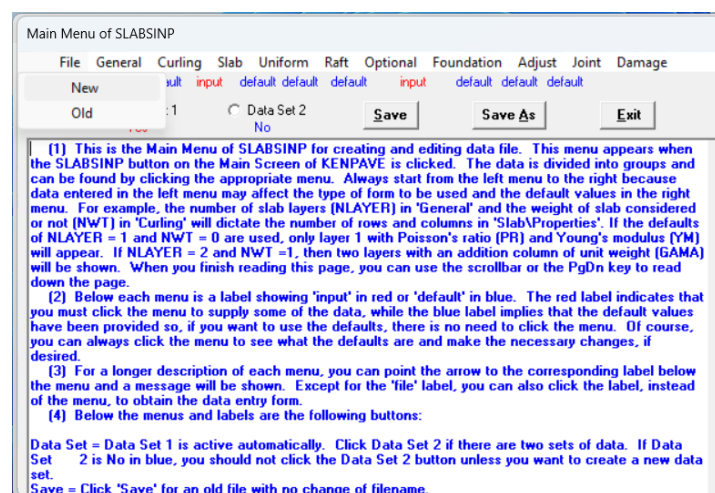
Data Konstruksi yang dibutuhkan berupa tipe perkerasan kaku dan data tebal pelat beton. Input data konstruksi pada tipe Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) diperlukan agar dapat mengevaluasi perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang digunakan untuk analisis umur rencana selama 40 tahun dengan mutu beton K400 dengan ketebalan pelat beton hasil perhitungan yaitu 29,5 cm.

5.5.3.1 Input Data

Beberapa parameter untuk menginput data ke dalam *software KENPAVE-KENSLABS* untuk mendapatkan respon pada struktur *rigid pavement* seperti berikut.

1. *SLABSINP*

Untuk memulai input data *rigid pavement* terlebih dahulu melakukan klik bagian *menu SLABSINP* pada Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Tampilan pada Menu *SLABSINP*

Setelah tampilan pada menu *SLABSINP* muncul lalu dilanjutkan dengan memilih menu *file* kemudian pilih *new* untuk memulai input data yang baru.

2. *General*

Setelah memilih *new* akan dilanjutkan menginput data pada menu *general*. Dalam input menu *general* terdapat beberapa nilai-nilai yang diinput sesuai data yang sudah diperoleh. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut ini.

Tabel 5.31 Input Data Menu *General*

Notasi	Nilai	Keterangan
NFOUND	1	<i>Solid foundation</i>
NDAMA	1	<i>PCA criteria (design life)</i>
NPY	1	Periode per tahun
NLG	2	<i>Load grup (single and tandem axle)</i>
NLAYER	1	Lapisan perkerasan
NBOND	0	Antara lapisan tidak terikat
NSLAB	4	Jumlah slab beton 4 slab dengan joint
NJOINT	4	<i>Joint</i>
NNCK	1	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
NPRINT	3	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
NSX	0	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
NSY	9	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
MDPO	0	<i>More Detail Print Out (0 = no)</i>
NAT 1	0	Tidak ada lapisan tambahan
NAT 2	0	Tidak ada lapisan tambhan
NUNIT	1	Satuan standar Internasional (SI)

General Information for Set No. 1

TITLE analisis slab beton K400

Type of foundation (0=liquid, 1=solid, 2=layer)	(NFOUND)	1
Damage analysis (0=no, 1=PCA criteria, 2=user specified)	(NDAMA)	1
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	2
Number of slab layers	(NLAYER)	2
Bond between two slab layers (0=unbonded, 1=bonded)	(NBOND)	0
Number of slabs	(NSLAB)	4
Number of joints	(NJOINT)	4
Nodal number for checking convergence	(NNCK)	1
Number of nodes for stress printout	(NPRINT)	3
Number of nodes on X axis of symmetry	(NSX)	0
Number of nodes on Y axis of symmetry	(NSY)	9
More detailed printout (0=no, 1=yes)	(MDPO)	1
Number of nodes with different thicknesses of slab layer 1	(NAT1)	0
Number of nodes with different thicknesses of slab layer 2	(NAT2)	0
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	1

Default options are shown by the black dots below. If they are not ok, please click the other button.

☒ with uniform load
☐ without uniform load

☐ with temperature curling
☒ without temperature curling

☐ with concentrated load
☒ without concentrated load

OK

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of SLABSINP is clicked. If you want to use the PgDn key to scroll down the page, please click this textbox. The default values apply to a single one-layer slab on a liquid foundation with no damage analysis. If the number of slabs are more than 1, be sure that the correct NSLAB and NJOINT must be entered, as indicated in red. The red NPRINT of 0 means the stresses at every node in the loaded slab will be computed and printed. This is usually not necessary for pavements because only the stresses in those nodes near to the loads are of practical significance. However, to plot the contours of stresses in a pavement slab or moments in a raft foundation, NPRINT = 0 must be used so the stresses or moments at every node in the loaded slab will

Gambar 5.11 Tampilan Data Input Menu General

3. Slab

Slab Information yaitu data pengaturan slab dan join, properties slab beton yang digunakan untuk menganalisis serta jumlah titik pada koordinat sumbu X dan Y. Data untuk menginput dapat dilihat pada Tabel 5.32, Tabel 5.33, Tabel 5.34, dan Tabel 5.35 berikut ini.

Tabel 5.32 Pengaturan pada Slab dan Joint

Slab No	NX	NY	JONO1	JONO2	JONO3	JONO4
1	10	9	0	4	0	1
2	10	9	0	2	1	0
3	10	9	4	0	0	3
4	10	9	2	0	3	0

Tabel 5.33 Properti Slab

Layer No.	T (cm)	PR	YM (psi)	YM (kPA)
1 (PC)	29,50	0,15	3.916.460	27.003.992

Tabel 5.34 Jumlah Koordinat Sumbu X dan Y

Slab No	NX	NY
1	10	9

Tabel 5.35 Koordinat Sumbu X dan Y

<i>Sequence</i>	<i>X (cm)</i>	<i>Sequence</i>	<i>Y (cm)</i>
1`	0	1	0
2	30,48	2	25,4
3	60,96	3	50,8
4	91,44	4	99,06
5	121,92	5	147,32
6	182,88	6	195,58
7	243,84	7	246,38
8	335,28	8	304,8
9	456,72	9	360
10	500		

4. *Uniform*

Pembeban pada perkerasan kaku menggunakan titik koordinat pada slab beton. Dalam analisis ini pembebanan dibagi menjadi 2 beban yaitu sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). Input data pada uniform dapat dilihat pada Tabel 5.36, Tabel 5.37, dan Tabel 5.38 berikut ini.

Tabel 5.36 Load Group Area

<i>Load Grup</i>	<i>NUDL</i>
1	4
2	8

Tabel 5.37 Loaded Areas for Load Group No. 1

<i>Load Sequence</i>	<i>LS</i>	<i>XL1 (cm)</i>	<i>XL2 (cm)</i>	<i>YL1 (cm)</i>	<i>YL2 (cm)</i>	<i>QQ (kPa)</i>
1	1	0	10,266	0,00	14,141	689,5
2	1	0	10,266	36,659	50,8	689,5
3	1	0	10,266	195,58	209,721	689,5
4	1	0	10,266	232,239	246,38	689,5

Tabel 5.38 Loaded Areas for Load Group No. 2

<i>Load Sequence</i>	<i>LS</i>	<i>XL1 (cm)</i>	<i>XL2 (cm)</i>	<i>YL1 (cm)</i>	<i>YL2 (cm)</i>	<i>QQ (kPa)</i>
1	1	0	10,266	0	14,141	689,5
2	1	0	10,266	36,659	50,8	689,5
3	1	0	10,266	195,58	209,721	689,5
4	1	0	10,266	232,239	246,38	689,5
5	1	111,654	132,186	0	14,141	689,5
6	1	111,654	132,186	36,659	50,8	689,5
7	1	111,654	132,186	195,58	209,721	689,5
8	1	111,654	132,186	232,239	246,38	689,5

5. *Optional*

Menu ini akan muncul jika menu “*Node Printout*” yang terdapat pilihan other information diklik. Jumlah dari node sama dengan NP yang diinput dalam menu “*General*”. NP (*Nodal number* pada tegangan yang dihitung dan dicetak nanti) untuk *damage analysis* digunakan NPRINT = 3. Maka 3 nomor nodal akan dihitung secara otomatis oleh program, elemen hingga mesh ini akan sama dengan SLA4 dikarenakan menggunakan 4 slab beton. Sehingga pada analisis yang akan dilakukan mengikuti data yang terdapat pada SLA4 yang menggunakan sambungan (*joint*). Input data yang harus dimasukkan pada *Node Printout* dapat dilihat pada Tabel 5.39, Tabel 5.40 dan Tabel 5.41 berikut ini.

Tabel 5.39 Elastic Properties of Dowel Bars

<i>Young's modulus of steel bars in kPa (YMSB)</i>	200.000.000
<i>Poisson's ratio of steel dowel bars (PRSB)</i>	0,3

Tabel 5.40 Nodess for Printout

Sequence	NP
1	1
2	19
3	37

Tabel 5.41 Nodes Y Symmetry

Sequence	NODSY
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9

6. Foundation

Menu *Foundation* akan muncul jika pada $NFOUND = 1$ dan “*Foundation*” pada menu *SLABSINP* diklik dan pilih *general*. Input data dalam menu ini dengan nilai CBR 7% dapat dilihat pada Tabel 5.42 berikut ini.

Tabel 5.42 Solid Foundation

<i>Young's modulus of subgrade in kPa (YMS)</i>	46.200
<i>Poisson's ratio of subgrade (PRS)</i>	0,45

7. *Joint*

Menu ini akan muncul jika pada menu *general* diisi $NSLAB = 4$ dan $NJOINT = 4$. Untuk input data dalam menu ini selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.43 berikut.

Tabel 5.43 *Joint of Four Slab*

Joint No.	SPCON 1	SPCON 2	SCKV	BD (cm)	BS (cm)	WJ (cm)	GDC (cm)	NNAJ
1 (tie bar)	0	0	271.300	1,60	75	0,50	0	0
2 (dowel)	0	0	271.300	3,60	30	0,50	0	0
3 (tie bar)	0	0	271.300	1,60	75	0,50	0	0
4 (dowel)	0	0	271.300	3,60	30	0,50	0	0

8. *Damage*

Pada *damage analysis* input datanya menggunakan *Portland Cement Association (PCA, 1984) criteria*. Metode ini bertujuan untuk menentukan jumlah pada pengulangan beban yang diizinkan. *Output* dari analisis ini adalah mendapatkan nilai *index cracking* untuk menentukan *design life* dari perkerasan kaku. *Fatigue properties* didapatkan sesuai mutu beton yang digunakan pada analisis perkerasan dan *volume of traffic* dapat dilihat pada Tabel 5.44 dan Tabel 5.45 sebagai berikut.

Tabel 5.44 *Fatigue Properties*

Layer No.	PMR (kPa)
1	4019,80

Tabel 5.45 *Volume of Traffic*

Load Group	TNLR
1	10602
2	3392

Ketika semua data sudah terinput pada menu yang ada pada *SLABSINP*, kemudian dilanjutkan dengan disimpan dan kembali ke menu utama *KENPAVE*. Data akan diproses dengan mengklik *KENSLABS LARGE RAM*. Untuk melihat hasil evaluasi dari software *KENPAVE-KENSLABS*, kembali ke menu utama *KENPAVE* lalu pilih menu *editor* dan buka sesuai nama file yang sudah diproses pada menu *KENSLABS LARGE RAM*.

5.5.4 Output Analisis Evaluasi Perkerasan Kaku Menggunakan Software *KENPAVE-KENSLABS*

Analisis perkerasan kaku menggunakan metode dari Bina Marga 2017 didapatkan perhitungan tebal pelat beton sebesar 29,5 cm dengan mutu beton K400, dan umur rencana (*design life*) selama 40 tahun. Setelah dievaluasi dengan software *KENPAVE-KENSLABS* maka didapatkan hasil tebal pelat dari *running software* sebesar 17,5 cm. Hasil perbandingan tebal pelat dari *running software* dapat dilihat pada Tabel 5.46 sebagai berikut.

Tabel 5.46 Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku dari Software

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking (%)	Renca na	Evaluasi KENSL ABS
			Single Axle	Tand em Axle	Single Axle	Tand em Axle		Design Life	Design Life
								(thn)	(thn)
Bina Marga	K400	295	1214,887	1195,946	0,848	2,555	0,00	40	Unlimited
Alternatif	K400	180	2323,701	1730,565	1,544	4,651	0,9	40	107
Alternatif	K400	175	2406,832	1799,927	1,594	4,801	2,1	40	46
Alternatif	K400	174	2423,200	1811,858	1,604	4,831	2,5	40	40

5.6 Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan, terdapat hasil analisis yang akan dijabarkan menjadi beberapa bagian. Pertama, hasil desain struktur perkerasan dengan

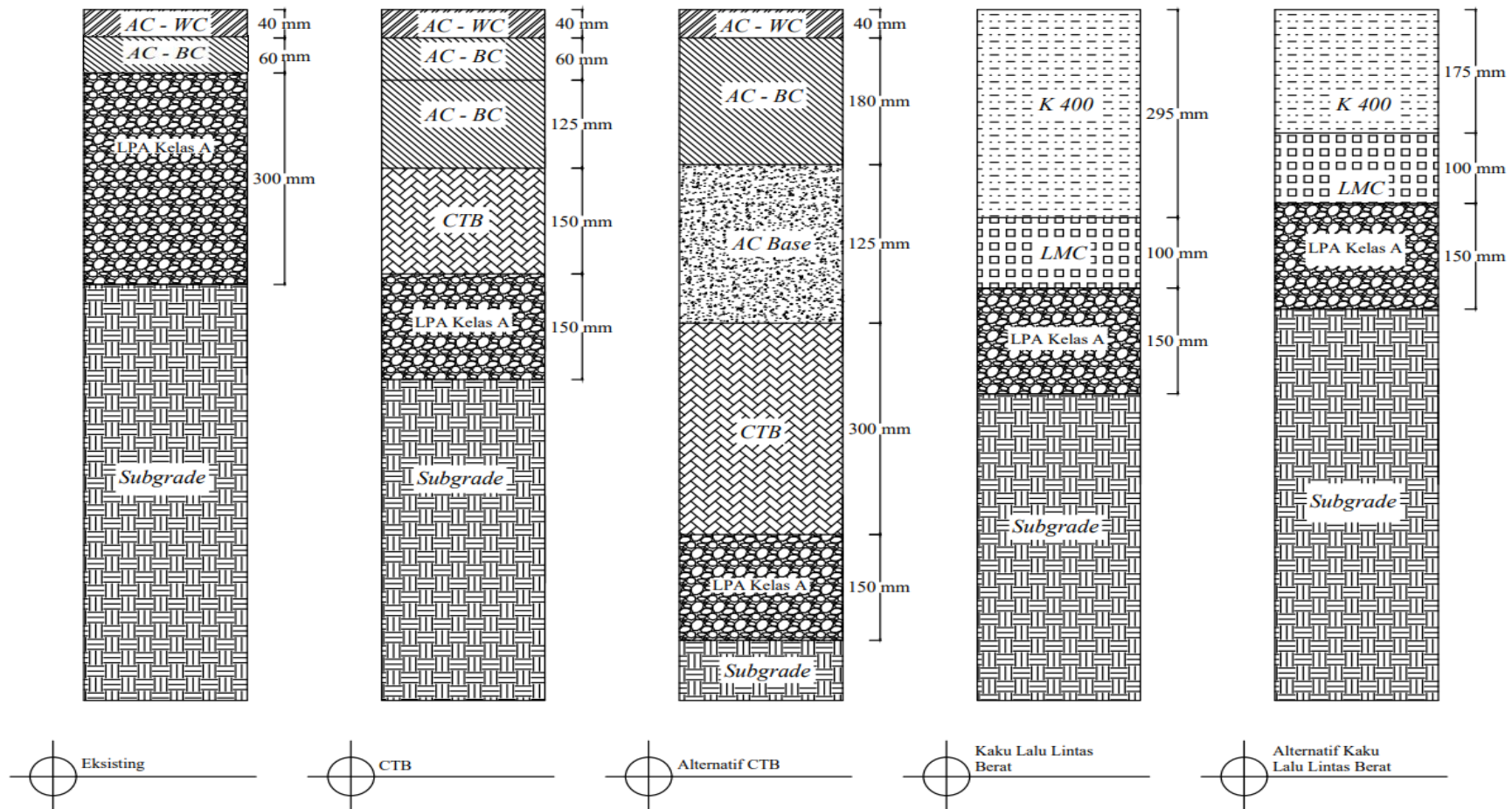
menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan Nasional 2017 pada ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran. Nilai dari tegangan, regangan, dan lendutan yang dihasilkan dari beban lalu lintas dengan menggunakan *software KENPAVE*. Hasil desain alternatif struktur perkerasan lentur dan kaku yang dievaluasi menggunakan *software KENPAVE*. Terakhir akan dijelaskan perbandingan desain perkerasan eksisting, Bina Marga 2017, dan alternatif perkerasan mengenai kerusakan dan sisa umur layan yang terjadi.

5.6.1 Desain Struktur Perkerasan pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran dengan Metode Bina Marga 2017

Desain struktur perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 berdasarkan data dari P2JN wilayah Jawa Barat. Metode Bina Marga 2017 memerlukan data berupa LHR, faktor distribusi jalur, faktor distribusi arah, CBR, dan nilai VDF. Berdasarkan data tersebut didapatkan dua jenis desain perkerasan, yaitu desain perkerasan lentur dengan CTB dan desain perkerasan kaku dengan beban lalu lintas berat. Desain CTB perkerasan lentur dan perkerasan kaku lalu lintas berat dengan Bina Marga 2017 belum optimal untuk umur rencana 40 tahun sehingga dibutuhkan alternatif desain perkerasan dengan mengevaluasi dari *software KENPAVE*. Rekapitulasi jenis dan tebal perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.47 dan Gambar 5.12 berikut ini.

Tabel 5.47 Rekapitulasi Tebal Perkerasan

Lapisan Perkerasan	Jenis Perkerasan	Desain Tebal Perkerasan (cm)				
		Eksisting	CTB	Alternatif CTB	Kaku Lalu Lintas Berat	Alternatif Kaku Lalu Lintas Berat
<i>Surface</i>	<i>AC-WC</i>	4	4	4	-	-
	<i>K-400</i>	-	-	-	29,5	17,5
<i>Base</i>	<i>AC-BC</i>	6	18,5	18	-	-
	<i>AC-Base</i>	-	-	22,5	-	-
	<i>CTB</i>	-	15	30	-	-
	<i>LMC</i>	-	-	-	10	10
<i>Sub Base</i>	LPA Kelas A	30	15	15	15	15



Gambar 5.12 Perbandingan Tebal Desain Perkerasan

Tidak mempunya desain eksisting dan desain perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2017 untuk menahan beban CESA5 dengan nilai sebesar $68,93 \times 10^6$ ESAL karena umur layan desain perkerasan belum mencapai umur yang direncanakan yaitu 40 tahun dibuktikan dengan adanya kerusakan awal yang terjadi pada perkerasan eksisting yaitu *permanent deformation* dalam tahun pertama dikarenakan nilai N_d lebih kecil dari N_r dan perkerasan lentur dengan *CTB* terjadi *fatigue cracking* dalam tahun ke-7 dikarenakan nilai N_f lebih kecil dari N_r sehingga diperlukan desain alternatif. Tidak mempunya desain perkerasan juga terjadi pada peneilitian terdahulu pada Arianto dann Fauziah (2023) dimana desain eksisting dan *CTB* Bina Marga 2017 belum mampu menahan beban lalu lintas. Sedangkan, pada desain perkerasan kaku dengan metode Bina Marga 2017 dinilai belum efektif karena berdasarkan evaluasi *KENPAVE-KENSLAB* dihasilkan umur layan yang mencapai lebih dari 100 tahun dibuktikan dengan adanya hasil perbandingan antara tegangan maksimum dan modulus of rupture lebih kecil dari 0,45 sehingga dibutuhkan alternatif perkerasan kaku untuk menyesuaikan umur rencana 40 tahun. Belum efektifnya desain perkerasan kaku terjadi juga pada penelitian terdahulu yang sudah dilakukan oleh Qisthi dan Kushari (2019) desain perkerasan kaku dengan PdT-04-2003 masih memiliki umur yang tidak terbatas pada evalusi menggunakan *software KENPAVE-KENSLABS*.

5.6.2 Tegangan dan Regangan yang Terjadi pada Struktur Perkerasan Lentur Dengan Program *KENPAVE-KENLAYER*

Struktur perkerasan jalan lentur desain eksisting, desain perkerasan *CTB* dengan Bina Marga 2017, dan juga alternatif desain perkerasan lentur menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan dari *software KENPAVE-KENLAYER* dengan hasil telah direkapitulasi pada Tabel 5.48 berikut ini.

Tabel 5.48 Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Desain Perkerasan Pendekatan Elastik

Desain Perkerasan	Tipe Kerusakan					
	<i>Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent Deformation</i>	
	Tegangan (kPa)	Regangan (10^{-6})	Tegangan (kPa)	Regangan (10^{-6})	Tegangan (kPa)	Regangan (10^{-6})
Eksisting	428,122	0,9999	454,683	0,0306	79,218	0,0801
CTB	99,709	0,0135	102,687	0,0185	20,979	0,0398
Alternatif CTB	83,506	0,5090	39,110	0,7012	6,991	0,1158

Nilai tegangan dan regangan perkerasan desain eksisting, Bina Marga 2017 dan alternatif lentur yang sudah didapatkan akan dievaluasi. Tahap selanjutnya, mengontrol nilai kerusakan perkerasan yaitu *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* dengan menggunakan rumus N_f dan N_d untuk mengetahui nilai dari repetisi beban yang terjadi pada desain perkerasan lentur. Rekapitulasi dari nilai repetisi beban tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.49 berikut ini.

Tabel 5.49 Rekapitulasi Repetisi Beban Desain Perkerasan Lentur

Eksisting				
CESA20/LHR	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban (ESAL)	Analisis Beban Lalulintas	Keterangan
31,7E+06	Nf	7,93E+06	Nf < Nr (<i>no</i>)	Gagal
	Nd rutting	7,43E+06	Nd < Nr (<i>no</i>)	
	Nd deformation	9,93E+04	Nd < Nr (<i>no</i>)	
CTB				
CESA40/LHR	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban (ESAL)	Analisis Beban Lalulintas	Keterangan
68,9E+06	Nf	1,10E+07	Nf > Nr (<i>no</i>)	Gagal
	Nd rutting	2,43E+08	Nd > Nr (<i>yes</i>)	
	Nd deformation	3,85E+07	Nd < Nr (<i>no</i>)	

Lanjutan Tabel 5.49 Rekapitulasi Repetisi Beban Desain Perkerasan Lentur

ALTERNATIF CTB				
CESA40/LHR	Jenis Kerusakan	Repetisi Beban (ESAL)	Analisis Beban Lalulintas	Keterangan
68,9E+06	Nf	7,29E+07	Nf > Nr (yes)	Mampu
	Nd <i>rutting</i>	5,41E+09	Nd > Nr (yes)	
	Nd <i>deformation</i>	5,73E+08	Nd > Nr (yes)	

Hasil dari analisis yang sudah dilakukan nilai *CESA5* untuk perkerasan eksisting yaitu sebesar $31,7 \times 10^6$ ESAL. Pada perkerasan eksisting ini mampu menahan beban sebesar $7,93 \times 10^6$ ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue cracking*, dapat menahan beban $7,43 \times 10^6$ ESAL sampai terjadi kerusakan *rutting*, dan yang terakhir mampu menahan beban sebesar $0,0993 \times 10^6$ ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Desain eksisting mengalami kerusakan *permanent deformation* yang dominan ditandai dengan kerusakan yang mulai terjadi pada tahun pertama mengartikan bahwa pada lapisan bagian *subbase* eksisting masih memiliki ketebalan yang masih terlalu tipis. Berdasarkan rekapitulasi di atas, desain perkerasan eksisting masih mengalami kegagalan untuk menahan beban dengan umur layan yang sudah ditetapkan.

Hasil dari analisis yang sudah dilakukan dari nilai *CESA* selama 40 tahun untuk desain perkerasan *CTB* yaitu sebesar $68,90 \times 10^6$ ESAL. Desain perkerasan *CTB* mampu menahan beban sebesar $11,03 \times 10^6$ ESAL hingga terjadi kerusakan *fatigue cracking*, dapat menahan beban $243,49 \times 10^6$ ESAL sampai terjadi kerusakan *rutting*, dan yang terakhir mampu menahan beban sebesar $38,45 \times 10^6$ ESAL hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Desain *CTB* Bina Marga 2017 mengalami kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* yang dominan. Hal itu ditandai dengan kerusakan yang mulai terjadi pada tahun ke-7 dan *rutting* pada tahun ke-24 mengartikan bahwa pada lapisan bagian *surface* dan *base* desain masih memiliki ketebalan yang masih terlalu tipis. Berdasarkan rekapitulasi di atas, desain perkerasan *CTB* sesuai dengan Bina Marga 2017 masih mengalami kegagalan untuk menahan beban sesuai dengan umur layan yang sudah ditetapkan. Oleh karena itu,

dibutuhkan alternatif desain perkerasan agar mampu menahan beban yang didapatkan sehingga kerusakan terjadi sesuai dengan umur rencana yang sudah ditetapkan.

Pada desain perkerasan alternatif *CTB* dengan melihat hasil analisis dapat menahan beban sebesar $7,29 \times 10^7$ *ESAL* hingga terjadi kerusakan *fatigue cracking*, dapat menahan beban $5,41 \times 10^9$ *ESAL* sampai terjadi kerusakan *rutting*, dan yang terakhir mampu menahan beban sebesar $5,73 \times 10^8$ *ESAL* hingga terjadi kerusakan *permanent deformation*. Dari hasil repetisi beban tersebut desain perkerasan alternatif *CTB* sudah mampu untuk menahan beban lalu lintas selama umur rencana yang sebesar 40 tahun dikarenakan pada desain alternatif dilakukan penambahan tebal pada bagian lapisan *surface* dan *subbase*. Hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Arianto dan Fauziah (2023) yang dimana pada lapisan *CTB* mengalami penambahan tebal, dengan penambahan tebal tersebut dapat mempengaruhi nilai tegangan dan regangan sehingga ketika menganalisis kerusakan dan repetisi bebannya mampu menahan beban lalu lintas sampai umur rencana yang sudah ditetapkan.

5.6.3 Maksimum *Stress* dan Maksimum *Deflection* yang Terjadi pada Struktur Perkerasan Kaku dengan Program *KENPAVE-KENSLABS*

Hasil analisis dilakukan berdasarkan umur rencana 40 tahun, mutu beton K400, dan tebal pelat beton hasil perhitungan Bina Marga 2017 yaitu sebesar 29,5 cm, sedangkan hasil *running* pada program *KENPAVE-KENSLABS* didapat dan dipilih tebal sebesar 17,5 cm karena tebal tersebut sudah mencapai umur 40 tahun dan memiliki sisa layan yang tidak terlalu jauh dari 40 tahun sehingga dinyatakan bahwa tebal tersebut sudah efektif untuk diterapkan. Analisis ini mendapatkan *output* berupa maksimum *stress* (tegangan) dan maksimum *deflection* (lendutan), dari dua hasil tersebut akan didapatkan *index cracking* dan *design life*. Rekapitulasi maksimum *stress* dan maksimum *deflection* dari desain perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 5.50 sebagai berikut.

Tabel 5.50 Rekapitulasi Maksimum Stress dan Maksimum Deflection Desain Bina Marga 2017 dan Alternatif Perkerasan Kaku

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking (%)	Evaluasi KENSLABS
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (thn)
Bina Marga 2017	K400	295	1214,887	1195,946	0,848	2,555	0,00	Unlimited
Alternatif	K400	175	2406,832	1799,927	1,594	4,801	2,1	46

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan bahwa maksimum stress (tegangan) yang terjadi pada konfigurasi *single axle* dan *tandem axle* dengan ketebalan pelat beton 29,5 cm metode menggunakan Bina Marga 2017 tercatat *single axle* sebesar 1214,887 kPa dan *tandem axle* sebesar 1195,946 kPa sedangkan dengan ketebalan 17,5 cm dari *running* program KENPAVE-KENSLABS tercatat *single axle* sebesar 2406,832 kPa dan *tandem axle* sebesar 1799,927 kPa. Nilai maksimum deflection (lendutan) yang terjadi pada konfigurasi *single axle* dan *tandem axle* dengan ketebalan pelat beton 29,5 cm menggunakan metode Bina Marga 2017 didapat *single axle* sebesar 0,84843 mm dan *tandem axle* sebesar 2,55553 mm dengan ketebalan pelat 17,5 cm dari hasil *running* program KENPAVE-KENSLABS menghasilkan nilai *single axle* sebesar 1,59406 mm dan *tandem axle* sebesar 4,80141 mm.

Nilai *index cracking* pada metode Bina Marga 2017 menunjukkan tidak ada cracking karena nilai *design life* lebih dari 1000 tahun yang bisa dikatakan *unlimited* dari *output* program. Hal ini mengartikan bahwa tebal pada pelat beton K400 desain Bina Marga 2017 masih memiliki tebal yang terlalu besar sehingga perlu pengurangan tebal untuk mencapai desain perkerasan yang memiliki tebal efektif dan optimal untuk menahan beban lalu lintas yang terjadi. Hasil *running* program KENPAVE-KENSLABS menunjukkan nilai *index cracking* 2,1% pertahun dengan ketebalan pelat beton sebesar 17,5 cm selama *design life* 46 tahun. Hal ini

menunjukkan bahwa ketebalan pelat beton mempengaruhi *output* maksimum *stress*, maksimum *deflection*, *index cracking*, dan *design life* sehingga pada tebal alternatif desain perkerasan kaku sudah memiliki tebal yang efektif dan optimal.

5.6.4 Perbandingan Umur Layan Perkerasan Eksisting, Perkerasan Lentur, dan Perkerasan Kaku

Setelah memperoleh nilai kemampuan desain struktur perkerasan dalam menahan beban lalu lintas, analisis dapat dilanjutkan untuk menentukan umur sisa layanan struktur perkerasan berdasarkan desain Bina Marga 2017, desain alternatif maupun desain eksisting. Berikut adalah rekapitulasi umur layan dari perkerasan sebagai berikut.

Tabel 5.51 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan

Perkerasan Lentur	Jenis Kerusakan		
	<i>Fatigue</i> (tahun)	<i>Rutting</i> (tahun)	<i>Permanent Deformation</i> (tahun)
Eksisting	5	4	1
CTB Desain Bina Marga 2017	6	41	22
Alternatif CTB	42	137	74
Perkerasan Kaku	<i>Cracking</i> (tahun)		
Kaku Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2017	1000>		
Alternatif Kaku Lalu Lintas Berat	46		

Dalam analisis umur sisa layan desain eksisting menggunakan pendekatan elastik, terjadi kerusakan berturut-turut *fatigue* pada tahun ke-5, *rutting* pada tahun ke-4, dan *deformation permanent* pada tahun ke-1. Menunjukkan bahwa desain eksisting masih memiliki tebal yang terlalu tipis sehingga tidak mampu menahan beban lalu lintas yang diberikan. Perbedaan antara desain Bina Marga 2017 terlihat pada variasi kerusakan yang terjadi. Misalnya, desain CTB memiliki umur layan

yang lebih tinggi terhadap rutting dibandingkan dengan desain alternatif *CTB*, yang disebabkan oleh perbedaan ketebalan permukaan. Desain *CTB* memiliki ketebalan lapisan *AC-BC* 6 cm, sedangkan desain alternatif *CTB* memiliki tebal sebesar 18 cm. Selain itu, umur sisa layan terhadap *deformation permanent* juga berbeda, desain alternatif *CTB* memiliki umur sisa layan yang lebih tinggi dibandingkan desain *CTB*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan ketebalan pada lapisan *base* sehingga memiliki nilai repetisi beban yang lebih baik untuk desain perkerasan dengan umur rencana 40 tahun. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pambudi dan Fauziah (2021), juga oleh Tolab dan Fauziah (2024) menggunakan desain *CTB* dengan perbedaan ketebalan dapat memiliki umur layan yang lebih baik. Desain *CTB* menggunakan campuran agregat dengan sejumlah semen *portland* yang memiliki kekakuan dan kekerasan lebih tinggi, serta daya tahan lebih baik terhadap perubahan suhu akibat cuaca.

Pada desain perkerasan kaku lalu lintas berat didapatkan bahwa hampir tidak terjadi kerusakan dikarenakan hasil dari analisis *design life* diketahui 1000 tahun atau bisa dikatakan *unlimited*. Hal itu mengartikan bahwa desain perkerasan lalu lintas berat dengan Bina Marga 2017 masih mempunyai tebal plat beton yang belum efektif dan optimal. Oleh karena itu, diperlukan alternatif desain untuk perkerasan kaku dengan pengurangan ketebalan pelat beton yang semula sesuai dengan Bina Marga 2017 yaitu mempunyai tebal 295 mm menjadi 175 mm supaya mendekati 40 tahun sesuai dengan umur rencana perkerasan. Alternatif desain perkerasan kaku setelah dianalisis menggunakan program *KENPAVE-KENSLABS* mengalami kerusakan perkerasan berupa *cracking* pada umur 46 tahun. Hal ini mengartikan bahwa dengan pengurangan tebal dapat menurunkan umur layan supaya desain perkerasan mencapai tebal yang lebih efektif dan optimal.

Pengurangan ketebalan pada perkerasan kaku dilakukan karena dapat menyebabkan tidak boros material dan memiliki harga yang lebih ekonomis. Pemilihan desain perkerasan yang optimal berdasarkan tebal perkerasan juga dilakukan oleh Qisthi dan Kushari (2019) pada penelitian tersebut membandingkan tebal perkerasan Bina Marga dengan alternatif desain yang tebal pelat betonnya

mengalami pengurangan tebal supaya kerusakan terjadi mendekati dengan umur rencana ternyata lebih efektif sehingga dipilihnya perkerasan kaku menggunakan alternatif desain. Ilpandari (2018) juga melakukan penelitian dengan variasi tebal pelat beton mengakibatkan tegangan maksimum dan lendutan maksimum mengalami peningkatan sehingga umur layan menjadi lebih efektif dan optimal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil analisis perkerasan eksisting serta desain alternatif perkerasan kaku dan lentur Bina Marga 2017 pada ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Desain perkerasan menurut metode Bina Marga 2017 menghasilkan dua desain perkerasan. Desain pertama dengan perkerasan lentur kombinasi *AC* dan *CTB*, dengan rincian tebal *AC-WC* sebesar 40 mm, *AC-BC* sebesar 125 mm, *CTB* sebesar 150 mm, dan *LPA* sebesar 150 mm. Desain kedua menggunakan perkerasan kaku lalu lintas berat, dengan rincian tebal beton K400 sebesar 295 mm, *LMC* sebesar 100 mm dan *LPA* kelas A sebesar 150 mm.
2. Hasil dari analisis yang sudah dilakukan nilai *CESA* untuk perkerasan eksisting yaitu sebesar $31,7 \times 10^6$ *ESAL*. Pada perkerasan eksisting ini masih mengalami kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke-5 sehingga gagal untuk menahan beban dengan umur layan yang sudah ditetapkan. Hasil dari analisis yang sudah dilakukan dari nilai *CESA* selama 40 tahun untuk desain perkerasan lentur dengan *CTB* yaitu sebesar $68,90 \times 10^6$ *ESAL*. Desain perkerasan *CTB* berdasarkan Bina Marga 2017 nilai tegangan dan regangan hanya mampu menahan beban lalu lintas untuk kerusakan *rutting* selama 40 tahun, sehingga desain perkerasan *CTB* belum mampu optimal untuk menahan beban lalu lintas sesuai umur rencana. Alternatif desain pada perkerasan lentur dengan *CTB* menambahkan tebal pada lapisan *base*, sehingga desain alternatif ini mempunyai nilai tegangan dan regangan yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana 40 tahun.
3. Berdasarkan hasil analisis pada perkerasan kaku sudah mampu menahan beban lalu lintas, namun masih belum efektif karena melalui evaluasi dengan

KENPAVE-KENSLABS didapatkan *design life* yang masih *unlimited*. Perkerasan kaku desain Bina Marga 2017 memerlukan pengurangan tebal pelat beton yang semula sebesar 295 mm menjadi 175 mm sehingga alternatif perkerasan kaku lebih efektif dan efisien untuk menahan tegangan dan lendutan yang terjadi pada perkerasan selama umur rencana yang sudah ditetapkan sebesar 40 tahun.

4. Nilai umur layan pada perkerasan eksisting setelah dilakukan analisis adalah 1 tahun, sedangkan untuk desain perkerasan lentur Bina Marga 2017 dengan *CTB* didapatkan sebesar 6 tahun. Perkerasan kaku lalu lintas berat desain Bina Marga 2017 didapatkan nilai umur layan yang sangat jauh dari umur rencana yaitu sebesar 1000 tahun atau *unlimited*. Alternatif desain untuk perkerasan lentur dengan *CTB* memiliki nilai umur layan sebesar 42 tahun. Sedangkan, alternatif desain perkerasan kaku lalu lintas berat didapatkan nilai umur layan sebesar 46 tahun. Berdasarkan umur layan masing-masing desain perkerasan, didapatkan desain perkerasan kaku dan perkerasan lentur yang paling optimal dan efektif adalah alternatif desain perkerasan kaku lalu lintas berat dan alternatif perkerasan lentur dengan *CTB* karena memiliki umur layan yang lebih lama untuk alternatif perkerasan kaku dengan umur layan 46 tahun dan alternatif perkerasan lentur dengan umur layan 42 tahun.

6.2 Saran

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

1. Berdasarkan hasil penelitian, diperlukan perhitungan desain dengan menggunakan metode lain yang dapat digunakan dalam penelitian.
2. Menambahkan perbandingan desain perkerasan lentur yang lain berdasarkan pemilihan desain yang sudah ada pada Bina Marga 2017.
3. Variasi mutu beton pada perkerasan kaku dinilai perlu dilakukan perbandingan agar nilai tegangan dan lendutan lebih mengoptimalkan prediksi kerusakan dan umur layan.

4. Perlu adanya perhitungan dan perbandingan terhadap jumlah biaya dari masing-masing desain perkerasan yang dapat menambah parameter dalam memilih desain perkerasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Z. A., & Susilo, B. H. (2023). Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program Software KENPAVE. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, 1(1), 96-105.
- Arianto, R. (2023). *Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-pangandaran (Evaluation Of Pavement Structure Design With Approaches Elastic And Viscoelastic On Cipatujah-kalapagenep-pangandaran Road)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Badan Statistika Provinsi Jawa Barat. (2021). *Output Tabel Dinamis Wisatawan*. (Online). (<https://jabar.bps.go.id/indicator/16/220/1/jumlah-kunjungan-wisatawan-ke-objek-wisata.html>). diakses 24 Oktober 2023).
- Darmawan, R., & Lizar, L. (2020). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Menggunakan Metode Bm-2017. *Jurnal Tekla*, 2(2), 97-103.
- Departemen Permukiman dan Prasarana wilayah. 2003. *Perencanaan perkerasan jalan beton semen metode SNI 2003 Pd T-14-2003*
- Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022). Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik. *Teknisia*, 27(2), 71-82.
- Hafizhan, K. (2018). Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Pekanbaru–Siak Km 12-14 Di Riau Dengan Metode Bina Marga 2013 (*Evaluation Of Rigid Pavement Thickness At Pekanbaru-Siak Highway In Riau Using Bina Marga 2013 Method*).
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education, 2nd Edition.
- Ilpandari. (2018). Analisis Desain Struktur Rigid Pavement dengan Metode Empirik, Evaluasi dan Permodelan dengan Software Kenpave-Kenslabs (Studi Kasus : Jalan Tol Semarang - Solo, Seksi III Bawen - Salatiga),” no. 1993, p. 14914023.
- Maharani, A., & Wasono, S. B. (2018). Perbandingan Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pantai Prigi-Popoh Kab. Tulungagung). *Ge-STRAM J. Perenc. dan Rekayasa Sipil*, 1(2), 89-94.

- Marga, D. J. B., (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta Selatan: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2017). *Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta
- Muhammad, A. R. (2021). Analisis Biaya Selama Siklus Hidup Perkerasan Lentur Dan Perkerasan Kaku Pada Perencanaan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Balong-Plosokerep, Desa Umbulharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, DI Yogyakarta) (*Master's thesis*, Universitas Islam Indonesia).
- Oglesby, D. D. (1999). *Earthquake dynamics on dip-slip faults*. University of California, Santa Barbara.
- Pambudi, R. A., dan Fauziah, M. 2021. *UP 303-314 Radityo* – Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program *KENPAVE* Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik (Studi Kasus Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba)
- Purwanto, I. E., CES, D., & Bachnas, I. (2018). Analisis Desain Struktur *Rigid Pavement* Dengan Metode Empirik, Evaluasi Dan Pemodelan Dengan *Software KENPAVE-KENSLABS* (Studi Kasus: Jalan Tol Semarang Solo Seksi III Bawen Salatiga) (*Master's thesis*, Universitas Islam Indonesia).
- Putra, J., & Tajudin, A. N. (2021). Desain Ulang Dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Pantura Ruas Tangerang-Serang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 23-32.
- Qisthi, M., & Kushari, B. (2019). Pengaruh Variasi Tebal Dan Mutu Beton Terhadap Respons Struktural Perkerasan Kaku. *Jurnal Transportasi*, 19(1), 1-10.
- Saragih, D. S., Modifa, I., & Rinaldi, A. (2020). Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Jalan Tol Tebing Tinggi–Serbelawan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 Dan PCA. *Jurnal Santeksipil*, 1(2).
- Sodiq, R. A. (2020). Evaluasi Kondisi Perkerasan Dengan Metode *Pavements Condition Index (PCI)* Dan Nilai Sisa Dengan Metode Mekanistik-Empirik Pada Jalan Gito-Gati. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA. Bandung
- Tolab, L. Z., & Fauziah, M. (2024). Prediction of Damage and Remaining Life of Yogyakarta-Bawen Toll Road Pavement with Elastic and Viscoelastic Approaches. *Rekayasa Sipil*, 18(2), 150-158.

Zohri, S., Sutrisno, W., & Priyanto, A. (2019). Analisis Tebal Perkerasan Kaku Pada Jalan Tol Pasuruan–Probolinggo Berdasarkan Metode Bina Marga (Manual Desain Perkerasan 2017) Dan AASHTO (1993). *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 4(1), 33-41.

LAMPIRAN

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

DATA LALU LINTAS – PPK 3.2



LALU LINTAS HARIAN RATA – RATA DAN RASIO VOLUME KAPASITAS

NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	Kelas Kendaraan (kend/hari)											
						1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	7A	7B	7C	8
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran																	
1	066		CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36.890	2020	10.052	2.071	1.278	1.065	145	61	659	467	112	15	17	52
2	065		KALAPAGENEK - CIMERAK	20.830	2020	2.908	178	164	302	11	10	15	845	6	0	0	7

NO	RUAS	SFFX	NAMA RUAS	PANJANG (KM)	TAHUN DATA	Prosentase Kendaraan				Volume kendaraan (kend/hari)	LHRT (kend/hari)
						MC	LV	HV	UM		
PPK 3.2 Preservasi Jalan Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran											
1	066		CIMERAK - BTS. KOTA PANGANDARAN	36,890	2020	62,85%	32,82%	4,21%	0,33%	15.994	5.890
2	065		KALAPAGENEK - CIMERAK	20,830	2020	65,41%	15,08%	19,37%	0,17%	4.447	1.631

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

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

Lampiran 2 Hasil Analisis *KENPAVE-KENLAYER* pada Perkerasan Eksisting

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0,00000 (STRAIN)	0,08404	550,000 -3,695E-04	1264,883 5,423E-04	548,493 -3,695E-04	1122,382 3,609E-04
1	3,99970 (STRAIN)	0,08445	454,683 1,134E-04	461,238 1,217E-04	390,210 3,133E-05	232,576 3,968E-05
1	40,00000 (STRAIN)	0,08229	203,403 6,631E-04	203,992 6,638E-04	-808,112 -5,170E-04	-673,323 -5,170E-04
1	40,00030 (STRAIN)	0,06795	75,968 7,241E-04	78,138 1,154E-03	6,434 -5,791E-04	13,379 -5,791E-04
2	0,00000 (STRAIN)	0,08523	550,000 -2,836E-04	1218,054 5,587E-04	556,298 -2,836E-04	952,473 2,207E-04
2	3,99970 (STRAIN)	0,08549	303,117 4,418E-05	508,636 3,058E-04	104,893 -2,081E-04	325,876 5,347E-05
2	40,00000 (STRAIN)	0,08413	159,516 4,500E-04	160,554 4,512E-04	-655,200 -5,005E-04	-296,909 -5,005E-04
2	40,00030 (STRAIN)	0,07120	79,503 7,904E-04	79,649 1,143E-03	6,789 -6,182E-04	17,868 -6,182E-04
3	0,00000 (STRAIN)	0,08288	0,000 -3,770E-04	709,957 5,291E-04	-2,029 -3,770E-04	321,792 3,511E-05
3	3,99970 (STRAIN)	0,08398	39,395 3,056E-04	267,324 1,441E-04	39,395 -1,460E-04	428,122 9,990E-05
3	40,00000 (STRAIN)	0,08346	127,320 2,971E-04	127,320 2,971E-04	-529,828 -4,696E-04	-43,223 -4,696E-04
3	40,00030 (STRAIN)	0,07169	79,218 8,013E-04	79,218 1,126E-03	6,839 -6,230E-04	19,047 -6,230E-04

**Lampiran 3. Hasil Analisis KENPAVE-KENLAYER pada Perkerasan CTB
Desain Bina Marga 2017**

POINT	VERTICAL	VERTICAL	VERTICAL	MAJOR	MINOR	INTERMEDIATE
NO.	COORDINATE	DISP.	STRESS (STRAIN)	PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	PRINCIAL STRESS (STRAIN)	P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0,00000 (STRAIN)	0,04474	550,000 2,306E-05	671,152 1,792E-04	548,493 2,306E-05	636,662 1,353E-04
1	22,49970 (STRAIN)	0,04060	102,687 1,846E-04	105,246 1,876E-04	-167,824 -1,310E-04	-131,773 -1,310E-04
1	22,50000 (STRAIN)	0,04060	102,685 1,846E-04	105,243 1,876E-04	-167,832 -1,310E-04	-131,780 -1,310E-04
1	52,50000 (STRAIN)	0,03400	19,706 2,317E-04	19,941 2,339E-04	-23,350 -1,558E-04	-19,896 -1,558E-04
1	52,50030 (STRAIN)	0,03400	19,706 3,143E-04	20,208 3,264E-04	0,254 -1,558E-04	1,126 -1,558E-04
2	0,00000 (STRAIN)	0,04401	550,000 1,093E-05	699,856 1,936E-04	556,296 1,093E-05	660,833 1,440E-04
2	22,49970 (STRAIN)	0,04158	92,280 1,653E-04	92,281 1,653E-04	-165,413 -1,354E-04	-99,709 -1,354E-04
2	22,50000 (STRAIN)	0,04158	92,278 1,653E-04	92,279 1,653E-04	-165,421 -1,354E-04	-99,715 -1,354E-04
2	52,50000 (STRAIN)	0,03473	20,790 2,473E-04	20,826 2,476E-04	-24,792 -1,629E-04	-21,841 -1,629E-04
2	52,50030 (STRAIN)	0,03473	20,789 3,359E-04	20,868 3,378E-04	0,148 -1,629E-04	1,181 -1,629E-04
3	0,00000 (STRAIN)	0,04175	0,000 -1,396E-04	247,312 1,734E-04	1,415 -1,396E-04	139,991 3,682E-05
3	22,49970 (STRAIN)	0,04168	85,307 1,523E-04	85,307 1,523E-04	-160,531 -1,345E-04	-83,109 -1,345E-04
3	22,50000 (STRAIN)	0,04168	85,306 1,523E-04	85,306 1,523E-04	-160,538 -1,345E-04	-83,114 -1,345E-04
3	52,50000 (STRAIN)	0,03486	20,980 2,501E-04	20,980 2,501E-04	-25,055 -1,642E-04	-22,183 -1,642E-04
3	52,50030 (STRAIN)	0,03486	20,979 3,398E-04	20,980 3,398E-04	0,125 -1,642E-04	1,194 -1,642E-04

Lampiran 4. Hasil Analisis KENPAVE-KENLAYER pada Perkerasan Alternatif CTB Desain Bina Marga 2017

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)
1	0,00000 (STRAIN)	0,02851	550,000 1,318E-04	587,537 1,318E-04	547,372 8,066E-05	559,086 8,065E-05
1	44,49970 (STRAIN)	0,02264	35,747 6,441E-05	36,727 6,527E-05	-92,126 -4,748E-05	-77,133 -4,748E-05
1	44,50000 (STRAIN)	0,02264	35,746 6,441E-05	36,726 6,527E-05	-92,129 -4,748E-05	-77,134 -4,748E-05
1	89,50000 (STRAIN)	0,01941	6,739 8,143E-05	6,781 8,180E-05	-8,121 -5,232E-05	-7,563 -5,232E-05
1	89,50030 (STRAIN)	0,01941	6,739 1,108E-04	6,829 1,130E-04	-0,010 -5,232E-05	0,123 -5,232E-05
2	0,00000 (STRAIN)	0,02706	550,000 1,117E-04	559,795 1,116E-04	538,521 8,451E-05	554,109 8,454E-05
2	44,49970 (STRAIN)	0,02300	38,678 6,944E-05	38,815 6,956E-05	-98,290 -5,040E-05	-82,930 -5,040E-05
2	44,50000 (STRAIN)	0,02300	38,678 6,945E-05	38,814 6,957E-05	-98,293 -5,040E-05	-82,932 -5,040E-05
2	89,50000 (STRAIN)	0,01959	6,935 8,445E-05	6,942 8,451E-05	-8,390 -5,348E-05	-7,994 -5,348E-05
2	89,50030 (STRAIN)	0,01959	6,935 1,150E-04	6,950 1,154E-04	-0,037 -5,348E-05	0,099 -5,348E-05
3	0,00000 (STRAIN)	0,02475	0,000 -3,958E-05	97,608 8,284E-05	1,416 -3,958E-05	14,784 -2,257E-05
3	44,49970 (STRAIN)	0,02313	39,111 7,012E-05	39,112 7,012E-05	-99,195 -5,090E-05	-83,506 -5,090E-05
3	44,50000 (STRAIN)	0,02313	39,110 7,012E-05	39,111 7,012E-05	-99,197 -5,090E-05	-83,509 -5,090E-05
3	89,50000 (STRAIN)	0,01969	6,991 8,504E-05	6,991 8,504E-05	-8,418 -5,364E-05	-8,053 -5,364E-05
3	89,50030 (STRAIN)	0,01969	6,991 1,158E-04	6,991 1,158E-04	-0,021 -5,364E-05	0,115 -5,364E-05

Lampiran 5. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2017

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\KENSLAB JUNO 29.5 CM.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -NPROB

TYPE OF FOUNDATION (NFOUND)	=	1
TYPE OF DAMAGE ANALYSIS (NDAMA)	=	1
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY)	=	1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG)	=	2
TOTAL NUMBER OF SLABS (NSLAB)	=	4
TOTAL NUMBER OF JOINTS (NJOINT)	=	4

ARRANGEMENT OF SLABS

SLAB NO.	NO. NODES (NX)	NO. NODES (NY)	JOINT NO. AT FOUR SIDES (JONO)			
	IN X DIRECTION	IN Y DIRECTION	LEFT	RIGHT	BOTTOM	TOP
1	10	9	0	4	0	1
2	10	9	0	2	1	0
3	10	9	4	0	0	3
4	10	9	2	0	3	0

NUMBER OF LAYERS (NLAYER)-----	1
NODAL NUMBER USED TO CHECK CONVERGENCE (NNCK)-----	1
NUMBER OF NODES NOT IN CONTACT (NOTCON)-----	0
NUMBER OF GAPS (NGAP)-----	0
NUMBER OF POINTS FOR PRINTOUT (NPRINT)-----	3
CODE FOR INPUT OF GAPS OR PRECOMPRESSIONS (INPUT)-	0
BOND BETWEEN TWO LAYERS (NBOND)-----	0
CONDITION OF WARPING (NTEMP)-----	0
CODE INDICATING WHETHER SLAB WEIGHT IS CONSIDERED (NWT)-----	0
MAX NO. OF CYCLES FOR CHECKING CONTACT (NCYCLE)-----	1
NUMBER OF ADDITIONAL THICKNESSES FOR SLAB LAYER 1 (NAT1)-----	0
NUMBER OF ADDITIONAL THICKNESSES FOR SLAB LAYER 2 (NAT2)-----	0
NUMBER OF POINTS ON X AXIS OF SYMMETRY (NSX)-----	0
NUMBER OF POINTS ON Y AXIS OF SYMMETRY (NSY)-----	9
MORE DETAILED PRINTOUT FOR EACH CONTACT CYCLE (MDPO)-----	0
TOLERANCE FOR ITERATIONS (DEL)-----	0
MAXIMUM ALLOWABLE VERTICAL DISPLACEMENT (FMAX)-----	2.54

```

SYSTEM OF UNITS (NUNIT)-----= 1
Length in cm, force in kN, stress in kPa, unit weight in kN/m^3
subgrade and dowel K value in MN/m^3, and temperature in C

MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 1 (PMR(1))-----= 4721.04
MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 2 (PMR(2))-----= 0

FOR SLAB NO. 1 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

FOR SLAB NO. 2 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

FOR SLAB NO. 3 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

FOR SLAB NO. 4 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER          THICKNESS (T)          POISSON'S          YOUNG'S
NO.              THICKNESS (T)          RATIO (PR)          MODULUS (YM)
1                29.50000          0.15000          2.700E+07

No. OF LOADED AREAS (NUDL) FOR EACH LOAD GROUP ARE: 4 8
NO. OF NODAL FORCES (NCNF) AND MOMENTS (NCMX AND NCMY) ARE: 0 0 0

FOR LOAD GROUP NO. 1 LOADS ARE APPLIED AS FOLLOWS:
SLAB NO.      X COORDINATES      Y COORDINATES      INTENSITY
(LS)      (XL1)      (XL2)      (YL1)      (YL2)      (QQ)
1      0.00000      10.26600      0.00000      14.14100      689.50000
1      0.00000      10.26600      36.65900      50.80000      689.50000
1      0.00000      10.26600      195.58000      208.72100      689.50000
1      0.00000      10.26600      232.23900      246.38000      689.50000

```

FOR LOAD GROUP NO. 2 LOADS ARE APPLIED AS FOLLOWS:

SLAB NO.	X COORDINATES		Y COORDINATES		INTENSITY
(LS)	(XL1)	(XL2)	(YL1)	(YL2)	(QQ)
1	0.00000	10.26600	0.00000	14.14100	689.50000
1	0.00000	10.26600	36.65900	50.80000	689.50000
1	0.00000	10.26600	195.58000	209.72100	689.50000
1	0.00000	10.26600	232.23900	246.38000	689.50000
1	111.65400	132.18600	0.00000	14.14100	689.50000
1	111.65400	132.18600	36.65900	50.80000	689.50000
1	111.65400	132.18600	195.58000	209.72100	689.50000
1	111.65400	132.18600	232.23900	246.38000	689.50000

NODES FOR STRESS PRINTOUT (NP) ARE: 1 19 37

NODES ON Y AXIS OF SYMMETRY (NODSY) ARE: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

FOUNDATION ADJUSTMENT FACTOR (FSAF) FOR EACH PERIOD ARE: 1

YOUNG'S MODULUS OF FOUNDATION (YMS) = 46200

POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) = 0.45

YOUNG MODULUS OF DOWEL BAR (YMSB) = 2.000E+08

POISSON RATIO OF DOWEL BAR (PRSB) = 0.30000

JOINT NO.	SHEAR (SPCON1)	CONSTANT MOMENT (SPCON2)	MODULUS OF DOWEL SUP. (SCKV)	DOWEL DIA. (BD)	<u>DOWEL</u> SPACING (BS)	JOINT WIDTH (WJ)	GAP DOWEL (GDC)	NODE JOINT (NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	1.600	75.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.723E+02	3.600	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	1.600	75.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	3.600	30.000	0.500	0.00000	0

FOR PERIOD 1 TOTAL NO. OF LOAD REPETITIONS (TNLR) FOR EACH LOAD GROUP ARE:
10602 3392

JOINT NO.	EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)
1	2.221E-02
2	2.318E-01
3	2.221E-02
4	2.312E-01

```

HALF BAND WIDTH (NB) = 678

PERIOD 1 LOAD GROUP 1 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
    9      0.0      0.0    18      0.0      0.0    27      0.0      0.0
   36      0.0      0.0    45      0.0      0.0    54      0.0      0.0
   63      0.0      0.0    72      0.0      0.0    81      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 1 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
    9      0.0    18      0.0    27      0.0    36      0.0    45      0.0
   54      0.0    63      0.0    72      0.0    81      0.0

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
    9      0.0      0.0    18      0.0      0.0    27      0.0      0.0
   36      0.0      0.0    45      0.0      0.0    54      0.0      0.0
   63      0.0      0.0    72      0.0      0.0    81      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 2 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
  172      0.0      0.0   173      0.0      0.0   174      0.0      0.0
  175      0.0      0.0   176      0.0      0.0   177      0.0      0.0
  178      0.0      0.0   179      0.0      0.0   180      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 2 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
  172      0.0   173      0.0   174      0.0   175      0.0   176      0.0
  177      0.0   178      0.0   179      0.0   180      0.0

FOR JOINT NO. 2 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
  172      0.0      0.0   173      0.0      0.0   174      0.0      0.0
  175      0.0      0.0   176      0.0      0.0   177      0.0      0.0
  178      0.0      0.0   179      0.0      0.0   180      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 3 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
  189      0.0      0.0   198      0.0      0.0   207      0.0      0.0
  216      0.0      0.0   225      0.0      0.0   234      0.0      0.0
  243      0.0      0.0   252      0.0      0.0   261      0.0      0.0

```

FOR JOINT NO. 3 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

189	0.0	198	0.0	207	0.0	216	0.0	225	0.0
234	0.0	243	0.0	252	0.0	261	0.0		

FOR JOINT NO. 3 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

189	0.0	0.0	198	0.0	0.0	207	0.0	0.0
216	0.0	0.0	225	0.0	0.0	234	0.0	0.0
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

82	0.0	83	0.0	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.0		

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

NODE	LAYER	STRESS X	STRESS Y	STRESS XY	MAX.SHEAR	MAJOR	MINOR
1	1	-1214.887	0.000	0.000	607.444	0.000	-1214.887
19	1	-301.474	0.000	0.000	150.737	0.000	-301.474
37	1	14.056	0.000	0.000	7.028	14.056	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -1214.887 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .00000E+00

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

9	0.0	0.0	18	0.0	0.0	27	0.0	0.0
36	0.0	0.0	45	0.0	0.0	54	0.0	0.0
63	0.0	0.0	72	0.0	0.0	81	0.0	0.0

```

FOR JOINT NO. 1 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
  9      0.0  18      0.0  27      0.0  36      0.0  45      0.0
 54      0.0  63      0.0  72      0.0  81      0.0

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
  9      0.0      0.0  18      0.0      0.0  27      0.0      0.0
 36      0.0      0.0  45      0.0      0.0  54      0.0      0.0
 63      0.0      0.0  72      0.0      0.0  81      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 2 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
 172     0.0      0.0  173     0.0      0.0  174     0.0      0.0
 175     0.0      0.0  176     0.0      0.0  177     0.0      0.0
 178     0.0      0.0  179     0.0      0.0  180     0.0      0.0

FOR JOINT NO. 2 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
 172     0.0  173      0.0  174      0.0  175      0.0  176      0.0
 177     0.0  178      0.0  179      0.0  180      0.0

FOR JOINT NO. 2 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
 172     0.0      0.0  173     0.0      0.0  174     0.0      0.0
 175     0.0      0.0  176     0.0      0.0  177     0.0      0.0
 178     0.0      0.0  179     0.0      0.0  180     0.0      0.0

FOR JOINT NO. 3 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
 189     0.0      0.0  198     0.0      0.0  207     0.0      0.0
 216     0.0      0.0  225     0.0      0.0  234     0.0      0.0
 243     0.0      0.0  252     0.0      0.0  261     0.0      0.0

FOR JOINT NO. 3 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
 189     0.0  198      0.0  207      0.0  216      0.0  225      0.0
 234     0.0  243      0.0  252      0.0  261      0.0

FOR JOINT NO. 3 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
 189     0.0      0.0  198     0.0      0.0  207     0.0      0.0
 216     0.0      0.0  225     0.0      0.0  234     0.0      0.0
 243     0.0      0.0  252     0.0      0.0  261     0.0      0.0

```

FOR JOINT NO. 3 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

189	0.0	0.0	198	0.0	0.0	207	0.0	0.0
216	0.0	0.0	225	0.0	0.0	234	0.0	0.0
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.1	0.0	90	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

82	0.0	83	0.0	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.0		

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

NODE	LAYER	STRESS X	STRESS Y	STRESS XY	MAX.SHEAR	MAJOR	MINOR
1	1	-1195.946	0.000	0.000	597.973	0.000	-1195.946
19	1	-481.854	0.000	0.000	240.927	0.000	-481.854
37	1	-1028.504	0.000	0.000	514.252	0.000	-1028.504

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -1195.946 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .00000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .00000E+00

DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 1000.00

Lampiran 6. Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Alternatif Kaku Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2017

```

INPUT FILE NAME   -C:\KENPAVE\KENSLAB JUNO 17.5 CM.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -NPROB

TYPE OF FOUNDATION (NFOUND)           =          1
TYPE OF DAMAGE ANALYSIS (NDAMA)        =          1
NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY)       =          1
NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG)            =          2
TOTAL NUMBER OF SLABS (NSLAB)          =          4
TOTAL NUMBER OF JOINTS (NJOINT)        =          4

ARRANGEMENT OF SLABS
SLAB  NO.  NO.  NO.  JOINT NO.  AT FOUR SIDES (JONO)
NO.    IN X DIRECTION  IN Y DIRECTION    LEFT  RIGHT  BOTTOM  TOP
  1         10           9           0     4     0     1
  2         10           9           0     2     1     0
  3         10           9           4     0     0     3
  4         10           9           2     0     3     0

NUMBER OF LAYERS (NLAYER)-----=  1
NODAL NUMBER USED TO CHECK CONVERGENCE (NNCK)-----=  1
NUMBER OF NODES NOT IN CONTACT (NOTCON)-----=  0
NUMBER OF GAPS (NGAP)-----=  0
NUMBER OF POINTS FOR PRINTOUT (NPRINT)-----=  3
CODE FOR INPUT OF GAPS OR PRECOMPRESSIONS (INPUT)- -----=  0
BOND BETWEEN TWO LAYERS (NBOND)-----=  0
CONDITION OF WARPING (NTEMP)-----=  0
CODE INDICATING WHETHER SLAB WEIGHT IS CONSIDERED (NWT)-----=  0
MAX NO. OF CYCLES FOR CHECKING CONTACT (NCYCLE)-----=  1
NUMBER OF ADDITIONAL THICKNESSES FOR SLAB LAYER 1 (NAT1)-----=  0
NUMBER OF ADDITIONAL THICKNESSES FOR SLAB LAYER 2 (NAT2)-----=  0
NUMBER OF POINTS ON X AXIS OF SYMMETRY (NSX)-----=  0
NUMBER OF POINTS ON Y AXIS OF SYMMETRY (NSY)-----=  9
MORE DETAILED PRINTOUT FOR EACH CONTACT CYCLE (MDPO)-----=  0
TOLERANCE FOR ITERATIONS (DEL)-----=  0
MAXIMUM ALLOWABLE VERTICAL DISPLACEMENT (FMAX)-----=  2.54

```

```

SYSTEM OF UNITS (NUNIT)-----= 1
Length in cm, force in kN, stress in kPa, unit weight in kN/m^3
subgrade and dowel K value in MN/m^3, and temperature in C

MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 1 (PMR(1))-----= 4721.04
MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 2 (PMR(2))-----= 0

FOR SLAB NO. 1 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

FOR SLAB NO. 2 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

FOR SLAB NO. 3 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.96 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.5 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

FOR SLAB NO. 4 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X = 0 30.48 60.95 91.44 121.92 182.88 243.84 335.28 456.72 500
Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER          THICKNESS (T)          POISSON'S          YOUNG'S
NO.              17.50000              RATIO (PR)        MODULUS (YM)
1                  0.15000              2.700E+07

No. OF LOADED AREAS (NUDL) FOR EACH LOAD GROUP ARE: 4 8
No. OF NODAL FORCES (NCNF) AND MOMENTS (NCMX AND NCMY) ARE: 0 0 0

FOR LOAD GROUP NO. 1 LOADS ARE APPLIED AS FOLLOWS:
SLAB NO.      X COORDINATES          Y COORDINATES          INTENSITY
(LS)          (XL1)          (XL2)          (YL1)          (YL2)          (QQ)
1            0.00000          10.26600          0.00000          14.14100          689.50000
1            0.00000          10.26600          36.65900          50.80000          689.50000
1            0.00000          10.26600          195.58000          209.72100          689.50000
1            0.00000          10.26600          232.23900          246.38000          689.50000

```

FOR LOAD GROUP NO. 2 LOADS ARE APPLIED AS FOLLOWS:

SLAB NO.	X COORDINATES		Y COORDINATES		INTENSITY
(LS)	(XL1)	(XL2)	(YL1)	(YL2)	(QQ)
1	0.00000	10.26600	0.00000	14.14100	689.50000
1	0.00000	10.26600	36.65900	50.80000	689.50000
1	0.00000	10.26600	195.58000	209.72100	689.50000
1	0.00000	10.26600	232.23900	246.38000	689.50000
1	111.65400	132.18600	0.00000	14.14100	689.50000
1	111.65400	132.18600	36.65900	50.80000	689.50000
1	111.65400	132.18600	195.58000	209.72100	689.50000
1	111.65400	132.18600	232.23900	246.38000	689.50000

NODES FOR STRESS PRINTOUT (NP) ARE: 1 19 37

NODES ON Y AXIS OF SYMMETRY (NODSY) ARE: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

FOUNDATION ADJUSTMENT FACTOR (FSAF) FOR EACH PERIOD ARE: 1

YOUNG'S MODULUS OF FOUNDATION (YMS) = 46200

POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) = 0.45

YOUNG MODULUS OF DOWEL BAR (YMSB) = 2.000E+08

POISSON RATIO OF DOWEL BAR (PRSB) = 0.30000

JOINT NO.	SHEAR	CONSTANT	MODULUS OF	DOWEL	DOWEL	JOINT	GAP	NODE
	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	DIA.	SPACING	WIDTH	DOWEL	JOINT
				(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	1.600	75.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	3.600	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	1.600	75.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+02	3.600	30.000	0.500	0.00000	0

FOR PERIOD 1 TOTAL NO. OF LOAD REPETITIONS (TNLR) FOR EACH LOAD GROUP ARE:
10602 3392

JOINT NO.	EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)
1	2.221E-02
2	2.312E-01
3	2.221E-02
4	2.312E-01

HALF BAND WIDTH (NB) = 678

PERIOD 1 LOAD GROUP 1 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

9	0.0	0.0	18	0.0	0.0	27	0.0	0.0
36	0.0	0.0	45	0.0	0.0	54	0.0	0.0
63	0.0	0.0	72	0.0	0.0	81	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 1 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

9	0.0	18	0.0	27	0.0	36	0.0	45	0.0
54	0.0	63	0.0	72	0.0	81	0.0		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	0.0	0.0	18	0.0	0.0	27	0.0	0.0
36	0.0	0.0	45	0.0	0.0	54	0.0	0.0
63	0.0	0.0	72	0.0	0.0	81	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 2 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

172	0.0	0.0	173	0.0	0.0	174	0.0	0.0
175	0.0	0.0	176	0.0	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.0	0.0	180	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 2 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

172	0.0	173	0.0	174	0.0	175	0.0	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.0		

FOR JOINT NO. 2 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

172	0.0	0.0	173	0.0	0.0	174	0.0	0.0
175	0.0	0.0	176	0.0	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.0	0.0	180	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 3 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

189	0.0	0.0	198	0.0	0.0	207	0.0	0.0
216	0.0	0.0	225	0.0	0.0	234	0.0	0.0
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 3 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

189	0.0	198	0.0	207	0.0	216	0.0	225	0.0
234	0.0	243	0.0	252	0.0	261	0.0		

FOR JOINT NO. 3 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

189	0.0	0.0	198	0.0	0.0	207	0.0	0.0
216	0.0	0.0	225	0.0	0.0	234	0.0	0.0
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

82	0.0	83	0.0	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.0		

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

NODE	LAYER	STRESS X	STRESS Y	STRESS XY	MAX.SHEAR	MAJOR	MINOR
1	1	-2406.832	0.000	0.000	1203.416	0.000	-2406.832
19	1	-104.156	0.000	0.000	52.078	0.000	-104.156
37	1	327.282	0.000	0.000	163.641	327.282	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2406.832 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .21677E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

9	0.0	0.0	18	0.0	0.0	27	0.0	0.0
36	0.0	0.0	45	0.0	0.0	54	0.0	0.0
63	0.0	0.0	72	0.0	0.0	81	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 1 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:									
9	0.0	18	0.0	27	0.0	36	0.0	45	0.0
54	0.0	63	0.0	72	0.0	81	0.0		
FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:									
9	0.0	0.0	18	0.0	0.0	27	0.0	0.0	
36	0.0	0.0	45	0.0	0.0	54	0.0	0.0	
63	0.0	0.0	72	0.0	0.0	81	0.0	0.0	
FOR JOINT NO. 2 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:									
172	0.0	0.0	173	0.0	0.0	174	0.0	0.0	
175	0.0	0.0	176	0.0	0.0	177	0.0	0.0	
178	0.0	0.0	179	0.0	0.0	180	0.0	0.0	
FOR JOINT NO. 2 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:									
172	0.0	173	0.0	174	0.0	175	0.0	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.0		
FOR JOINT NO. 2 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:									
172	0.0	0.0	173	0.0	0.0	174	0.0	0.0	
175	0.0	0.0	176	0.0	0.0	177	0.0	0.0	
178	0.0	0.0	179	0.0	0.0	180	0.0	0.0	
FOR JOINT NO. 3 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:									
189	0.0	0.0	198	0.0	0.0	207	0.0	0.0	
216	0.0	0.0	225	0.0	0.0	234	0.0	0.0	
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.0	0.0	
FOR JOINT NO. 3 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:									
189	0.0	198	0.0	207	0.0	216	0.0	225	0.0
234	0.0	243	0.0	252	0.0	261	0.0		
FOR JOINT NO. 3 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:									
189	0.0	0.0	198	0.0	0.0	207	0.0	0.0	
216	0.0	0.0	225	0.0	0.0	234	0.0	0.0	
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.0	0.0	

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:

82	0.0	83	0.0	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.0		

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS (SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

82	0.0	0.0	83	0.0	0.0	84	0.0	0.0
85	0.0	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.0	0.0	90	0.0	0.0

NODE	LAYER	STRESS X	STRESS Y	STRESS XY	MAX.SHEAR	MAJOR	MINOR
1	1	-1772.990	0.000	0.000	886.495	0.000	-1772.990
19	1	84.635	0.000	0.000	42.318	84.635	0.000
37	1	-1799.927	0.000	0.000	899.963	0.000	-1799.927

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -1799.927 (NODE 37)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .00000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .21677E-01

DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 46.13