

TUGAS AKHIR

EVALUASI DESAIN STRUKTUR PERKERASAN KAKU DI RUAS JALAN KUDUS–PATI–REMBANG STA. 0+000 – STA. 100+625 BERDASARKAN METODE BINA MARGA 2024

***(EVALUATION OF RIGID PAVEMENT STRUCTURE
DESIGN ON THE KUDUS–PATI–REMBANG ROAD
SECTION STA. 0+000 – STA. 100+625 BASED ON THE
BINA MARGA 2024 METHOD)***

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



**Ainaya Filza Jaunaa' Fasha
21511270**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI DESAIN STRUKTUR PERKERASAN
KAKU DI RUAS JALAN KUDUS – PATI – REMBANG
2024 STA. 0+000 – STA. 100+625 BERDASARKAN
METODE BINA MARGA
(EVALUATION OF RIGID PAVEMENT STRUCTURE
DESIGN ON THE KUDUS-PATI-REMBANG ROAD
SECTION STA. 0.000 – STA. 100+625 BASED ON THE
BINA MARGA 2024 METHOD)**



Pembimbing

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

Penguji I

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

Penguji II

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 955110103

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunnalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 25 November 2025

Yang membuat pernyataan



Atinaya Filza Jaunaa' Fasha

(21511270)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan Rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Kaku di Ruas Jalan Kudus-Pati-Rembang Berdasarkan Metode Bina Marga 2024 STA. 100+625. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi Tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

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. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan yang luar biasa, kesabaran, serta dukungan yang tiada henti selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kepercayaan dan kesempatan yang telah diberikan untuk berkembang.
2. Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.
3. Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Kepada kedua orang tua, Bapak Subuh Rohmanto, A.Md dan Ibu Farida Ariyani, S.T., serta seluruh keluarga, penulis menyampaikan rasa terima kasih

yang mendalam atas motivasi, semangat, doa, dan dukungan tanpa henti yang telah diberikan hingga penulis dapat mencapai titik ini. Terima kasih atas kesabaran, kasih sayang, serta segala pengorbanan yang telah diberikan selama ini, yang menjadi sumber kekuatan dan inspirasi bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih untuk diri sendiri, yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas keteguhan hati, kesabaran, dan kerja keras yang telah dilakukan hingga mampu mencapai tahap ini. Setiap proses, rasa lelah, dan perjuangan yang dilalui menjadi bukti bahwa usaha tidak pernah mengkhianati hasil. Semoga pencapaian ini menjadi langkah awal menuju perjalanan yang lebih baik di masa depan.
7. Moch Farhan Yafi' Fasha dan Alyaa Fazila Yaziyah Fasha, adik penulis yang selalu memberikan dukungan, pengertian, serta semangat selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas motivasi dan kebersamaan yang menjadi penyemangat bagi penulis hingga tugas ini dapat diselesaikan.
8. Syanira Fadiya Zahrani, saudara saya yang selalu memberikan dukungan, pengertian, serta kesabaran selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena selalu mendengarkan setiap keluh kesah, memberikan semangat, dan menjadi tempat berbagi cerita di saat penulis menghadapi kesulitan. Dukunganmu menjadi sumber kekuatan yang berarti hingga penulis dapat menyelesaikan karya ini dengan baik.
9. Diah Ayu Puspitaningrum, S.T., saudara saya yang selalu memberikan dukungan, pengertian, serta kesabaran selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena selalu mendengarkan setiap keluh kesah, memberikan semangat, dan menjadi tempat berbagi cerita di saat penulis menghadapi kesulitan. Dukunganmu menjadi sumber kekuatan yang berarti hingga penulis dapat menyelesaikan karya ini dengan baik.

10. Yuda Prabowo, S.ST., S.T., Muhammad Firdaus Sani Wijaya Kusuma, S.T., Amelia Nugraheni, Fika Risti Nurhasanah, S.T., Alfina Aflah Aribah, yang sudah membantu dan memberikan dukungan dalam Tugas Akhir ini.
11. Rahma Rusydina, S.Psi, M.Psi., Psikolog. Terima kasih kepada psikolog penulis yang telah memberikan bimbingan, dukungan emosional, dan arahan positif selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kesabaran dalam mendengarkan, membantu penulis memahami diri sendiri, serta memberikan motivasi untuk tetap kuat dan fokus di tengah tekanan akademik. Dukungan tersebut sangat berarti dalam menjaga keseimbangan mental dan semangat penulis hingga tugas ini dapat terselesaikan dengan baik.
12. Seluruh pihak yang sudah mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
Saya memohon maaf apabila terdapat kesalahan penulisan dan sebagaimana.
Saya berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun orang lain.

Yogyakarta, November 2025
Penulis

Ainaya Filza Jaunaa' Fasha
(21511270)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Masalah	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Tinjauan Umum	8
2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga	8
2.3 Evaluasi Struktur Perkerasan dengan <i>Software</i> KENPAVE	11
2.4 Analisis Perbandingan Umur Rencana	12
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Perkerasan Kaku	17

3.1.1 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>)	17
3.1.2 Lapis Fondasi Bawah (<i>Subbase course</i>)	18
3.1.3 Lapis Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	18
3.2 Desain Tabel Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 2024	19
3.2.1 Desain fondasi perkerasan	24
3.2.2 Desain Perkerasan	26
3.3 Data <i>Properties</i> Material	27
3.3.1 Properties Material Pada Lapisan Perkerasan Subgrade	27
3.3.2 Properties Material Pada Slab Beton	28
3.4 <i>Software</i> KENPAVE	29
3.4.1 Data Path	30
3.4.2 File Name	30
3.4.3 Help	30
3.4.4 LAYERINP atau SLABINP	30
3.4.5 KENSLABS	31
3.5 Program KENSLABS	31
3.5.1. File	33
3.5.2. General	33
3.5.3. Slab	36
3.5.4. Uniform	37
3.5.5. Optional	40
3.5.6. Foundation	41
BAB IV METODE PENELITIAN	43
4.1 Pengumpulan Data	43
4.2 Lokasi Studi Kasus	43
4.3 Analisis Data	47
4.4 Prosedur Metode KENPAVE-KENSLABS	47
4.5 Bagan Alir Penelitian	48
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	50
5.1 Analisis Data	50

5.1.1 Existing	50
5.1.2 Alternatif 1	62
5.1.3 Alternatif 2	62
5.1.4 Alternatif 3	63
5.1.5 Alternatif 4	64
5.1.6 Alternatif 5	65
5.2 Pembahasan	66
5.2.1 Existing	66
5.2.2 Alternatif 1	76
5.2.3 Alternatif 2	77
5.2.4 Alternatif 3	79
5.2.5 Alternatif 4	81
5.2.6 Alternatif 5	83
5.2.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Kaku	84
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	94
6.1 Kesimpulan	94
6.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan Bina Marga	14
Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan KENPAVE	16
Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	20
Tabel 3.2 Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang	21
Tabel 3.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain	21
Tabel 3.4 Faktor Distribusi Lajur (DL)	22
Tabel 3.5 Klasifikasi dan konfigurasi sumbu kendaraan	23
Tabel 3.6 Pemilihan Jenis Perkerasan	26
Tabel 3.7 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah	27
Tabel 4.1 Kondisi Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang	45
Tabel 5.1 Kondisi Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang	51
Tabel 5.2 Nilai CBR	51
Tabel 5.3 Data LHR Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang	52
Tabel 5.4 Nilai VDF Berdasarkan Jenis Kendaraan	57
Tabel 5.5 Perhitungan Nilai ESA5	57
Tabel 5.6 Nilai Jumlah Kelompok Sumbu	58
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan HVAG	59
Tabel 5.8 Perhitungan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)	61
Tabel 5.9 Hasil Analisis Alternatif 1	62
Tabel 5.10 Hasil Analisis Alternatif 2	63
Tabel 5.11 Hasil Analisis Alternatif 3	64
Tabel 5.12 Hasil Analisis Alternatif 4	65
Tabel 5.13 Hasil Analisis Alternatif 5	66
Tabel 5.14 <i>Input Data Menu General</i>	70
Tabel 5.15 Pengaturan pada <i>Slab dan Joint</i>	72
Tabel 5.16 Properti <i>Slab</i>	72
Tabel 5.17 Koordinat Sumbu X	72
Tabel 5.18 Koordinat Sumbu Y	72

Tabel 5.19 <i>Load Group Area</i>	73
Tabel 5.20 <i>Loaded Areas for Load Group No. 1</i>	73
Tabel 5.21 <i>Loaded Areas for Load Group No. 2</i>	73
Tabel 5.22 <i>Elastic Properties of Dowel bars</i>	74
Tabel 5.23 <i>Nodes for Printout</i>	74
Tabel 5.24 <i>Nodes Y Symmetry</i>	74
Tabel 5.25 <i>Solid Foundation</i>	75
Tabel 5.26 <i>Joint of Four Slab</i>	75
Tabel 5.27 <i>Fatigue Properties</i>	75
Tabel 5.28 <i>Volume of Traffic</i>	75
Tabel 5.29 Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku dari <i>Software</i>	91
Tabel 5.30 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Ilustrasi Lapisan	19
Gambar 3.2 Tampilan Awal Program KENPAVE	30
Gambar 3.3 <i>Main Menu of Layerinp</i>	31
Gambar 3.4 Tampilan Jendela <i>General</i>	33
Gambar 3.5 Tampilan Jendela <i>Slab</i>	37
Gambar 3.6 Tampilan Jendela Uniform	38
Gambar 3.7 Tampilan Jendela <i>Optional</i>	40
Gambar 3.8 Tampilan Jendela <i>Foundation</i>	41
Gambar 4.1 Peta Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang STA. 100+625	44
Gambar 4.2 Geometri Sambungan Memanjang (<i>Tie-bar</i>) dan susut Melintang (<i>Dowel</i>) Perkerasan BBT/JPCP	46
Gambar 4.3 Detail <i>Tie-bar</i> (Batang Pengikat)	46
Gambar 4.4 Detail <i>Dowel</i> (Batang Ruji)	47
Gambar 4.5 Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 5.1 Tebal Lapis Existing	50
Gambar 5.5 Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Tegangan Maksimum	67
Gambar 5.6 Tampilan pada Menu SLABSINP	70
Gambar 5.7 Tampilan Data <i>Input Menu General</i>	71
Gambar 5.8 Alternatif 1 Kaku Lalu Lintas Berat	77
Gambar 5.9 Alternatif 2 Kaku Lalu Lintas Berat	78
Gambar 5.10 Alternatif 3 Kaku Lalu Lintas Berat	80
Gambar 5.11 Alternatif 4 Kaku Lalu Lintas Berat	82
Gambar 5.12 Alternatif 5 Kaku Lalu Lintas Berat	84
Gambar 5.13 Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Tegangan Maksimum	87
Gambar 5.14 Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Lendutan Maksimum	89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku <i>Existing</i> Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	100
Lampiran 2 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku Alternatif 1 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	114
Lampiran 3 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku Alternatif 2 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	128
Lampiran 4 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku Alternatif 3 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	142
Lampiran 5 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku Alternatif 4 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	156
Lampiran 6 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku Alternatif 5 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	170
Lampiran 7 Data Sekunder Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahun 2024	184
Lampiran 8 Data Sekunder CBR	185
Lampiran 9 Gambar Detail Perkerasan <i>Rigid Existing</i>	186

DAFTAR NOTASI

AASHTO	= American Association of State Highway and Transportation Officials
BBDT	= Beton Bersambung Dengan Tulangan
BBTJ	= Beton Bersambung Tanpa Tulangan
BS	= Beban Sumbu
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
cm	= centimeter
CRCP	= <i>Continuously Reinforced Concrete Pavement</i>
m	= meter
kg	= kilogram
E	= modulus elastisitas (kPa)
ESA	= <i>Equivalent Standard Axle</i>
HVAG	= <i>High Vehicle Axle Group</i>
I	= tingkat pertumbuhan lalu lintas (%)
JPCP	= <i>Jointed Plain Concrete Pavemen</i>
JRCP	= <i>Jointed Reinforced Concrete Pavement</i>
JS	= Jumlah Sumbu
JSKN	= Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga
kPa	= <i>kilo Pascal</i>
LHR	= Lalu Lintas Harian
MPa	= <i>Megapascal</i>
Psi	= <i>pound per square inch</i> (pon per inci persegi)
R	= faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
RB	= Roda Belakang
RD	= Roda Depan
RGB	= Roda Ganda Belakang
RGD	= Roda Ganda Depan
STdRG	= Sumbu Tandem Roda Ganda
STRG	= Sumbu Tunggal Roda Ganda

STRT	= Sumbu Tunggal Roda Tunggal
UR	= umur rencana (tahun)
μ	= angka <i>Poisson's Ratio</i>
τ	= tegangan geser
σ	= tegangan normal

ABSTRAK

Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang merupakan salah satu jalan nasional yang berfungsi sebagai jalur utama penghubung wilayah pantai utara Jawa Tengah dengan panjang sekitar 17,85 km. Jalan ini memiliki volume lalu lintas tinggi dengan dominasi kendaraan berat seperti truk dan bus, yang menyebabkan penurunan kualitas struktur perkerasan dalam beberapa tahun terakhir. Kondisi tersebut menuntut adanya evaluasi terhadap kemampuan struktur perkerasan *existing* dalam menahan beban lalu lintas yang meningkat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi struktur perkerasan *existing* serta merancang desain alternatif yang lebih optimal agar mampu mencapai umur rencana yang diharapkan.

Penelitian ini menggunakan metode Bina Marga 2024 dengan bantuan *software* KENPAVE–KENSLABS untuk menganalisis kinerja perkerasan kaku. Data yang digunakan meliputi data lalu lintas harian rerata, material perkerasan, dan kondisi geometrik jalan. Analisis dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan dan lendutan maksimum, memprediksi potensi kerusakan, serta memperkirakan umur layan perkerasan pada ruas STA. 100+625.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur perkerasan *existing* belum mampu memenuhi umur rencana. Desain alternatif yang diusulkan berupa perkerasan kaku lalu lintas berat dengan tebal beton K400 185 mm dengan tegangan maksimum 2592,478 kPa (*single axle*) dan 2124,753 kPa (*tandem axle*), dengan lendutan 0,599 mm dan 0,540 mm. Nilai *indeks cracking* mencapai 2,4% LMC 100 mm, dan LPA Kelas A 150 mm, yang terbukti lebih kuat, efisien secara teknis dan ekonomis, serta mampu memperpanjang umur layan hingga 48 tahun.

Kata Kunci : perkerasan kaku, tegangan, lendutan, umur layan, dan KENPAVE.

ABSTRACT

The Kudus–Pati–Rembang road segment is one of the national highways that functions as a main corridor connecting the northern coastal areas of Central Java, with a total length of approximately 17.85 km. This road carries a high traffic volume dominated by heavy vehicles such as trucks and buses, which has led to a decline in pavement structural quality over recent years. These conditions necessitate an evaluation of the existing pavement structure's ability to withstand increasing traffic loads. Therefore, this study aims to assess the condition of the existing pavement structure and to design an optimal alternative pavement structure that can achieve the desired design life.

This research employs the 2024 Bina Marga method with the aid of KENPAVE–KENSLABS software to analyze the performance of rigid pavement. The data used include average daily traffic, pavement material properties, and geometric conditions of the road. The analysis was conducted to determine maximum stress and deflection values, predict potential failures, and estimate the service life of the pavement at STA. 100+625.

The results indicate that the existing pavement structure is not capable of meeting the planned design life. The proposed alternative design consists of a heavy-traffic rigid pavement with 185 mm K400 concrete, producing maximum stresses of 2592.478 kPa (single axle) and 2124.753 kPa (tandem axle), with deflections of 0.599 mm and 0.540 mm, respectively. The cracking index reaches 2.4%, supported by a 100 mm Lean-Mix Concrete (LMC) layer and a 150 mm Class A subbase (LPA), which has been proven to be stronger, technically and economically more efficient, and capable of extending the service life up to 48 years.

Keywords: rigid pavement, stress, deflection, design life, and KENPAVE.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan adalah bagian penting dari sistem transportasi, yang berfungsi untuk mendukung aktivitas ekonomi, sosial, dan budaya (Santosa dkk 2021). Perkerasan jalan harus dapat menahan beban yang meningkat karena jumlah kendaraan dan lalu lintas. Perkerasan jalan yang menggunakan bahan pengikat terbagi menjadi tiga jenis yaitu ada perkerasan kaku, yang menggunakan semen *portland* sebagai bahan pengikat, kemudian ada perkerasan lentur yang dibuat dengan perkerasan aspal dan yang terakhir ada komposit yaitu kombinasi perkerasan lentur dan kaku. Menurut Lisyia dkk. (2023), perencanaan jalan harus dilakukan dengan baik dan benar agar jalan dapat bertahan terhadap peningkatan lalu lintas dan perubahan iklim yang cukup ekstrem selama masa pakainya. Selain itu, harus diingat untuk melakukan pemeliharaan rutin. Perkerasan kaku biasanya digunakan pada jalan dengan lalu lintas padat dan distribusi beban yang besar, seperti jalan lintas antar provinsi, jembatan layang, jalan tol, dan persimpangan bersinyal. Perkerasan ini dibuat dengan beton sebagai bahan utama perkerasan jalan. Beton biasanya digunakan untuk perkerasan jalan, tetapi untuk membuatnya lebih nyaman, permukaannya biasanya dilapisi aspal. Tanpa memperbaiki struktur tanah sebelumnya, perkerasan kaku dapat digunakan pada tanah lemah dengan CBR rendah.

Tegangan yang dihasilkan oleh pergerakan kendaraan dari kontak butiran ke butiran agregat melalui struktur granula dikenal sebagai tegangan yang terjadi pada perkerasan lentur. Kekuatan struktural dan umur layan perkerasan lentur lebih rendah daripada perkerasan kaku. Jalan Kudus–Pati–Rembang adalah jalan utama yang menghubungkan Kudus, Pati, dan Rembang, tiga kabupaten di Jawa Tengah. Ruas ini sangat padat dengan kendaraan, terutama truk dan bus. Kondisi perkerasan jalan ini mengalami kerusakan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir.

Jenis perkerasan kaku yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)*, yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulangan memanjang. Pemilihan *JPCP* didasarkan pada rekomendasi Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga, 2024) yang menetapkan bahwa jenis ini paling sesuai untuk jalan arteri dengan volume lalu lintas tinggi dan dominasi kendaraan berat. *JPCP* menggunakan *dowel bar* pada sambungan melintang untuk memindahkan beban antar panel dan *tie bar* untuk menjaga keseragaman antar pelat, sehingga mampu mengurangi retak dini dan meningkatkan umur layan perkerasan. Menurut Putri dan Mahendra (2022) penggunaan *JPCP* terbukti efisien dalam menahan beban lalu lintas berat karena distribusi tegangan lebih stabil dibandingkan perkerasan lentur. Selain itu, Pratama dan Handayani (2023) menyatakan bahwa *JPCP* lebih ekonomis dibanding *JRCP* maupun *CRCP* karena tidak memerlukan tulangan memanjang dalam pelat beton.

Jalan Kudus–Pati–Rembang merupakan Jalan Pantai Utara yang di mana termasuk dalam kategori Jalan Nasional yang memiliki panjang $\pm 17,85$ km. Jalan ini mulai diperbaiki pada tahun 2022 dan berakhir dibangun pada tahun 2024 menggunakan jenis perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Pada penelitian ini melakukan desain *existing* dengan perkerasan kaku pada STA. 100+625. Kemudian melakukan perbandingan desain *existing* dan desain perkerasan kaku berdasarkan tegangan dan regangan yang dihasilkan. Metode yang digunakan yaitu Bina Marga 2024 dengan menggunakan *software* KENPAVE. Metode ini telah diterapkan dalam jurnal penelitian pada penelitian Aji dan Susilo (2023) metode ini dapat mengidentifikasi potensi kerusakan pada desain perkerasan baru secara efektif. Penelitian tersebut mampu memprediksi kapan kerusakan itu terjadi, tetapi juga dapat memberikan pengetahuan tentang kondisi pada saat mempercepat kerusakan tersebut.

KENPAVE merupakan metode analisis yang menggunakan *software* untuk merencanakan dan mengevaluasi desain perkerasan jalan baik perkerasan kaku (*rigid pavement*) maupun perkerasan lentur (*flexible pavement*). *Software* tersebut dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky, melalui metode elemen hingga dapat mendeteksi tegangan,

regangan, defleksi, indeks retak serta masa desain perkerasan. Pada KENPAVE terdapat dua sub bab program yang digunakan yaitu, KENSLABS digunakan untuk perkerasan kaku dan KENLAYER digunakan untuk perkerasan lentur. Hasil – hasil ini yang didapat, dapat membantu perencana jalan untuk membuat desain yang sesuai dengan desain yang optimal dengan mempertimbangkan kekuatan, durabilitas, serta biaya konstruksi. Putra dan Tajudin (2021) menyatakan bahwa perangkat lunak KENPAVE memiliki kemampuan untuk menganalisis perkerasan dengan lebih efisien dan fleksibel. Qitshi dan Kushari (2018) juga menyatakan bahwa Ada asumsi bahwa tekanan pada perkerasan tidak berubah. Kajian dan analisis dengan model elemen hingga menghasilkan performa struktur yang diukur pada *slab* beton dalam bentuk tegangan dan lendutan. Untuk mengetahui bagaimana berbagai parameter berdampak pada respons perkerasan, metode elemen hingga dari program komputer KENSLABS digunakan untuk menghitung angka.

Semua perhitungan KENSLABS menggunakan satuan SI untuk menghitung parameter dan tanggapan. KENSLABS menggunakan analisis mekanis empiris untuk melihat komponen lapisan perkerasan seperti modulus elastisitas dan ketebalan. Kemudian ada pembagian beban lalu lintas dan faktor lingkungan seperti curah hujan dan suhu yang mempengaruhi kinerja perkerasan. KENSLABS menghitung tegangan, regangan, dan deformasi pada lapisan perkerasan dengan metode analitik. Prediksi umur layan perkerasan, desain ulang atau rehabilitasi jalan, dan evaluasi performa aktual adalah hasil dari KENSLABS. Salah satu keunggulan KENSLABS adalah kemampuan untuk menggabungkan pendekatan empiris dan mekanis, yang membuat hasilnya lebih akurat. Selain itu, dapat diterapkan dalam berbagai kondisi lingkungan dan jalan. Kekurangan KENSLABS adalah memerlukan pemahaman mendalam tentang mekanika material dan analisis struktural, yang kadang-kadang sulit didapatkan.

Pemodelan ketebalan lapisan perkerasan merupakan langkah yang sangat krusial dalam memastikan ketahanan struktur jalan terhadap beban lalu lintas yang terjadi selama umur rencana. Ketebalan lapisan yang dirancang harus mampu menahan beban berulang yang ditimbulkan oleh kendaraan yang melintas, serta meminimalkan kerusakan yang mungkin timbul akibat pembebanan tersebut. Aji

dan Susilo (2023) menjelaskan bahwa penggunaan *software* KENPAVE dalam menganalisis ketebalan perkerasan dapat memberikan gambaran mengenai ketahanan struktur jalan terhadap beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan yang terjadi sepanjang umur rencana yang telah ditentukan. Selain itu, Kurniawan dan Hadi (2024) menekankan pentingnya kombinasi metode empiris dan mekanistik dalam analisis ketebalan lapisan perkerasan, yang diperlukan untuk menghasilkan desain yang tidak hanya bertahan lama, tetapi juga dapat mengakomodasi beban dan kondisi lingkungan yang ada.

Perubahan kondisi lingkungan, seperti suhu yang ekstrem dan curah hujan yang tinggi, dapat memengaruhi ketahanan material perkerasan. Oleh karena itu, dalam perencanaan desain ketebalan perkerasan, perlu dipertimbangkan pula faktor *aging* dan *fatigue* material seiring berjalannya waktu. Lisy dkk. (2023) menambahkan bahwa ketebalan lapisan perkerasan yang tepat sangat bergantung pada daya dukung *subgrade* dan karakteristik material yang digunakan, yang harus dihitung secara cermat untuk memastikan umur rencana yang sesuai dengan kebutuhan lapangan.

Pada jalan dengan volume lalu lintas tinggi, seperti Jalan Pantura, Zohri dkk. (2019) menyoroti pentingnya desain perkerasan yang tidak hanya memperhitungkan umur rencana tetapi juga beban lalu lintas kumulatif. Tanpa memperhitungkan faktor-faktor ini, perkerasan dapat mengalami kerusakan struktural lebih cepat. Desain yang tepat, dengan memperhitungkan proyeksi umur rencana dan beban lalu lintas, akan memastikan perkerasan bertahan lebih lama, membutuhkan lebih sedikit pemeliharaan, dan mengurangi biaya jangka panjang.

Meskipun beberapa hasil analisis menggunakan perangkat lunak seperti KENSLAB menunjukkan umur rencana yang sangat panjang atau bahkan "unlimited", hasil tersebut perlu ditinjau kembali. Hasil "unlimited" tersebut lebih banyak bergantung pada asumsi ideal dan parameter yang terbatas, yang tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi nyata. Prediksi seperti ini sering kali mengabaikan variabel penting yang mempengaruhi kinerja perkerasan, seperti kerusakan mikro akibat pembebanan berulang, perubahan kondisi lingkungan, dan penurunan kualitas material seiring berjalannya waktu. Menurut Kurniawan dan

Hadi (2024), analisis yang hanya memperhitungkan parameter ideal, seperti beban lalu lintas yang stabil dan lingkungan yang konsisten, sering kali mengabaikan fluktuasi nyata yang terjadi di lapangan dan mempengaruhi ketahanan perkerasan dalam jangka panjang.

Seperti penelitian yang dilakukan Zohri dkk (2019) menunjukkan bahwa meskipun model analisis seperti KENSLAB dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan perkerasan dalam jangka panjang, kerusakan bertahap pada lapisan perkerasan sering kali tidak terdeteksi dalam perhitungan awal. Kerusakan ini, yang dapat dimulai dengan retakan kecil atau deformasi, dapat berkembang seiring waktu, yang pada akhirnya dapat memperpendek umur layanan yang diprediksi dalam simulasi. Oleh karena itu, meskipun perhitungan yang menunjukkan hasil "unlimited" memberikan indikasi kinerja yang optimal dalam kondisi ideal, model ini tidak dapat sepenuhnya mencerminkan faktor eksternal yang mempengaruhi ketahanan perkerasan dalam kehidupan nyata.

Menurut Lisy dkk. (2023) juga menekankan bahwa desain ketebalan perkerasan dan kondisi *subgrade* harus disesuaikan dengan faktor lingkungan yang dinamis, serta proyeksi pertumbuhan volume lalu lintas yang terus meningkat, untuk menghindari asumsi yang tidak realistis dalam desain perkerasan. Oleh karena itu, perhitungan umur rencana perkerasan yang menunjukkan hasil "unlimited" harus diperiksa kembali, dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian dan variasi kondisi lapangan yang dapat mempercepat kerusakan yang tidak terduga.

Dalam analisis perkerasan kaku, beban yang bekerja pada pelat beton diasumsikan sebagai beban statis untuk mempermudah perhitungan respon struktural. Evaluasi kinerja perkerasan kaku dilakukan dengan menganalisis tegangan dan lendutan pada pelat beton menggunakan metode elemen hingga. Program KENSLABS digunakan karena mampu mensimulasikan perilaku pelat beton terhadap variasi kondisi lapisan pondasi, modulus elastisitas material, serta distribusi beban pada sambungan. Hasil analisis elemen hingga ini menjadi dasar dalam menentukan apakah perkerasan kaku mampu menahan beban lalu lintas yang bekerja sepanjang umur layanannya.

Selain itu, konversi beban lalu lintas menjadi beban standar HVAG dilakukan untuk memperoleh besar beban rencana yang benar-benar mencerminkan kondisi operasional kendaraan niaga di lapangan. Proses konversi ini penting karena perkerasan kaku sangat sensitif terhadap beban sumbu kendaraan berat, terutama dalam menentukan besarnya tegangan tarik pada dasar pelat beton. Dengan mengetahui nilai beban standar HVAG secara akurat, ketebalan dan kekuatan pelat beton pada perkerasan kaku dapat direncanakan lebih presisi berdasarkan kebutuhan struktural aktual, sehingga desain yang dihasilkan tidak hanya memenuhi umur rencana, tetapi juga mampu mengurangi potensi retak dini dan kerusakan struktural pada perkerasan kaku.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi *existing* perkerasan jalan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang?
2. Berapa nilai tegangan maksimum dan lendutan maksimum yang dapat dicapai untuk desain alternatif perkerasan kaku yang digunakan dengan *software* KENPAVE-KENSLABS?
3. Bagaimana perbandingan hasil desain perkerasan terbaik berdasarkan perkiraan kerusakan serta umur layan?

1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah dirumuskan, tujuan penelitian dapat ditetapkan sebagai berikut.

1. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kondisi *existing* perkerasan jalan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang dengan meninjau ketebalan perkerasan, kondisi material, serta pengaruh beban lalu lintas untuk menilai kesesuaiannya dengan umur rencana.
2. Analisis struktur perkerasan kaku dilakukan untuk menghitung nilai tegangan dan lendutan maksimum yang terjadi pada desain perkerasan.

3. Membandingkan alternatif desain perkerasan berdasarkan perkiraan tingkat kerusakan dan umur layan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan dan mempunyai manfaat sebagai berikut.

1. Penelitian ini memberikan informasi mengenai kondisi *existing* perkerasan kaku pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang sebagai dasar perencanaan perbaikan dan pemeliharaan jalan, sehingga pemerintah daerah dapat menentukan langkah yang tepat untuk menjaga kualitas dan keberlanjutan infrastruktur jalan.
2. Meningkatkan pengetahuan tentang metode analisis perkerasan dengan menggunakan Bina Marga 2024.
3. Memberikan informasi tentang cara menggunakan *software* KENPAVE untuk melakukan analisis tegangan dan regangan pada perkerasan jalan.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk memastikan bahwa penelitian ini tetap dalam topik dan memberikan penjelasan yang jelas, ada kebutuhan untuk membatasi diskusinya. Batasan penelitian yang digunakan selama penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jalan Kudus–Pati–Rembang adalah subjek dan lokasi penelitian ini
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data sekunder yang dikumpulkan dari Kantor Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Jawa Tengah
3. Perhitungan desain perkerasan dilakukan dengan menggunakan Metode Bina Marga 2024
4. Analisis nilai tegangan-regangan, prediksi kerusakan, dan umur sisa layan dilakukan menggunakan metode mekanistik-empiris *software* KENPAVE
5. *Software* KENPAVE-KENSLABS digunakan untuk desain perkerasan kaku.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan Pustaka sangat penting dilakukan dari berbagai penelitian sebelumnya untuk memperoleh landasan teori yang relevan dan mendukung penelitian ini. Tinjauan pustaka ini tidak hanya memberikan pemahaman yang mendalam tentang konsep-konsep yang dibahas dalam penelitian ini, tetapi juga membantu dalam menentukan metode, pendekatan, dan temuan penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, tinjauan pustaka berfungsi sebagai dasar yang kuat untuk menjawab pertanyaan penelitian. Tinjauan pustaka juga memiliki tujuan penting lainnya ini untuk menunjukkan perbedaan antara penelitian saat ini dan penelitian sebelumnya. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi baru yang belum dibahas dalam penelitian sebelumnya dengan menemukan gap pengetahuan dan inovasi metodologis. Dengan kata lain, tinjauan pustaka ini memungkinkan peneliti untuk menunjukkan betapa unik dan pentingnya penelitian ini dan meletakkannya dalam konteks yang lebih luas di bidang keilmuan terkait.

2.2 Evaluasi Tebal Perkerasan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga

Pada dasarnya, desain perkerasan jalan adalah proses menentukan ketebalan lapisan perkerasan untuk meningkatkan daya tahan jalan dan melindungi tanah dasar dari beban lalu lintas yang bekerja di atasnya. Ketebalan lapisan ini sangat penting untuk memastikan bahwa perkerasan dapat bertahan terhadap tekanan yang terus meningkat, terutama dengan peningkatan volume lalu lintas setiap tahun. Oleh karena itu, evaluasi perkerasan jalan tidak perlu dilakukan secara berkala. Metode Bina Marga telah digunakan untuk melakukan berbagai evaluasi perkerasan. Penelitian yang dilakukan oleh Saragih dkk. (2021) menunjukkan hasil penelitian ini menyelidiki ketebalan pelat beton yang diperlukan untuk perencanaan perkerasan kaku di Ruas Jalan Tol Tebing Tinggi-Serbelawan. Hasilnya menunjukkan bahwa ketebalan pelat beton yang diperlukan untuk perencanaan

perkerasan kaku dengan metode Bina Marga 2017 adalah 26 cm, sesuai dengan perhitungan yang disarankan oleh metode tersebut. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil perhitungan antara metode Bina Marga dan metode *PCA*. Hasilnya menunjukkan bahwa metode Bina Marga lebih ekonomis dan efisien dalam perencanaan perkerasan jalan karena perhitungannya disesuaikan dengan kondisi regional Indonesia, yang membuatnya lebih relevan dan dapat diterapkan dengan lebih efektif di lapangan. Efisiensi ini terlihat dalam biaya dan kemampuan perkerasan untuk menangani beban lalu lintas yang berubah-ubah di Indonesia.

Hafizhan (2018) juga melakukan penelitian yang berfokus pada mengevaluasi ketebalan perkerasan kaku. Penelitian ini dilakukan pada tahun 2018 dengan mengumpulkan data primer seperti jenis kerusakan, panjang dan lebar jalan, dan LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat berbagai jenis kerusakan seperti retakan, lubang, tambalan, dan pelepasan permukaan di jalur Jalan Pekanbaru-Siak Km 12–14. Menurut analisis yang dilakukan dengan metode Pd T-14-2003 dan metode Bina Marga 2013, ketebalan perkerasan yang ideal untuk ruas jalan tersebut adalah 290 mm, tetapi ketebalan perkerasan yang digunakan di lapangan hanya 270 mm, menunjukkan ketidaksesuaian antara desain dan kondisi lapangan, yang mungkin merupakan salah satu penyebab utama kerusakan di jalan. Penelitian Hafizhan juga dilakukan pada tahun 2018 dan berfokus pada menilai ketebalan perkerasan kaku. Data primer seperti jenis kerusakan, panjang dan lebar jalan, dan LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) dikumpulkan pada tahun 2018 untuk penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di jalur Jalan Pekanbaru-Siak Km 12–14, terdapat retakan, lubang, tambalan, dan pelepasan permukaan dari berbagai jenis kerusakan. Menurut analisis yang dilakukan dengan metode Pd T-14-2003 dan metode Bina Marga 2013, ketebalan perkerasan yang ideal untuk ruas jalan tersebut adalah 290 mm, tetapi ketebalan perkerasan yang digunakan di lapangan hanya 270 mm. Ketidaksesuaian antara desain dan kondisi lapangan mungkin merupakan salah satu penyebab utama kerusakan di jalan.

Pada penelitian ini, Hafizhan (2018) dan berfokus pada menilai ketebalan perkerasan kaku. Tujuan ini, data primer seperti jenis kerusakan, panjang dan lebar jalan, dan LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) dikumpulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat retakan, lubang, tambalan, dan pelepasan permukaan dari berbagai jenis kerusakan di Jalan Pekanbaru-Siak Km 12–14. Ketebalan perkerasan yang ideal untuk ruas jalan tersebut adalah 290 mm, menurut analisis yang dilakukan dengan metode Pd T-14-2003 dan metode Bina Marga 2013. Namun, ketebalan perkerasan yang digunakan di lapangan hanya 270 mm. Ketidaksesuaian antara desain dan keadaan lapangan mungkin merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan kerusakan dini jalan.

Zohri dkk (2019) menganalisis data untuk mendesain Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo termasuk volume lalu lintas harian rata-rata (VLHR), daya dukung tanah, dan karakteristik material. Karakteristik-karakteristik ini menentukan tebal perkerasan yang diperlukan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tebal perkerasan kaku pada segmen 3 Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo adalah 36 cm menurut metode Bina Marga, dengan dowel berdiameter 1,77 inci, panjang 18 inci, dan jarak 12 inci, sementara menurut metode AASHTO 1993, tebal perkerasan kaku adalah 37 cm, dengan dowel berdiameter 1,82 inci, panjang 18 inci, dan jarak 12 inci. Volume lalu lintas yang sangat besar adalah faktor yang paling penting dalam menentukan tebal perkerasan kaku.

Fiqri (2024) melakukan penelitian perbandingan desain tebal lapis tambah dengan metode Bina Marga 2024 dan AASHTO 1993 menggunakan data lendutan *Falling Weight Deflectometer* di Ruas Jalan Peureulak – Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7 + 750 – 16 + 500. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nilai LHR sebesar 2.244 kend./hari digunakan dengan metode Bina Marga 2024. Ini menghasilkan nilai CESA4 sebesar $9,084602 \times 10^6$ yang menghasilkan *overlay* sebesar 5 cm dan nilai CESA5 sebesar $12,432766 \times 10^6$ yang menghasilkan *overlay* dengan lapis tipis sebesar 4 cm dan lapis tebal sebesar 12,5 cm. Dengan data IRI, tebal minimum *overlay* adalah 4,5 cm, dan metode AASHTO yang digunakan adalah 5 cm.

2.3 Evaluasi Struktur Perkerasan dengan *Software* KENPAVE

Menurut Dede Kurniawan dan Muhamad Abdul Hadi (2024), software KENPAVE digunakan sebagai alat analisis mekanistik-empiris untuk mengevaluasi struktur perkerasan jalan. Program ini bekerja dengan memodelkan setiap lapisan perkerasan secara elastis untuk mengetahui respons struktural akibat beban lalu lintas, seperti tegangan, regangan, dan lendutan pada lapisan beton maupun lapisan pondasi. *Output* dari KENPAVE berupa nilai tegangan tarik, tegangan tekan, lendutan maksimum, serta repetisi beban yang diizinkan, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi potensi kerusakan seperti *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Hasil analisis tersebut memungkinkan peneliti menilai apakah struktur perkerasan telah memenuhi umur rencana atau perlu dilakukan redesain guna meningkatkan kinerjanya. Dengan demikian, KENPAVE merupakan perangkat analisis yang sangat penting dalam memastikan desain perkerasan yang kuat, efisien, dan sesuai standar perencanaan yang berlaku.

Aji dan Susilo (2023) menjelaskan bahwa analisis struktur perkerasan menggunakan *software* KENPAVE merupakan pendekatan mekanistik-empiris yang sangat penting untuk memahami respons setiap lapisan perkerasan terhadap beban lalu lintas secara nyata. KENPAVE menghitung distribusi tegangan, regangan, dan lendutan pada masing-masing lapisan perkerasan melalui pemodelan elastik maupun viskoelastik. Dengan pemodelan ini, peneliti dapat mengetahui bagaimana beban roda kendaraan ditransfer dari lapisan permukaan hingga tanah dasar serta mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi mengalami kerusakan. Kemudian, nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan KENPAVE menjadi dasar untuk memprediksi kerusakan seperti *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*, berdasarkan parameter teknis seperti *vertical strain*, *horizontal strain*, *modulus elastisitas*, dan nilai *poisson's ratio* pada setiap lapisan. Perhitungan tersebut tidak hanya membantu mengevaluasi kondisi perkerasan *existing*, tetapi juga memungkinkan pemodelan umur layan perkerasan untuk berbagai alternatif desain. Hasil pemodelan KENPAVE dapat digunakan untuk menentukan apakah struktur perkerasan masih layak dipertahankan, memerlukan perkuatan, atau perlu didesain ulang sesuai pedoman Bina Marga. Dalam penelitiannya, KENPAVE

terbukti mampu menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kinerja perkerasan eksisting dan desain baru, termasuk memberikan informasi terperinci terkait susunan lapisan, ketebalan yang ideal, hingga kebutuhan *overlay*. Dengan demikian, KENPAVE menjadi alat analisis yang komprehensif dan andal dalam memastikan desain perkerasan yang kuat, efisien, dan memenuhi umur rencana.

Studi yang dilakukan oleh Qisthi dan Kushari (2018) menggunakan *software* KENPAVE, terutama KENSLABS, yang dimaksudkan untuk melakukan analisis perkerasan kaku. Penelitian ini berkonsentrasi pada masalah kerusakan yang terjadi pada lapisan perkerasan kaku. Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang ulang ketebalan lapisan perkerasan dan memprediksi bagaimana pengurangan ketebalan dan kualitas beton akan berdampak pada kerusakan yang terjadi. Mereka menganalisis bagaimana perubahan parameter tersebut berdampak pada kinerja perkerasan kaku dengan KENSLABS. Pendekatan ini memberikan pengetahuan penting tentang cara meningkatkan ketahanan struktur perkerasan terhadap beban lalu lintas. Ilpandari (2018) juga melakukan penelitian serupa yang mengkaji evaluasi dan pemodelan struktur perkerasan kaku dengan menggunakan *software* KENPAVE-KENSLABS. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil evaluasi dari pemodelan dua jenis perkerasan kaku, yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (BBTJ/JPCP) dan perkerasan beton bersambung dengan tulangan (BBDT/JRCP), pada jalan sepanjang 1000 meter.

Penelitian ini menggunakan KENSLABS untuk memberikan gambaran lebih lanjut tentang bagaimana masing-masing jenis perkerasan bertindak terhadap beban lalu lintas dan bagaimana desain strukturalnya dapat dioptimalkan untuk mengurangi risiko kerusakan di masa mendatang. Studi kedua menunjukkan bahwa penggunaan *software* analisis seperti KENPAVE sangat penting untuk mendukung keputusan desain ulang dan perbaikan struktur perkerasan jalan, terutama untuk meminimalkan efek kerusakan dan meningkatkan masa layanan perkerasan kaku.

2.4 Analisis Perbandingan Umur Rencana

Pemilihan perkerasan kaku adalah salah satu dari pertimbangan faktor analisis baik dari sisi umur rencana, biaya, dan sebagainya. Tujuan dari analisis

perbandingan umur rencana pada perkerasan kaku adalah untuk mengevaluasi dan membandingkan umur layan dari berbagai desain perkerasan kaku yang digunakan di infrastruktur jalan. Perkerasan kaku, yang biasanya terbuat dari beton, dipilih karena sifatnya yang tahan lama dan kemampuan untuk menahan beban kendaraan yang berat. Pengumpulan data tentang volume lalu lintas harian, sifat tanah dasar, dan parameter lain yang memengaruhi kinerja perkerasan adalah beberapa langkah dalam penelitian ini. Selanjutnya, data tersebut digunakan untuk memodelkan dan menyimulasikan berbagai skenario umur rencana perkerasan. Dalam analisis ini, metode desain Bina Marga 2024 digunakan. Untuk menentukan umur rencana dan ketebalan perkerasan, kedua metode ini berbeda.

Faktor-faktor seperti beban lalu lintas, kondisi lingkungan, dan jenis material yang digunakan digunakan untuk melakukan perbandingan. Hasil analisis ini memberikan wawasan yang sangat penting tentang seberapa efektif setiap metode dalam memperpanjang umur layan perkerasan. Misalnya, dalam hal ketahanan terhadap retak dan deformasi metode Bina Marga. Selain itu, penelitian ini dapat menemukan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing pendekatan, serta menawarkan saran untuk meningkatkan umur layan perkerasan.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan Bina Marga

Peneliti	Saragih dkk (2021)	Hafizhan (2018)	Zohri dkk (2019)	Herlian dkk (2022)	Sihombing dan Susilo (2022)	Fiqri (2024)	Fasha (2024)
Judul Penelitian	Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku (<i>Rigid pavement</i>) Pada Jalan Tol Tebing Tinggi Serbelawan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 dan <i>PCA</i>	Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Pekanbaru Siak Km 12-14 Di Riau dengan Metode Bina Marga 2013	Analisis Tebal Perkerasan Kaku Pada Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo Berdasarkan Metode Bina Marga (Manual Desain Perkerasan 2017) dan <i>AASHTO (1993)</i>	Analisis Perencanaan Perkerasan Kaku Jalan Khatulistiwa Kota Pontianak Dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan Metode <i>AASHTO 1993</i>	Analisis Tebal Lapis Perkerasan Kaku Pada Jalan Tol Serang – Panimbang, Banten	Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah dengan Metode Bina Marga 2024 dan <i>AASHTO 1993</i> Menggunakan Data Lendutan	Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Kaku di Ruas Jalan Kudus – Pati – Rembang Berdasarkan Metode Bina Marga 2024 STA. 100+625
Tujuan Penelitian	Menghitung dan membandingkan tebal perkerasan kaku menggunakan Metode Bina Marga dan <i>PCA</i> dengan umur rencana 20 tahun sampai 40 tahun.	Melakukan evaluasi tebal perkerasan yang sesuai Pd T-14-2003 dan Bina Marga 2013, serta mengetahui penyimpangan tebal perkerasan	Menganalisis data volume lalu lintas harian rata-rata (VLHR), daya dukung tanah, dan karakteristik material yang digunakan menentukan tebal perkerasan untuk Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo.	Menghitung tebal perkerasan kaku yang diperlukan dan tulangan sambungan, dan membandingkan hasil desain dan parameter <i>input</i> dengan metode Bina Marga 2017 dan <i>AASHTO 1993</i> .	Menentukan tebal perkerasan yang efisien untuk membandingkan dan memilih dengan menggunakan Metode Analisis Komponen Bina Marga 2003 dan Metode AASHTO 1993	Mengetahui kondisi struktural perkerasan, hasil tebal lapis tambah guna meningkatkan nilai struktural, menganalisis perbedaan parameter dan desain <i>overlay</i> dengan metode Bina Marga 2024 dan <i>AASHTO 1993</i>	Mendapatkan desain perkerasan kaku, menghitung nilai regangan dan tegangan.
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Tol Tebing Tinggi-Serbelawan.	Ruas Jalan Pekanbaru Siak Km 12-14	Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo	Ruas Jalan Khatulistiwa	Jalan Tol Serang - Panimbang	Ruas Jalan Peureulak - Bts Kota Langsa Aceh Timur KM 7+750 - 16+500	Ruas Jalan Kudus – Pati – Rembang

Sumber : Saragih dkk (2021), Hafizhan (2018), Zohri dkk (2019), Herlian dkk (2022), Siho mbing dan Susilo (2022), Fiqri (2024), Fasha (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan Bina Marga

Peneliti	Saragih dkk (2021)	Hafizhan (2018)	Zohri dkk (2019)	Herlian dkk (2022)	Sihombing dan Susilo (2022)	Fiqri (2024)	Fasha (2024)
Metode Analisis	Metode Bina Marga 2017 dan PCA	Metode Bina Marga 2013 dan Metode PDT 14-2003	Metode Bina Marga 2013 dan <i>AASHTO</i>	Metode Bina Marga 2017 dan Metode <i>AASHTO 1993</i>	Metode Bina Marga 2003 dan Metode <i>AASHTO 1993</i>	Metode Bina Marga 2024 dan <i>AASHTO 1993</i>	Metode Bina Marga 2024 dengan <i>Software KENPAVE</i>
Hasil Penelitian	Berdasarkan analisis didapatkan perkerasan dengan Bina Marga tebal perkerasan kaku memperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan <i>fatigue</i> dan atau erosi ≤ 100 %. Dalam metode PCA, menentukan LHR kendaraan hanya menghitung beban sumbu truk saja.	Tebal perkerasan adalah 290 mm, digunakan di lapangan adalah 270 mm. Dapat disimpulkan bahwa tebal perkerasan <i>existing</i> yang digunakan tidak tepat dan menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan lebih dini.	Hasil perhitungan dan pemeriksaan perkerasan kaku di bagian 3 Jalan Tol Pasuruan- Probolinggo menunjukkan tebal pelat beton dengan metode Bina Marga adalah 36 cm, dorongan berdiameter 1,77 inci, panjang 18 inci, dan jarak 12 inci; metode <i>AASHTO 1993</i> , tebal pelat beton adalah 37 cm, dorongan berdiameter 1,82 in, panjang 18 in, dan jarak 12 in. Volume lalu lintas harian rata-rata dan peningkatan per tahun adalah faktor yang mempengaruhi tebal perkerasan kaku.	Hasil perhitungan untuk Jalan Khatulistiwa Pontianak menggunakan metode Bina Marga 2017 dan umur rencana 40 tahun menemukan tebal pelat 30,5 cm dengan perencanaan sambungan melintang menggunakan dowel. Perancangan menggunakan metode <i>AASHTO 1993</i> , tebal pelat 36 cm. Pada beban lalu lintas, metode perancangan dan parameter input kedua metode berbeda.	Berdasarkan Analisis perkerasan kaku menunjukkan tebal pelat beton 24 cm dengan Metode Bina Marga 2003 dan 32 cm dengan Metode <i>AASHTO 1993</i> , dengan lapis fondasi bawah 10 cm pada kedua metode.	Nilai LHR sebesar 2.244 kend/hari digunakan dengan metode Bina Marga 2024. Ini menghasilkan nilai <i>CES44</i> sebesar 9,084602 x 106 yang menghasilkan <i>overlay</i> sebesar 5 cm dan nilai <i>CES45</i> sebesar 12,432766 x 106 yang menghasilkan <i>overlay</i> dengan lapis tipis sebesar 4 cm dan lapis tebal sebesar 12,5 cm. Dengan data IRI, tebal minimum <i>overlay</i> adalah 4,5 cm, dan metode <i>AASHTO</i> yang digunakan adalah 5 cm.	Mendapatkan hasil perkerasan yang optimal dan efektif menggunakan desain perkerasan kaku untuk umur rencana 40 tahun berdasarkan KENPAVE.

Sumber : Saragih dkk (2021), Hafizhan (2018), Zohri dkk (2019), Herlian dkk (2022), Sihombing dan Susilo (2022), Fiqri (2024), Fasha (2024)

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Perkerasan Berdasarkan KENPAVE

Peneliti	Kurniawan dan Hadi (2024)	Aji dan Susilo (2023)	Qisthi dan Kushari (2018)	Ilpandari (2018)	Fasha (2024)
Judul Penelitian	Kolaborasi Metode Empiris dan Mekanistik–Empiris Guna Identifikasi dan Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan	Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program <i>Software</i> KENPAVE	Pengaruh Variasi Tebal dan Mutu Beton Terhadap Respons Struktural Perkerasan Kaku	Analisis Desain Struktur <i>Rigid Pavement</i> dengan Metode Empiris, Evaluasi dan Pemodelan dengan <i>Software</i> KENPAVE-KENSLABS	Evaluasi Desain Struktur Perkerasan Kaku di Ruas Jalan Kudus – Pati – Rembang Berdasarkan Metode Bina Marga 2024 STA. 100+625
Tujuan Penelitian	Dengan bekerja sama, kedua pendekatan ini digunakan untuk menentukan tingkat kerusakan yang telah terjadi pada kondisi jalan saat ini serta opsi untuk menangani kerusakan.	Mengetahui perkerasan menggunakan kerusakan jalan program <i>software</i> KENPAVE serta mengetahui solusi alternatif yang digunakan untuk kerusakan tersebut.	Mendesain ulang pelat beton dan memprediksi dampak reduksi tebal maupun mutu beton terhadap kerusakan yang terjadi pada perkerasan kaku	Mengetahui hasil analisis dan pemodelan struktur <i>rigid pavement</i> menggunakan <i>software</i> KENPAVE	Mendapatkan desain perkerasan kaku, menghitung nilai regangan dan tegangan
Lokasi Penelitian	Ruas Jalan Yogyakarta - Pulowatu	Ruas Jalan Dekso-Tempel	Ruas Jalan Arteri Utara atau <i>Ring Road</i> Utara, Yogyakarta	Ruas Jalan Tol Semarang - Solo Seksi III Bawen - Salatiga	Ruas Jalan Kudus – Pati – Rembang
Metode Analisis	Metode <i>PCI</i> dan <i>SDI</i> dengan <i>software</i> KENPAVE	Metode Bina Marga 2017 dengan <i>software</i> KENPAVE	Metode Departemen Kimpraswil Pd T-14-2003 dengan KENPAVE	Metode Departemen Kimpraswil Pd T-14-2003 dan Metode <i>AASHTO</i> 1993 dengan <i>software</i> KENPAVE	Metode Bina Marga 2024 dengan <i>Software</i> KENPAVE
Hasil Penelitian	Hasil analisis dari metode empiris menunjukkan nilai <i>PCI</i> merupakan nilai yang sangat buruk, penanganannya perbaikan <i>asphalt cement overlay</i> dan nilai <i>SDI</i> yang sangat rusak, penanganannya yaitu rehabilitasi jalan.	Mendapatkan hasil perkerasan existing mampu menahan kerusakan fatigue cracking selama umur rencana tetapi untuk kerusakan <i>permanent deformation</i> dan <i>rutting</i> perkerasan sudah mengalami kerusakan sebelum umur rencana	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.	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> meningkat.	Mendapatkan hasil perkerasan yang optimal dan efektif menggunakan desain perkerasan kaku untuk umur rencana 40 tahun berdasarkan KENPAVE.

Sumber : Kurniawan dan Hadi (2024), Aji dan Susilo (2023), Qitshi dan Kushari (2018), Fasha (2024)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Kaku

Berdasarkan pedoman Bina Marga 2024, analisis perkerasan kaku memerlukan data primer dan sekunder sebagai dasar perancangan. Menurut Sidabutar dkk (2021), perkerasan kaku atau *rigid pavement* lebih banyak digunakan di Indonesia dibandingkan perkerasan lentur karena memiliki struktur yang lebih kaku, kuat, dan mampu menahan beban berat dalam jangka waktu lebih lama. Struktur perkerasan kaku umumnya terdiri atas pelat beton semen (*slab*), lapis pondasi beton kurus atau *lean-mix concrete* (LMC), serta lapis pondasi bawah seperti agregat kelas A, yang bekerja secara monolit untuk mendistribusikan beban secara merata ke tanah dasar. Jenis perkerasan ini cukup kuat dan tahan lama di tanah. Khususnya untuk jalan nasional dan jalan tol, perkerasan kaku sekarang banyak digunakan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa jalan – jalan tersebut sering dilewati oleh kendaraan berat. Kerusakan jalan juga disebabkan oleh beban kendaraan yang meningkat dan beban kendaraan yang berulang. Oleh karena itu, perencanaan jalan harus dilakukan dengan benar agar jalan menjadi kuat, dan tahan terhadap peningkatan lalu lintas dan perubahan iklim. Untuk melakukannya, perkerasan jalan juga harus selalu dipelihara secara rutin dan berkala.

3.1.1 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapis paling atas dari struktur perkerasan jalan yang berfungsi sebagai penahan beban vertikal kendaraan di atasnya dan menyebarkan beban ke lapis fondasi di bawahnya. Karena berada di lapis paling atas, lapis permukaan (*binder course*) juga berfungsi sebagai lapis aus (*wearing course*) dan menerima gesekan dan getaran langsung dari roda kendaraan. Lapis perkerasan dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Lapis permukaan antara (*binder course*) adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis aus (*Surface Course*) dan lapis fondasi bawah (*base*

course) yang berfungsi untuk memikul beban dan mendistribusikan beban lalu lintas di bawahnya.

2. Lapis aus perkerasan (*wearing course*) merupakan lapisan teratas dari struktur perkerasan yang tersusun atas campuran beraspal dan ditempatkan di atas lapisan pondasi yang sudah stabil. Lapisan ini berfungsi menyediakan permukaan jalan yang halus, memiliki ketahanan tinggi terhadap keausan, serta mampu memberikan kenyamanan dan keamanan bagi kendaraan yang melintas.

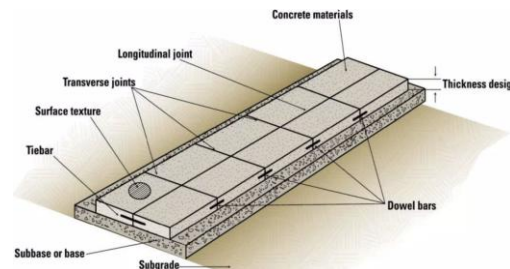
3.1.2 Lapis Fondasi Bawah (*Subbase course*)

Lapis fondasi bawah (*subbase course*) adalah lapis perkerasan yang berada di antara lapis fondasi (*base course*) dan lapis tanah dasar (*subgrade*). Fungsi lapis fondasi bawah adalah untuk memberikan daya dukung kepada struktur perkerasan jalan dan menyebarkan beban kendaraan ke lapis tanah dasar (*subgrade*). Selain itu, lapis fondasi bawah berfungsi sebagai lapis penyerap dan filter, sehingga air tanah tidak terkumpul di fondasi dan mencegah partikel-partikel dari air tanah. Selain itu, dengan adanya lapis fondasi bawah, efisiensi biaya dapat ditingkatkan dengan mengurangi ketebalan lapis perkerasan di atasnya. Ini karena material yang digunakan untuk lapis fondasi bawah biasanya relatif lebih murah daripada yang digunakan untuk lapis perkerasan di atasnya.

3.1.3 Lapis Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapis tanah dasar (*subgrade*) adalah lapisan perkerasan di bawah fondasi dan atau lapis fondasi bawah. Lapis tanah dasar (*subgrade*) adalah lapisan paling bawah dari struktur perkerasan jalan, yang setebal 50-100 cm. Struktur perkerasan jalan menggunakan lapisan tanah dasar sebagai daya dukung utama. Kualitas lapis tanah dasar bergantung pada elevasi muka tanah tempat struktur perkerasan jalan diletakkan, yang menentukan kekuatan dan ketahanan struktur dalam menahan beban lalu lintas selama masa pelayanan jalan. Beberapa jenis lapis tanah tersebut adalah dasar tanah asli, dasar tanah urug atau timbunan, dan dasar tanah galian. Dari ketiga jenis tanah dasar ini, tingkat kepadatan tanah harus diperhatikan karena akan memengaruhi daya dukung tanah. Gambar Lapis Permukaan (*surface course*),

Lapis Fondasi Bawah (*subbase course*), dan Lapis Tanah Dasar (*subgrade*) dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut ini.



Gambar 3.1 Ilustrasi Lapisan

Sumber : Muhammad Agus Sahbana, 2021

3.2 Desain Tabel Perkerasan Berdasarkan Metode Bina Marga 2024

Perencanaan tebal perkerasan merupakan proses yang memerlukan data yang akurat dan saling berkaitan untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas selama umur pelayanan jalan. Menurut Zohri dkk. (2019), data utama yang harus dipenuhi dalam perancangan tebal perkerasan meliputi volume lalu lintas harian rata-rata (VLHR), pertumbuhan lalu lintas tahunan, klasifikasi dan fungsi jalan, usia rencana pemakaian, serta data CBR tanah dasar yang menggambarkan daya dukung tanah di lokasi perencanaan. Data-data tersebut harus tersedia di awal karena menentukan besaran beban lalu lintas kumulatif yang akan diterima perkerasan selama masa rencana, serta menentukan kebutuhan ketebalan struktur perkerasan agar mampu mendistribusikan beban secara aman dan efisien. Langkah pertama dalam perencanaan tebal perkerasan adalah menetapkan umur rencana, yaitu jumlah tahun sejak jalan mulai difungsikan hingga diperkirakan perlu dilakukan perbaikan atau penggantian lapis perkerasan. Penetapan umur rencana sangat penting karena seluruh proses perhitungan—termasuk penentuan beban ekuivalen sumbu standar (ESA) dan ketebalan pelat beton atau lapis perkerasan lainnya—berbasis pada jumlah lalu lintas yang akan melewati jalan selama periode tersebut. Umur rencana juga menentukan besarnya pertumbuhan lalu lintas kumulatif yang harus diperhitungkan dalam desain, sehingga semakin panjang umur rencana, semakin besar tebal perkerasan yang dibutuhkan. Karakteristik lalu lintas seperti jumlah kendaraan niaga, kelas sumbu,

serta *Vehicle Damage Factor* (VDF) merupakan faktor yang sangat memengaruhi ketebalan akhir perkerasan. Data CBR tanah dasar juga berperan penting dalam menentukan kualitas lapisan pendukung, karena nilai CBR yang rendah menuntut adanya lapisan tambahan seperti *lean-mix concrete* (LMC) atau lapis pondasi bawah agar struktur perkerasan bekerja secara optimal. Dengan demikian, pemahaman menyeluruh terhadap kondisi lalu lintas dan tanah dasar menjadi fondasi utama dalam menghasilkan desain perkerasan yang sesuai standar Bina Marga, aman, dan ekonomis untuk digunakan dalam jangka panjang. Menentukan umur rencana mengenai rencana perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

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

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

Data yang diperlukan pada perencanaan tebal perkerasan kaku sebagai berikut.

1. Jenis kendaraan, volume lalu lintas, dan lalu lintas harian rata-rata adalah bagian dari data lalu lintas jalan yang digunakan dalam penelitian ini. Lalu lintas harian rata-rata yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan satuan smp/jam, tetapi data yang didapat masih menggunakan satuan kend/jam. Untuk mengubah data ini, diperlukan mengali dengan ekuivalen mobil penumpang (emp) yang sudah diatur dalam PKJI 2023, dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang

Tipe alinemen	Q _{total} (kend/jam)	EMP _{KS}	EMP _{BB}	EMP _{TB}	EMP _{SM}		
					Lebar jalur lalu lintas (m)		
					<6 m	6-8 m	>8m
Datar	0-799	1,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,4
	800-1349	1,8	1,8	2,7	1,2	0,9	0,6
	1350-1899	1,5	1,6	2,5	0,9	0,7	0,5
	≥1900	1,3	1,5	2,5	0,6	0,5	0,4
Bukit	0-649	1,8	1,6	5,2	0,7	0,5	0,3
	650-1099	2,4	2,5	5,0	1,0	0,8	0,5
	1100-1599	2,0	2,0	4,0	0,8	0,6	0,4
	≥1600	1,7	1,7	3,2	0,5	0,4	0,3
Gunung	0-449	3,5	2,5	6,0	0,6	0,4	0,2
	450-899	3,0	3,2	5,5	0,9	0,7	0,4
	900-1349	2,5	2,5	5,0	0,7	0,5	0,3
	≥1350	1,9	2,2	4,0	0,5	0,4	0,3

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2023)

2. Faktor pertumbuhan lalu lintas diperoleh dari data peningkatan volume kendaraan pada beberapa periode sebelumnya atau dari perhitungan yang berkaitan dengan laju pertumbuhan yang berlaku. Jika data tersebut tidak tersedia, maka digunakan Tabel 3.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum untuk Desain sebagai acuan nilai minimum dalam perencanaan.

Tabel 3.3 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minium 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 : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

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 dapat dihitung dengan menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*HVAG*) untuk perkerasan kaku, faktor distribusi arah (*DD*), dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (*DL*). Jalan dua arah biasanya memiliki faktor distribusi arah 0,50 menggunakan faktor distribusi lajur untuk menyinkronkan beban kumulatif (*HVAG*). Tabel 3.4 Faktor Distribusi Lajur (*DL*) berikut menunjukkan faktor distribusi.

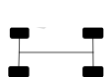
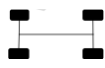
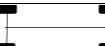
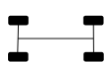
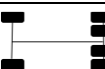
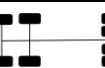
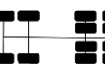
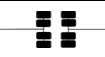
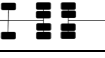
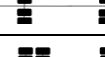
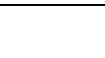
Tabel 3.4 Faktor Distribusi Lajur (*DL*)

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

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

Untuk mengonversi beban lalu lintas menjadi beban standar *HVAG* pada perkerasan kaku, perencanaan beban lalu lintas dilakukan berdasarkan distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga yang dinyatakan sebagai Jumlah Total Sumbu Kendaraan Niaga (*JSKN*). Proporsi jenis sumbu dan besaran beban untuk setiap kelompok sumbu diperoleh dari hasil survei lalu lintas yang memuat distribusi beban *JSKN* sesuai dengan kondisi di masing-masing provinsi. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan desain perkerasan kaku guna menentukan ketebalan dan kekuatan struktur yang sesuai dengan beban aktual di lapangan. Nilai-nilai distribusi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5, yang menyajikan pembagian proporsi beban dan jenis sumbu kendaraan niaga untuk keperluan perencanaan teknis perkerasan jalan. Dengan adanya data tersebut, proses desain dapat dilakukan secara lebih presisi sehingga struktur perkerasan mampu menahan variasi beban lalu lintas yang terjadi di lapangan.

Tabel 3.5 Klasifikasi dan konfigurasi sumbu kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok Sumbu	Skema Konfigurasi	
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3				
2	Kendaraan ringan – sedan, <i>jeep</i> , dan <i>station wagon</i>	1.1	2		
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	1.1	2		
4	Kendaraan ringan – <i>pick up</i> , <i>micro truck</i>	1.1	2		
5A	Bus kecil	1.1	2		
5B	Bus besar	1.2	2		
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	1.1	2		
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	1.2	2		
7A1	Truk 3 sumbu-berat	11.2	2		
7A2	Truk 3 sumbu-berat	1.22	2		
7A3	Truk 4 sumbu-berat	11.22	2		
7B1	Truk 4 sumbu-berat	1.2+2.2	4		
7B2	Truk 5 sumbu-berat	11.2+2.2	4		
7B3	Truk 5 sumbu-berat	1.22+2.2	4		
7C1	Truk 4 sumbu-berat	1.2-22	3		
7C2A	Truk 5 sumbu-berat	1.22-22	3		
7C2B	Truk 5 sumbu-berat	1.2-222	3		
7C3	Truk 6 sumbu-berat	1.22-222	3		
7C4	Truk 7 sumbu-berat	1.22-2222	3		
8	Kendaraan tak bermotor				

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

4. Semua beban sumbu lalu lintas desain pada lajur yang ingin dilaksanakan pekerjaan selama umur rencana dianggap sebagai beban sumbu standar, yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2 berikut :

VDF yang digunakan sesuai dengan masing – masing kendaraan niaga

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

dengan :

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

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

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 ($HVAG$), untuk satuan beban lalu lintas pada perkerasan beton. Jumlah kelompok sumbu kendaraan Untuk menghitung kendaraan berat ($HVAG$), Persamaan 3.3 berikut dapat digunakan :

$$HVAG = (\sum LHR \times JSKN) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.3)$$

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.

3.2.1 Desain fondasi perkerasan

Desain fondasi perkerasan merupakan salah satu komponen penting dalam perencanaan struktur perkerasan jalan karena berfungsi untuk menyebarkan beban lalu lintas dari lapisan perkerasan ke tanah dasar secara merata. Fondasi yang dirancang dengan baik akan memastikan daya dukung tanah cukup untuk menahan beban tanpa menyebabkan penurunan berlebih atau kerusakan struktural pada

perkerasan. Dalam perkerasan kaku, kekakuan pelat beton berperan besar dalam mendistribusikan beban, namun kualitas dan kekuatan tanah dasar tetap menjadi faktor penentu utama dalam kinerja jangka panjang perkerasan. Oleh karena itu, penentuan nilai daya dukung tanah dasar, yang umumnya dinyatakan dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR), menjadi langkah awal yang penting dalam desain.

Pada kondisi tanah dasar biasa, desain fondasi perkerasan kaku harus mengikuti ketentuan dalam Pedoman Perencanaan Pd T-14-2003. Dalam pedoman tersebut, nilai CBR ekuivalen dari tanah dasar normal perlu dihitung agar dapat digunakan dalam perencanaan tebal lapisan fondasi yang sesuai. Dengan nilai CBR sebesar 4% pada lokasi penelitian, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter desain yang diperlukan untuk perkerasan kaku, seperti modulus reaksi tanah dasar (*k-value*), tebal lapisan fondasi bawah (*subbase*), serta tebal pelat beton, agar perkerasan dapat menahan beban lalu lintas sesuai umur rencana jalan.

Titik tinjau yang berada di ujung ruas jalan juga menjadi perhatian utama dalam desain fondasi ini, karena di ujung jalan sering terjadi konsentrasi beban yang lebih tinggi akibat akumulasi kendaraan. Oleh karena itu, titik-titik ini memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan fondasi untuk menghindari kerusakan dini pada struktur perkerasan, terutama di daerah yang rawan mengalami penurunan atau retakan. Perhitungan nilai CBR tanah dasar dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4 berikut, yang memperhitungkan karakteristik mekanis tanah hasil pengujian di lapangan atau laboratorium.

$$\text{CBR ekuivalen} = \left(\frac{\sum h_i \text{ CBR}^{0,33}}{\sum h} \right) \quad (3.4)$$

dengan :

h_i : tebal lapis i ,

$\sum h_i$: 1 meter

Jika fondasi perkerasan terdiri dari lebih dari satu lapis, atau jika tanah dasar asli terdiri dari lebih dari satu lapis, lapis teratas memiliki kekuatan tertinggi. Apabila kekuatan tanah dasar meningkat, maka formula sebelumnya tidak berlaku.

Nilai *CBR* efektif tanah dasar seharusnya tidak ada karena nilai *CBR* lapis teratas tanah dasar adalah nilai *CBR* karakteristik kurang dari 6.

3.2.2 Desain Perkerasan

Perhitungan yang digunakan untuk menentukan desain struktur perkerasan disesuaikan dengan nilai *HVAG* umur rencana perkerasan kaku, kemudian desain dapat ditentukan dengan menggunakan tabel pemilihan jenis perkerasan dan bagan desain Bina Marga 2024. Pemilihan jenis perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA5 (juta) dalam 20 tahun				
		0 - 1	1 - 4	4 - 10	>10 - 30	>30
AC modifikasi	3, 3A, 3B	-	-	-	-	2
AC dengan CTB					2	-
AC Modifikasi dengan CTB					-	2
AC dengan lapis fondasi agregat	3, 3A, 3B	-	1,2	1,2	2	-
HRS tipis di atas lapis fondasi agregat	4	2	2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan lapis fondasi agregat	5	3	3	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi <i>Soil Cement</i>	6	2	2	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi agregat dan perbaikan tanah dasar (dengan stabilisasi semen)	7	2	2	-	-	-
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	8	-	-	-	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah	8A	-	-	1,2	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat dan jalan kerikil)	9	1	-	-	-	-

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

Setelah jenis perkerasan yang akan digunakan ditentukan, kemudian merancang struktur perkerasan kaku. Struktur perkerasan kaku tersebut memuat lapisan perkerasan sebagai acuan perencanaan ketebalan dan kekuatan struktur. Rancangan ini juga berfungsi untuk memastikan bahwa setiap lapisan mampu bekerja secara optimal dalam menahan beban lalu lintas selama umur rencana, yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah

		Kriteria Jalan	
		Jalan lokal	Jalan kolektor
LHRN		<50	50-500
Beban MST ¹⁾		Maks. 5 Ton	Maks.8 Ton
Tebal beton		150 mm	200 mm
Kuat lentur minimum Sc		3,5 MPa	3,8 MPa
Tebal beton kurus ²⁾		100 mm	100 mm
Tebal lapis fondasi agregat	Tanah Dasar :		
	• $4\% \leq \text{CBR} < 6\%$	250 mm	250 mm
	• $\text{CBR} > 6\%$	150 mm	150 mm
Jarak sambungan melintang		4,0 m	4,0 m
Batang pengikat (<i>tie bars</i>)	Mutu Baja Min.	BjTS 30	BjTS 30
	Diameter, Ø	13 mm	16 mm
	Panjang, L	600 mm	700 mm
	Spasi, S	750 mm	750 mm
Ruji (<i>dowel</i>)	Mutu Baja Min.	Tanpa Ruji	BjTP 30
	Diameter, Ø		25 mm
	Panjang, L		450 mm
	Spasi, S		300 mm

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

3.3 Data *Properties* Material

Data *Properties* Material beberapa tahapan yang digunakan untuk menganalisis data material sebagai berikut.

3.3.1 *Properties* Material Pada Lapisan Perkerasan *Subgrade*

1. *Modulus Young of Subgrade*

Dalam proses *input* data, diperlukan parameter *modulus young of subgrade*. Untuk mempermudah analisis, korelasi antara modulus elastisitas dan parameter tanah lainnya dapat ditentukan dengan menggunakan nilai CBR, yang umum dipakai dalam pekerjaan struktur perkerasan jalan. Menurut Croney (1991), hubungan antara modulus elastisitas dan CBR dapat

dinyatakan dengan rumus $E = 6,6 \times \text{CBR (MPa)}$. Dengan demikian, berdasarkan nilai *CBR* tersebut, diperoleh estimasi nilai modulus elastisitas yang diperlukan dalam analisis.

$$E = 6,6 \times \text{CBR} \quad (3.5)$$

2. *Poisson's Ratio*

Nilai *poisson's ratio* pada pemodelan ini digunakan untuk mendukung perhitungan respon struktur perkerasan, meskipun pengaruhnya terhadap hasil analisis tidak terlalu signifikan. Berdasarkan Bina Marga 2024 mengenai *poisson's ratios for different materials*, nilai *poisson's ratio* untuk *saturated soft clays* berada pada kisaran 0,40 hingga 0,50. Dalam analisis ini, nilai *poisson's ratio* yang digunakan untuk *subgrade* adalah 0,45.

3.3.2 *Properties Material Pada Slab Beton*

Data karakteristik material pada *slab* beton meliputi mutu beton yang memengaruhi kinerja perkerasan terhadap beban lalu lintas. Pada desain ini digunakan mutu beton K400 dengan jenis *Portland Cement Concrete* (PCC). Nilai mutu tersebut menjadi dasar penentuan parameter penting seperti modulus elastisitas (E_c), kuat tekan beton (f_c'), *poisson's ratio* (μ), dan *modulus of rupture* (S_c). Dengan mutu dan parameter material yang tepat, perkerasan kaku diharapkan memiliki umur layanan panjang serta kinerja yang optimal.

1. Kuat tekan beton (f_c')

Mutu beton yang digunakan dengan kuat tekan karakteristik sebesar 400 kg/cm². Apabila mutu beton K400 tersebut dikonversikan ke dalam bentuk kuat tekan benda uji silinder, maka nilainya diperoleh dengan mengalikan angka tersebut dengan 0,83, sehingga didapatkan nilai kuat tekan (f_c') sebesar 332 kg/cm².

Konversi ini dilakukan karena nilai kuat tekan beton yang diukur pada benda uji silinder biasanya lebih rendah dibandingkan dengan pengujian pada benda uji kubus. Penggunaan nilai kuat tekan (f_c') yang telah dikonversikan memungkinkan perencanaan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dalam menganalisis kemampuan beton untuk menahan beban yang diterapkan pada

perkerasan, terutama untuk aplikasi struktur perkerasan kaku yang memerlukan ketahanan jangka panjang terhadap beban lalu lintas berat berikut..

$$F_c' = 400 \times 0,83 \quad (3.6)$$

2. Modulus elastisitas beton (E_c)

Tahapan *input* data pada *software* KENPAVE–KENSLABS memerlukan parameter modulus elastisitas beton. Nilai modulus elastisitas untuk beton dengan mutu K400 dapat diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut.

$$E_c = 57000\sqrt{F_c} \quad (3.7)$$

3. *Poisson's Ratio*

Nilai *poisson's ratio* digunakan dalam analisis pemodelan respons struktur perkerasan kaku, meskipun pengaruhnya terhadap hasil perhitungan tidak terlalu besar. Parameter ini jarang diukur secara langsung dan umumnya diasumsikan berdasarkan jenis beton yang digunakan. Menurut Huang (2004) dalam tabel *poisson's ratio for different materials*, beton normal memiliki nilai *poisson's ratio* antara 0,15 hingga 0,20. Pada analisis ini, nilai *poisson's ratio* yang digunakan untuk beton adalah 0,15.

4. *Modulus of rupture* (S_c)

Kuat tekan beton digunakan secara universal sebagai parameter untuk menilai kualitas dan ketahanan beton. Menurut Huang (2004), terdapat hubungan antara *modulus of rupture* dan kuat tekan beton, yang dapat ditentukan melalui perhitungan berikut.

$$S_c = 8\sqrt{F_c} \quad (3.8)$$

3.4 *Software* KENPAVE

Software KENPAVE dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E. (1985), Professor Emeritus of Civil Engineering di University of Kentucky. Program ini dibuat menggunakan *Visual Basic* dan bekerja dengan Windows 95 atau lebih

tinggi. Tampilan awal *software* KENPAVE selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Tampilan Awal Program KENPAVE

Ada empat program dalam KENPAVE ini: LAYERINP, KENLAYER, SLABSINP, dan KENSLABS. LAYERINP dan KENLAYER adalah program analisis fleksibel (perkerasan lentur) yang didasarkan pada teori lapis banyak, dan SLABSINP dan KENSLABS adalah program analisis *rigid pavement* (perkerasan kaku) yang didasarkan pada elemen hingga. Semua menu dalam program KENPAVE dijelaskan di sini.

3.4.1 Data Path

Data Path adalah cara untuk menyimpan data hasil analisis; biasanya, data akan tersimpan di penginstalan KENPAVE.

3.4.2 File Name

Peneliti dapat mengubah nama hasil analisis pada menu ini.

3.4.3 Help

Menu Help adalah fitur yang akan menunjukkan cara menggunakan dan parameter *input* data yang tepat.

3.4.4 LAYERINP atau SLABINP

LAYERINP dan SLABINP digunakan untuk membuat *file* data berkaitan dengan analisis struktur. Gambar berikut menunjukkan jendela LAYERINP.



Gambar 3.3 Main Menu of Layerinp

Di bagian menu terdapat tulisan “input” yang mengharuskan menu disesuaikan dengan data struktur perkerasan yang akan dianalisis; jika tertulis “default”, bagian tersebut tidak perlu diisi.

3.4.5 KENSLABS

Setelah *file* data dibuat, KENSLABS berjalan, yang merupakan menu utama analisis perkerasan. Program ini akan memulai analisis dari *file* data dan kemudian memulai eksekusi.

3.5 Program KENSLABS

Program KENPAVE adalah bagian dari program KENSLABS yang digunakan untuk mengevaluasi *output* dari program kerja KENSLABS. *Output* tersebut termasuk *stress* (σ), *deflection* (w), *cracking index*, dan *design life* (umur rencana). *Software* KENPAVE-KENSLABS berbasis pada metode elemen hingga, yang digunakan untuk membagi *slab* beton menjadi elemen hingga persegi yang memiliki banyak *node*. Sebagai kekuatan terkonsentrasi di *node*, beban roda dan reaksi tanah dasar diterapkan pada pelat (Huang, 1985).

Software KENPAVE-KENSLABS dapat digunakan untuk menghitung hingga enam *slab* beton, tujuh sambungan (sambungan) dan 420 titik *node*. Setiap *slab* beton dapat memiliki maksimal lima belas titik *node* pada sumbu X dan lima belas titik *node* pada sumbu Y. Selain itu, analisis kerusakan dapat dilakukan setiap tahun dengan membaginya menjadi dua bagian.

Dengan kemampuan tersebut, KENPAVE–KENSLABS menjadi salah satu perangkat analisis yang cukup komprehensif dalam mengevaluasi kinerja perkerasan kaku. Proses pemodelan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lapisan fondasi, sifat material, dan variasi beban lalu lintas, sehingga hasil analisis yang diperoleh lebih mendekati kondisi nyata di lapangan. Selain itu, *software* ini juga mampu memprediksi perkembangan kerusakan seperti retak akibat kelelahan serta perubahan lendutan selama umur layanan pelat beton. Kemampuan untuk mengolah berbagai skenario ketebalan *slab*, mutu beton, dan variasi beban menjadikan KENPAVE–KENSLABS sebagai alat bantu yang efektif dalam menentukan desain perkerasan yang optimal sesuai standar perencanaan yang berlaku. Kapabilitas *software* KENPAVE-KENSLABS sebagai berikut hingga dua belas periode dan dua belas kelompok beban.

1. Memiliki kemampuan untuk mengevaluasi hingga enam (enam) buah *slab* beton.
2. *Slab* beton, dengan ketebalan yang berbeda-beda.
3. *Slab* beton dapat terdiri dari dua lapis, dengan ikatan antar lapisan terikat atau tidak terikat.
4. Beban dapat tersebar merata pada luasan segi empat atau terpusat pada titik *node*, dan tiap beban dapat memiliki tekanan yang berbeda.
5. Efek *curling* yang disebabkan oleh suhu dan jarak antara *slab* beton dan lapis fondasi dapat dianalisis.
6. Hubungan antara *slab* dan fondasi dapat diasumsikan secara kontak penuh (*full contact*) atau tidak ada kontak pada beberapa titik *node* (*partial contact*).
7. *Software* ini dapat mengevaluasi *slab* beton pada tipe fondasi elastis, solid dan juga berlapis (*layered*)

Batasan program KENPAVE-KENSLABS adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan asumsi bahwa hanya ada satu lapisan lantai dan tiap lantai memiliki ketebalan yang sama, analisis *curling* akibat suhu harus didasarkan pada rata-rata ketebalan lantai.
2. *Software* ini tidak memungkinkan penggunaan sambungan yang kaku lendutan atau rotasi pada dua sisi sambungan besarnya sama.

3. *Software* ini hanya dapat menghitung nilai tegangan (*stress*), *deflection* (lendutan), *index cracking*, dan *design life* (umur rencana) pada *slab* beton dan lapis fondasi. Tegangan yang ada pada lapis fondasi tidak diketahui.

Untuk memasukkan data ke dalam *software* KENPAVE-KENSLABS dengan parameter tertentu, Anda harus terlebih dahulu mengeklik bagian menu *SLABSINP*. Ini akan menunjukkan tanggapan terhadap struktur perkerasan kaku.

3.5.1. File

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

3.5.2. General

Menu *general* menawarkan opsi untuk memasukkan informasi yang ada pada perkerasan yang ingin dianalisis. Tampilan menu *general* dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.

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)	(MDPO) 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 3.4 Tampilan Jendela General

Berikut adalah isi dari tampilan jendela *general* :

1. Formulir ini muncul apabila *General* pada Menu Utama *SLABSINP* diklik. Jika Kita ingin menggunakan tombol *PgDn* untuk menggulir halaman ke bawah, silakan klik kotak teks ini. Nilai *default* berlaku untuk pelat satu lapisan di atas fondasi cair tanpa analisis kerusakan. Jika jumlah pelat lebih dari 1, pastikan bahwa *NSLAB* dan *NJOINT* yang benar telah dimasukkan,

seperti yang ditunjukkan dengan warna merah. Angka merah $NPRINT = 0$ berarti tegangan pada setiap *node* dalam pelat yang diberi beban akan dihitung dan dicetak. Ini biasanya tidak diperlukan untuk perkerasan karena hanya tegangan pada *node* yang dekat dengan beban yang memiliki signifikansi praktis. Namun, untuk *plotting* kontur tegangan pada pelat perkerasan atau momen pada fondasi rakit, $NPRINT = 0$ harus digunakan sehingga tegangan atau momen pada setiap *node* dalam pelat yang diberi beban akan dihitung. Kita dapat mengganti nilai *default* dengan mengetikkan nilai baru. Kita dapat menggunakan tombol Tab untuk memindahkan kursor dari satu kotak teks ke kotak lainnya atau cukup klik pada kotak teks sebelum mengetik. Menggunakan klik memiliki keuntungan bahwa Kita tidak perlu menghapus nilai *default* sebelum mengetik data yang diinginkan.

2. *TITLE* (judul simulasi): Judul atau komentar apa pun dapat diketik dalam satu baris. Judul tidak boleh lebih dari 68 karakter termasuk spasi. Jika terjadi kesalahan saat mengetik, gunakan tombol *Del* untuk menghapus kesalahan ketik. Jika total mencapai 68 karakter, tidak ada karakter tambahan yang dapat ditambahkan. Jangan gunakan koma dalam judul. Gunakan titik dua atau titik koma sebagai gantinya.
3. *NFOUND* (jenis fondasi): 0 untuk fondasi cair atau Winkler, 1 untuk fondasi padat, 2 untuk fondasi berlapis *burmister*.
4. *NDAMA* (analisis kerusakan): 0 untuk tanpa analisis kerusakan, 1 untuk analisis kerusakan berdasarkan kriteria kelelahan *PCA* yang ditunjukkan oleh Persamaan 5.36, 2 untuk analisis kerusakan berdasarkan koefisien kelelahan yang ditentukan pengguna, seperti pada Persamaan 5.35. Analisis kerusakan hanya boleh dilakukan untuk kasus pembebanan di tepi dengan mempertimbangkan satu pelat dengan sumbu *y* sebagai simetri, seperti yang ditunjukkan dalam Contoh SLA4.
5. *NPY* (jumlah periode per tahun): Setiap tahun dapat dibagi menjadi maksimum 12 periode untuk analisis kerusakan.
6. *NLG* (jumlah kelompok beban): Beban gandar dapat dibagi menjadi maksimum 12 kelompok untuk analisis kerusakan, masing-masing dengan

beban roda dan konfigurasi yang berbeda. Jika tidak ada beban yang diterapkan dan hanya pengeritingan suhu yang dipertimbangkan, NLG tetap 1 dan tidak boleh diubah menjadi 0.

7. NLAYER (jumlah lapisan pelat): Pelat dapat terdiri dari 1 atau 2 lapisan beton, baik yang terikat maupun tidak terikat.
8. NBOND (jenis ikatan): 1 jika dua lapisan pelat terikat, 0 jika hanya ada satu lapisan pelat atau jika dua lapisan tidak terikat.
9. NSLAB (jumlah pelat): Maksimum 6 pelat dapat ditentukan
10. NJOINT (jumlah sambungan): Maksimum 7 sambungan dapat digunakan.
11. NNCK (nomor *node* untuk pemeriksaan): *Node* ini digunakan untuk memeriksa konvergensi ketika matriks kekakuan terlalu besar dan metode iteratif digunakan untuk menyelesaikan persamaan simultan. Gunakan *node* di bawah atau dekat dengan beban terberat jika memungkinkan. *Node* ini juga digunakan untuk memeriksa apakah defleksi masuk akal, sehingga sebuah angka harus ditentukan meskipun tidak diperlukan iterasi.
12. NPRINT (jumlah *node* untuk pencetakan tegangan): Jika NPRINT = 0, tegangan pada setiap *node* dalam pelat yang diberi beban akan dihitung dan dicetak. Jika beban diterapkan pada beberapa pelat, hanya pelat dengan nomor terendah yang akan dihitung dan dicetak. Untuk mengurangi jumlah pencetakan, kecuali untuk fondasi rakit atau pelat perkerasan di mana pemetaan kontur diinginkan, hanya *node* yang dekat dengan beban yang harus dihitung dan dicetak. Jika analisis kerusakan akan dilakukan, tiga titik tepi, satu di bawah setiap gandar, harus ditentukan, seperti yang ditunjukkan oleh *node* 1, 19, dan 37 dalam Contoh SLA4.
13. NSX (jumlah *node* pada sumbu x sebagai simetri): Maksimum 50 *node* dapat ditempatkan pada sumbu x sebagai simetri. Tetapkan 0 jika sumbu x bukan sumbu simetri. Tetapkan 1 jika sumbu x simetri berada di sepanjang sambungan.
14. NSY (jumlah *node* pada sumbu y sebagai simetri): Maksimum 50 *node* dapat ditempatkan pada sumbu y sebagai simetri. Tetapkan 0 jika sumbu y bukan

sumbu simetri. Tetapkan 1 jika sumbu y simetri berada di sepanjang sambungan.

15. MDPO (pencetakan lebih rinci): 1 untuk ya, 0 untuk tidak. Disarankan untuk menggunakan nilai default 0. Pencetakan lebih rinci hanya diperlukan untuk tujuan debugging.
16. NAT1 (jumlah ketebalan tambahan untuk lapisan pelat 1, maksimum 120): Ketebalan pelat pada *node-node* ini berbeda dari normal dan perlu ditentukan secara individual. Tetapkan 0 jika ketebalan lapisan pelat 1 seragam di seluruh bagian.
17. NAT2 (jumlah ketebalan tambahan untuk lapisan pelat 2, maksimum 120): Ketebalan pelat pada *node-node* ini berbeda dari normal dan perlu ditentukan secara individual. Tetapkan 0 jika ketebalan lapisan pelat 2 seragam di seluruh bagian.
18. NUNIT (satuan): 1 untuk satuan SI, 0 untuk satuan Inggris.
19. Di sisi kanan formulir terdapat tiga set tombol opsi untuk beban merata (UL), pengeritingan suhu (TC), dan beban terkonsentrasi pada *node* (CL). Parameter ini tidak digunakan untuk menjalankan KENSLABS, tetapi hanya digunakan untuk menentukan kode warna untuk “input” atau “default” di tombol lain. Kasus *default*, yang ditandai dengan titik hitam di tombol, adalah beban merata aktif (UL = 1), tanpa pengeritingan suhu (TC = 2), dan tanpa beban terkonsentrasi (CL = 2). Kita dapat mengubah nilai *default* dengan mengklik tombol lainnya.
20. Setelah selesai, klik OK untuk kembali ke Menu Utama *SLABSINP*.

3.5.3. *Slab*

Pada *Slab Information*, data yang dimasukkan mencakup informasi mengenai *slab* dan *joint*, meliputi sifat-sifat material beton yang digunakan dalam analisis, seperti kekuatan, kekakuan, serta karakteristik sambungan antar pelat. Selain itu, data ini juga mencakup jumlah titik koordinat pada sumbu X dan Y, yang berfungsi untuk mendefinisikan geometri pelat beton secara akurat dalam model analisis.

Melalui data ini, program analisis dapat melakukan perhitungan tegangan, lendutan, dan distribusi beban secara lebih realistis sesuai dengan kondisi struktur

di lapangan. Dengan demikian, hasil analisis dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja perkerasan kaku secara menyeluruh. Tampilan Jendela *Slab* yang menampilkan konfigurasi data tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

Slab Information for Data Set No 1

Arrangement	X-coordinate	Y-coordinate	Properties
input	input	input	input

This form appears when the 'Slab' menu on the Main Menu of SLABSINP is click. Below each menu is a label with 'input' in red, indicating that there are no defaults and you must click the menu to supply some of the data. You can point the arrow to the label below each menu for a longer description of the menu. After completing each data entry form, the word 'done' will be shown in the corresponding label. Upon completing all the forms on this screen, click OK to return to the Main Menu of SLABSINP.

OK

Gambar 3.5 Tampilan Jendela *Slab*

Formulir ini muncul ketika menu *Slab* pada Menu Utama SLABSINP diklik. Di bawah setiap menu terdapat label dengan tulisan *input* berwarna merah, yang menunjukkan bahwa tidak ada nilai *default* dan Kita harus mengeklik menu tersebut untuk memasukkan beberapa data. Kita dapat mengarahkan kursor ke label di bawah setiap menu untuk melihat deskripsi yang lebih panjang tentang menu tersebut. Setelah menyelesaikan setiap formulir entri data, kata *done* akan ditampilkan pada label yang sesuai. Setelah semua formulir di layar ini selesai diisi, klik OK untuk kembali ke Menu Utama SLABSINP.

3.5.4. *Uniform*

Program KENSLABS memanfaatkan titik-titik koordinat pada *slab* beton untuk melakukan analisis pembebanan perkerasan secara akurat. Melalui sistem koordinat ini, program dapat menentukan posisi, distribusi, dan intensitas beban yang bekerja pada setiap titik *slab*. Analisis beban dalam program ini dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu *tandem* roda ganda (*tandem axle double tire*), yang masing-masing mewakili kondisi pembebanan aktual kendaraan niaga di lapangan.

Pembagian jenis sumbu ini bertujuan untuk menggambarkan variasi beban kendaraan terhadap pelat beton sehingga respons struktur dapat dianalisis secara lebih realistis, baik dari segi tegangan maupun lendutan. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menilai kekuatan dan ketahanan perkerasan terhadap beban berulang selama umur rencana jalan. Tampilan Jendela *Uniform* yang menunjukkan pengaturan dan distribusi beban tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Tampilan Jendela Uniform

Berikut adalah isi dari tampilan jendela *uniform* :

1. Formulir ini muncul ketika menu *Uniform* pada Menu Utama *SLABSINP* diklik. Jumlah baris dalam formulir ini sama dengan *NLG*, sebagaimana ditentukan dalam menu *General*.
2. *NUDL* (jumlah beban terdistribusi merata untuk setiap grup beban, maksimum 24): Setiap beban diasumsikan terdistribusi pada area persegi panjang. Lihat Bagian 1.4.1 untuk mengonversi luas kontak ban yang sebenarnya menjadi area persegi panjang yang setara. Beban yang terdistribusi pada beberapa elemen hingga tetap dianggap memiliki satu area pembebanan. Jika *NLG* lebih besar dari 1, akan ada lebih dari satu baris atau grup beban untuk *NUDL*. *NUDL* ini harus dimasukkan ke dalam setiap sel. Jumlah maksimum area pembebanan untuk setiap grup beban tidak boleh lebih dari 24. Sel aktif tempat kursor berada ditandai dengan persegi panjang putus-putus. Kita dapat mengetikkan data, dan kursor akan muncul. Setelah

menekan tombol *Enter*, formulir tambahan untuk *Loaded Areas* akan muncul. Setelah semua data dimasukkan dan tombol OK dalam formulir tambahan diklik, formulir utama akan muncul kembali dengan sel aktif pada baris 2. Kita dapat mengulangi proses ini untuk baris berikutnya hingga semua data untuk area beban terdistribusi merata dimasukkan.

3. Kita dapat menghapus baris apa pun dengan terlebih dahulu mengeklik sel untuk mengaktifkannya atau memindahkan persegi panjang putus-putus ke baris tersebut menggunakan tombol panah, lalu menekan tombol Ctrl + Del. NLG dalam menu *General* akan berkurang secara otomatis sebanyak 1.
4. Kita dapat menambahkan baris baru di atas baris tertentu dengan mengeklik sel pada baris tersebut untuk mengaktifkannya atau memindahkan persegi panjang putus-putus ke baris tersebut, lalu menekan tombol Ctrl + Ins. Baris kosong akan muncul untuk memasukkan nilai NUDL. NLG dalam menu *General* akan bertambah secara otomatis sebanyak 1. Jika ingin menambahkan baris setelah baris terakhir, Kita dapat menambah nilai NLG dalam menu *General* sebesar 1, dan baris kosong akan muncul sebagai baris terakhir. Ingat, selalu gunakan Ctrl + Ins untuk menambahkan baris kecuali jika baris yang ditambahkan adalah baris terakhir. Dengan cara ini, Kita tidak perlu mengetik ulang baris yang sudah ada.
5. Untuk *file* yang sudah ada, Kita dapat masuk ke formulir tambahan dari baris tertentu tanpa mengetik ulang NUDL dengan mengeklik dua kali baris tersebut. Sebagai alternatif, Kita juga dapat masuk ke formulir tambahan dengan menekan tombol Esc, tetapi pastikan untuk memindahkan persegi panjang putus-putus ke baris yang diinginkan sebelum menekan tombol Esc.
6. Karena adanya formulir tambahan, pengisian data harus dilakukan baris demi baris dari atas ke bawah dengan menekan tombol *Enter*. Jangan gunakan tombol panah untuk berpindah ke baris berikutnya karena tanpa menekan *Enter*, data tidak akan tersimpan saat formulir tambahan dimasukkan. Tombol panah hanya dapat digunakan jika tidak ada formulir tambahan yang aktif.
7. Setelah menyelesaikan formulir ini dan semua formulir tambahan untuk area beban, klik OK untuk kembali ke Menu Utama *SLABSINP*.

3.5.5. *Optional*

Menu *Node Printout* di menu informasi tambahan, menu ini akan muncul. Dalam menu "General", jumlah baris atau *node* sama dengan nomor NP (nomor *node* pada tegangan yang ingin dianalisis dan dicetak). Tampilan Jendela *Optional* dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Tampilan Jendela *Optional*

Berikut adalah isi dari tampilan jendela *optional* : Formulir ini muncul ketika menu *Optional* pada Menu Utama SLABSINP diklik. Di bawah setiap menu terdapat label dengan tulisan *default* berwarna biru dan *input* berwarna merah. Nilai *default* ini didasarkan pada asumsi bahwa NAT1, NAT2, NOTCON, NSX, NSY, dan NGAP semuanya bernilai 0. Jika nilai default ini diubah dalam menu *General* atau *Curling*, label yang sesuai akan otomatis berubah menjadi *input* berwarna merah, menunjukkan bahwa *input* tambahan diperlukan.

Kita dapat mengarahkan kursor ke label di bawah setiap menu untuk melihat deskripsi yang lebih panjang tentang menu tersebut. Tidak perlu mengklik 'Dowel' kecuali jika Kita ingin mengubah nilai *default*. Setelah menyelesaikan setiap formulir entri data, kata *done* akan ditampilkan pada label yang sesuai. Setelah semua formulir di layar ini selesai diisi, klik OK untuk kembali ke Menu Utama SLABSINP.

3.5.6. Foundation

Saat mengeklik "Foundation" di menu utama *SLABSINP* dan $NFOUND = 1$, *form* ini akan muncul. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, menu ini mengandung hanya dua data *input*.

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 3.8 Tampilan Jendela *Foundation*

Berikut adalah isi dari tampilan jendela *foundation* :

1. Formulir ini muncul ketika $NFOUND = 0$ dan menu *Foundation* pada Menu Utama *SLABSINP* diklik. Formulir ini hanya memiliki satu baris dan dua entri.
2. SUBMOD (*modulus subgrade* dari fondasi cair): Jika *modulus* tidak seragam, SUBMOD adalah *modulus* dari bagian yang seragam, sedangkan bagian yang tidak seragam dimasukkan dalam kolom berikutnya.
3. NAS (jumlah tambahan *modulus subgrade* yang harus dimasukkan, maksimum 120): Biarkan 0 jika *modulus* seragam di seluruh bagian. Setelah memasukkan NAS, sebuah formulir tambahan dengan jumlah baris sesuai NAS akan muncul.
4. Untuk *file* yang sudah ada, Anda dapat masuk ke formulir tambahan tanpa perlu mengetik ulang NAS dengan melakukan *double-click*. Sebagai alternatif, Kita juga dapat masuk ke formulir tambahan dengan menekan

tombol Esc, tetapi pastikan kursor berada di baris yang sesuai sebelum menekan tombol tersebut.

5. Karena adanya formulir tambahan, pengisian data harus dilakukan baris per baris dari atas ke bawah dengan menekan tombol *Enter*. Jangan gunakan tombol panah untuk berpindah ke baris berikutnya, karena tanpa menekan *Enter*, entri yang sudah dimasukkan tidak akan tersimpan saat formulir tambahan dimasukkan. Tombol panah hanya dapat digunakan jika tidak ada formulir tambahan.
6. Setelah menyelesaikan formulir ini dan formulir tambahan, klik OK untuk kembali ke Menu Utama SLABSINP.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data

Pada proses analisis yang dilakukan dalam penelitian ini, ketersediaan data yang lengkap menjadi hal yang sangat penting agar hasil yang diperoleh dapat dianalisis secara tepat. Apabila data yang dibutuhkan tidak tersedia seluruhnya, maka tahapan penelitian dapat terhambat dan keputusan yang dihasilkan berpotensi kurang akurat. Penelitian ini menggunakan data sekunder sebagai sumber utama, yaitu data yang sudah ada sebelumnya dan dikumpulkan oleh instansi atau pihak lain. Data sekunder umumnya berasal dari lembaga pemerintah, perusahaan, maupun publikasi resmi yang telah melalui proses pengolahan sebelumnya.

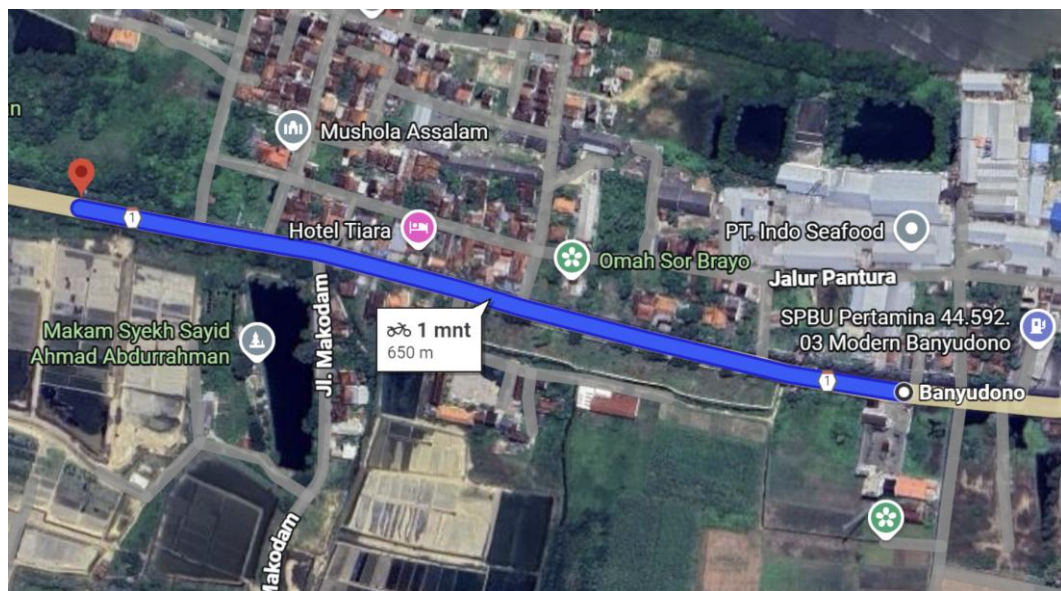
Dalam penelitian ini, data sekunder diperoleh dari dokumen Analisis Dampak Lalu Lintas (Andalalin) serta PT. Surya Mataram Sakti sebagai sumber informasi terkait kondisi lalu lintas dan struktur jalan. Dengan tersedianya data tersebut, proses evaluasi dapat dilakukan secara lebih terarah dan mendukung penyusunan desain perkerasan yang sesuai dengan kondisi *existing*. Berikut adalah beberapa data yang telah dikumpulkan untuk mendukung analisis kondisi jalan arteri Jawa Tengah

1. Peta lokasi tempat kerja
2. Data Lalu Lintas Harian Rerata (LHR)
3. Data Material untuk Perkerasan
4. Informasi tentang struktur perkerasan yang sudah ada, termasuk geometri jalan (seperti panjang, lebar, dan jumlah arah dan jalur jalan), serta desain struktur perkerasan tersebut.

4.2 Lokasi Studi Kasus

Berdasarkan data kondisi lapangan yang diperoleh, ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang pada STA 100+625 menunjukkan tingkat kerusakan yang cukup signifikan. Segmen ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena kondisi perkerasan

yang sudah tidak lagi mampu menahan beban lalu lintas harian yang didominasi kendaraan berat. Pada tahun 2022, data yang ditampilkan dalam Tabel 4.1 menunjukkan bahwa beberapa bagian perkerasan mengalami penurunan kualitas yang ditandai dengan retak, deformasi, serta ketidakrataan permukaan. Kerusakan tersebut menyebabkan penurunan kenyamanan berkendara dan berpotensi mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Dengan kondisi seperti itu, diperlukan evaluasi mendalam terhadap struktur perkerasan *existing* agar dapat diketahui tingkat kelayakan perkerasan serta kebutuhan desain perbaikan yang sesuai untuk meningkatkan keselamatan dan umur layan jalan. Lokasi segmen yang diteliti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang STA. 100+625

Sumber : (Google Earth, 2025)

Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang di STA 100+625 merupakan jalan dua arah dengan dua lajur yang cukup lebar sebesar 5 meter per lajur. Jalan ini menggunakan perkerasan beton sehingga permukaannya cenderung kaku dan rata di sebagian besar titik. Kondisi jalannya relatif datar, hanya terdapat sedikit perubahan elevasi yang tidak terlalu tajam. Kemiringan melintang juga dibuat landai agar air dapat mengalir ke tepi jalan dan tidak menggenang. Di beberapa titik, terutama pada area yang sedang diperbaiki, lebar jalan tampak sedikit berubah dan bahu jalan terlihat

sempit. Arus kendaraan sangat padat, khususnya truk dan bus besar, sehingga jalur ini selalu ramai. Secara keseluruhan, geometri jalan ini memang dirancang untuk menampung kendaraan berat, meskipun kondisi lapangan saat ini menunjukkan adanya beberapa penyempitan dan ketidakteraturan dimensi akibat proses perbaikan.

Pada kondisi ideal, masing-masing lajur memiliki lebar sebesar 5 meter sehingga kendaraan besar seperti truk dan trailer dapat melintas dengan aman. Menurut ketentuan Bina Marga 2024, jalan arteri harus memiliki lebar minimum 7 meter untuk dua lajur (masing-masing sekitar 3,5 meter), sehingga data lebar jalan yang ada di lapangan masih berada dalam rentang tersebut, meskipun beberapa titik menunjukkan variasi akibat pekerjaan konstruksi. Data kondisi lokasi penelitian di Ruas Jalan Kudus – Pati – Rembang pada tahun 2022 disajikan dalam Tabel 4.1 berikut.

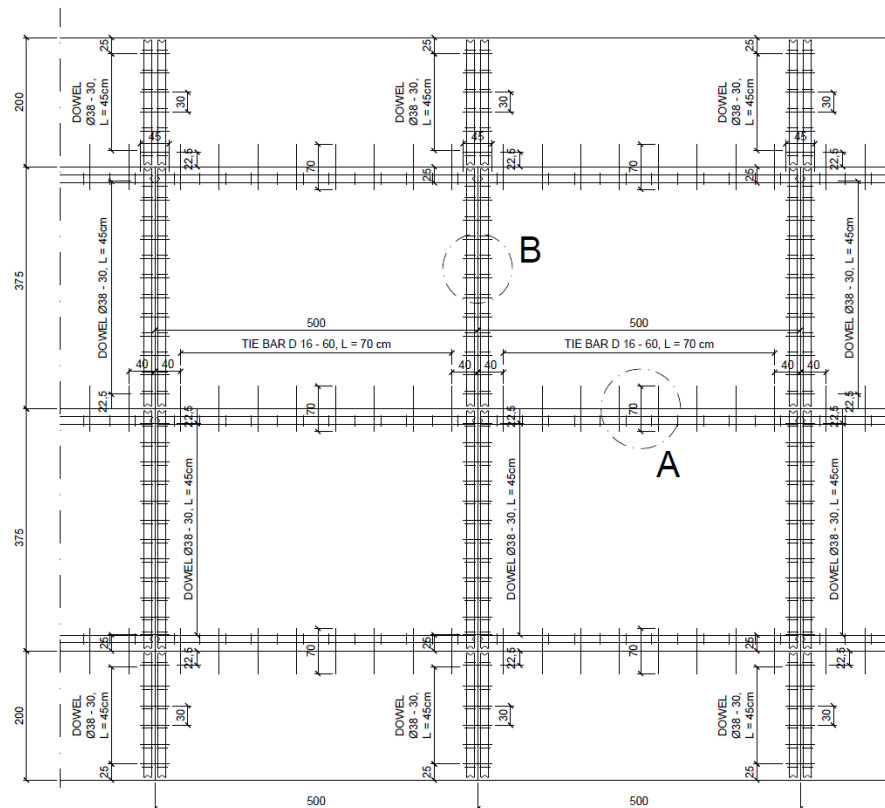
Tabel 4.1 Kondisi Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang

Klasifikasi Ruas Jalan	Data Ruas Jalan
Status Jalan	Jalan Arteri
Tipe Perkerasan	Perkerasan Kaku
Panjang Jalan (yang diteliti)	625 m
Lebar jalan	10 m

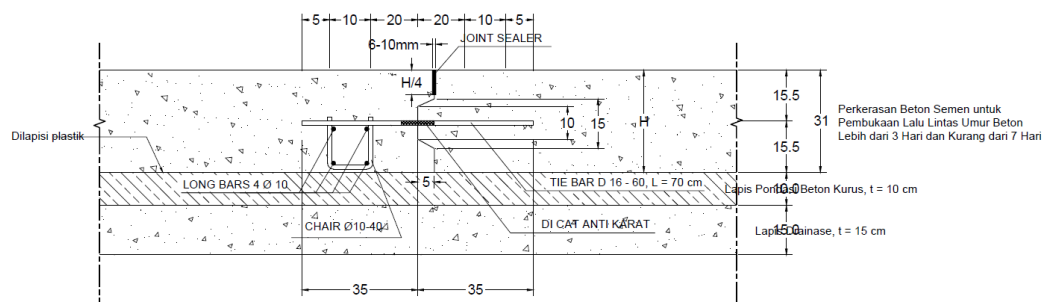
Sumber : Dokumen PT. Surya Mataram Sakti (2023)

Berdasarkan data yang diperoleh dari pihak terkait, didapatkan informasi mengenai dimensi pelat, *dowel*, dan *tie bar* yang digunakan pada struktur perkerasan kaku. Data ini sangat penting karena ketiga elemen tersebut berfungsi sebagai penghubung dan penyalur beban antar pelat beton, sehingga berpengaruh langsung terhadap kinerja struktural perkerasan. Dengan memahami konfigurasi pelat, *dowel*, dan *tie bar* yang terpasang, proses evaluasi maupun perancangan ulang dapat dilakukan dengan lebih akurat sesuai kondisi *existing* di lapangan. Selain itu, informasi mengenai dimensi dan penempatan komponen tersebut membantu dalam menilai apakah struktur *existing* masih memenuhi standar perencanaan terbaru. Data ini juga menjadi dasar dalam menentukan perlakuan

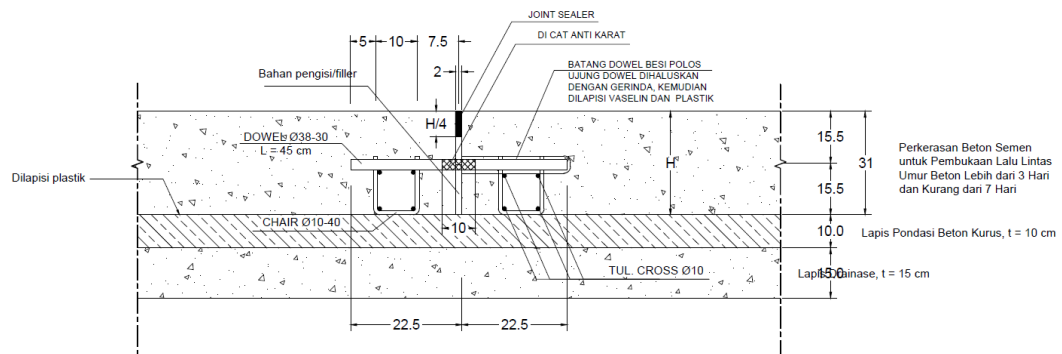
perbaikan yang paling tepat, baik berupa penggantian, perkuatan, maupun redesain. Dengan demikian, seluruh komponen perkerasan dapat dianalisis secara menyeluruh sehingga hasil evaluasi lebih komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan. Detail spesifikasi masing-masing komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4. berikut.



Gambar 4.2 Geometri Sambungan Memanjang (*Tie-bar*) dan susut Melintang (*Dowel*) Perkerasan BBT/JPCP
Sumber : Data PT Surya Mataram Sakti (2024)



Gambar 4.3 Detail *Tie-bar* (Batang Pengikat)
Sumber : Data PT Surya Mataram Sakti (2024)



Gambar 4.4 Detail *Dowel* (Batang Ruji)

Sumber : Data PT Surya Mataram Sakti (2024)

4.3 Analisis Data

Manual Desain Perkerasan Jalan N0.03/BM/2024, juga dikenal sebagai Bina Marga 2024, berisi tahapan-tahapan desain perkerasan jalan. Tahapan-tahapan ini didasarkan pada Bina Marga 2024.

1. Menggunakan perhitungan pembagian sumbu untuk masing-masing golongan kendaraan.
2. Menggunakan perhitungan pembagian sumbu untuk masing-masing golongan kendaraan.
3. Menghitung faktor kerusakan kendaraan.
4. Menemukan umur rencana (UR).
5. Melakukan analisis data lalu lintas harian rerata tahunan (LHRT).
6. Menemukan faktor pertumbuhan lalu lintas.
7. Menemukan faktor ekuivalen beban.
8. Menganalisis perhitungan *Heavy Vehicle Axle Group (HVAG)*.
9. Menentukan desain fondasi jalan.
10. Menentukan desain perkerasan alternatif.

4.4 Prosedur Metode KENPAVE-KENSLABS

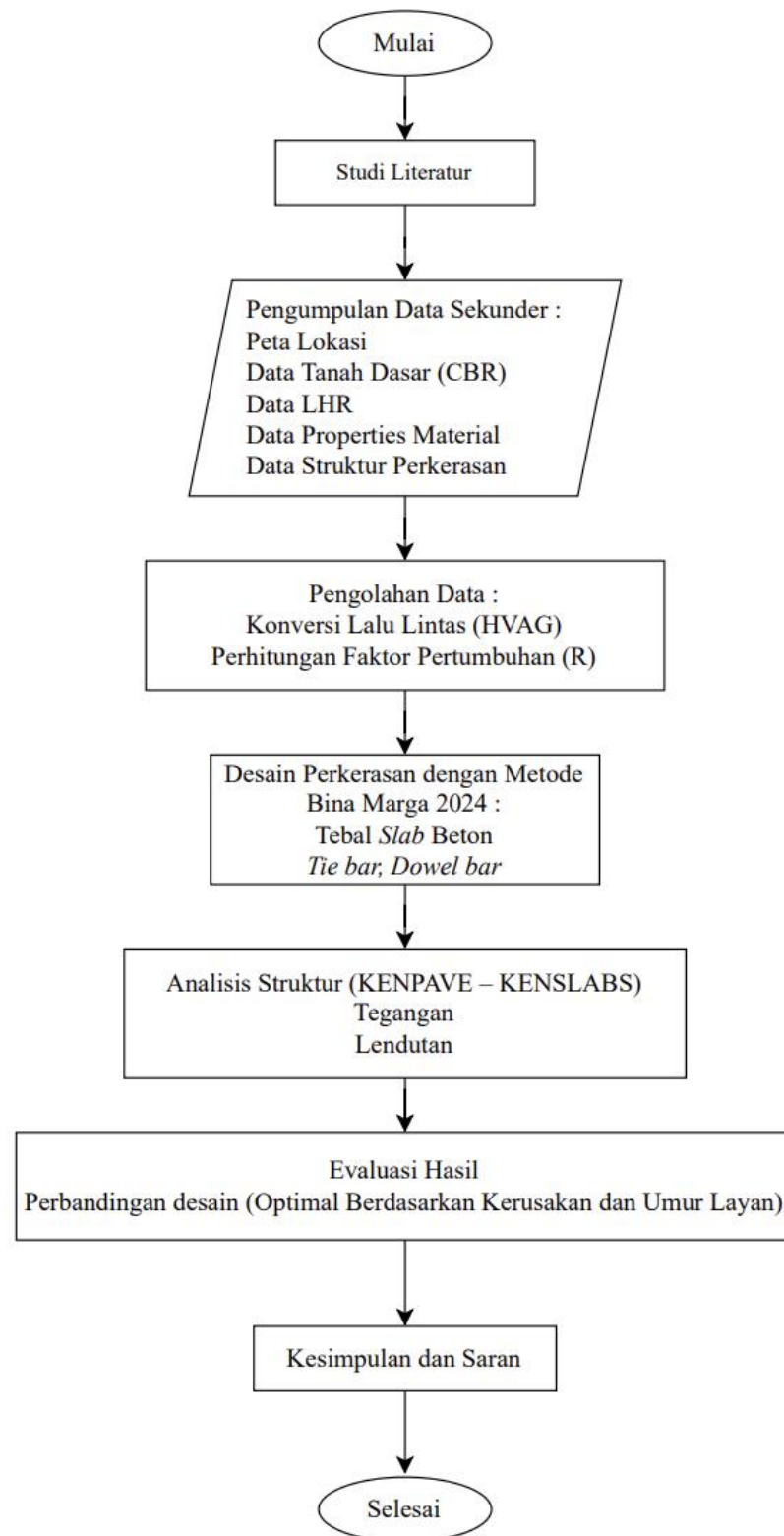
KENPAVE KENSLABS digunakan untuk memodelkan desain perkerasan kaku, seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

1. Mengumpulkan data material seperti jenis fondasi, ketebalan, dan dimensi *slab* beton.

2. Melakukan analisis data lalu lintas minimum.
3. Menggunakan KENPAVE-KENSLABS untuk membuat permodelan struktur perkerasan yang kaku.
4. Memasukkan data tentang tipe fondasi, periode tahunan, jumlah grup beban, dan jumlah *slab* beton.
5. Menambahkan data mengenai *slab* beton, termasuk jumlah *node* pada sumbu x dan y, koordinat setiap *node*, serta karakteristik material *slab* beton.
6. Memasukkan informasi beban lalu lintas, mencakup nomor *slab* yang menerima beban, koordinat x dan y dari beban lalu lintas, serta nilai tekanan kontak.
7. Memasukkan data *properties* material lapis fondasi dan tanah dasar antara lain: tebal lapisan, *poisson's ratio* dan *modulus* elastisitas (*modulus of subgrade reaction*).
8. Menentukan respons sensitivitas *rigid pavement* dengan hasil *running Software* KENPAVE-KENSLABS yang meliputi maksimum *stress* (σ), maksimum *deflection* (w), *index cracking*, dan *design life*.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan gambaran visual yang menggambarkan urutan langkah-langkah atau proses yang akan digunakan dalam sebuah penelitian. 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.



Gambar 4.5 Bagan Alir Penelitian

BAB V

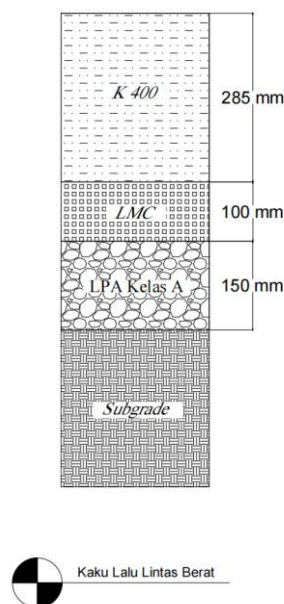
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk memperoleh hasil evaluasi yang komprehensif terhadap desain struktur perkerasan kaku di Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang dengan menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan KENPAVE–KENSLABS.

5.1.1 *Existing*

Analisis kondisi *existing* dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal struktur perkerasan kaku pada Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang STA. 0+000 – STA. 100+625. Data yang digunakan adalah data sekunder yang didapatkan dari PT. Surya Mataram Sakti dan Analisis Data Lalu Lintas. Data *existing* ini digunakan sebagai dasar dalam proses evaluasi desain perkerasan dengan metode Bina Marga 2024 serta pemodelan menggunakan *software* KENPAVE–KENSLABS. Berdasarkan data yang di dapat dari PT. Surya Mataram Sakti terdiri atas beberapa lapis yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 Berikut.



Gambar 5.1 Tebal Lapis Existing
Sumber : Data PT. Surya Mataram Sakti (2024)

Informasi mengenai kondisi ruas jalan Kudus – Pati - Rembang, yang didasarkan pada data yang diterima dari PT. Surya Mataram Sakti, disajikan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Kondisi Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang

No.	Data	Keterangan
1	Jenis Jalan	Kolektor
2	Umur Rencana (UR)	40 Tahun
3	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas, i (%)	4,8%
4	Distribusi Kendaraan	2 Lajur 2 Arah

Sumber : Data PT. Surya Mataram Sakti (2024)

Data *existing* yang dikumpulkan terdiri dari beberapa komponen penting sebagai berikut :

1. Peta Lokasi

Peta lokasi menunjukkan posisi segmen penelitian di ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang dengan panjang pengamatan sepanjang 625 meter. Peta ini digunakan untuk memahami kondisi geografis, geometrik jalan, serta posisi titik analisis yang akan dievaluasi.

2. Data Tanah Dasar (*CBR*)

Berdasarkan hasil dari dokumen Analisis Dampak Lalu Lintas (Andalalin) dan data dari PT. Surya Mataram Sakti, nilai *California Bearing Ratio* (*CBR*) tanah dasar pada lokasi penelitian sebesar 4%, yang termasuk dalam kategori daya dukung rendah. Nilai ini menjadi acuan dalam perhitungan tebal lapisan perkerasan dan analisis struktur fondasi perkerasan kaku, yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Nilai CBR

Titik	Lokasi	Nilai CBR (%)
DCP 1	Ruas Jalan Kayen - Bagetel, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	2,00
DCP 2	Ruas Jalan Gabus - Winong, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	2,00

Sumber : Dinas PUPR Kabupaten Pati (2023)

Lanjutan Tabel 5.2 Nilai CBR

DCP 3	Ruas Jalan Pati - Gabus, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	4,00
DCP 4	Ruas Jalan Jakenan - Jaken, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	1,00
DCP 5	Ruas Jalan Dukuhseti – Bts. Jepara, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	4,00
DCP 6	Ruas Jalan Pati – Rembang, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	1,00

Sumber : Dinas PUPR Kabupaten Pati (2023)

3. Data LHR

Nilai LHR diperoleh dari laporan Andalalin tahun 2024 yang mencakup berbagai jenis kendaraan seperti sepeda motor, kendaraan ringan, bus, serta truk dua sumbu. Data ini digunakan untuk menentukan beban lalu lintas total yang bekerja pada struktur perkerasan. Sementara itu, struktur jalan *existing* perlu ditinjau untuk mengetahui kondisi lapisan perkerasan saat ini, sehingga dapat dibandingkan dengan kebutuhan desain baru berdasarkan beban lalu lintas aktual. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa desain perkerasan baru dapat mengakomodasi beban lalu lintas yang diperkirakan tanpa menimbulkan kerusakan pada struktur jalan dalam jangka panjang. Nilai LHR dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Data LHR Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang

Gol	Uraian	LHR 2024
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3	2340
2	Kendaraan ringan - sedan, <i>jeep</i> , dan <i>station wagon</i>	1117
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	832
4	Kendaraan ringan - <i>pick up</i> dan <i>micro truck</i>	478
5A	Bus kecil	48
5B	Bus besar	57
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	305
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	248

Sumber : Dinas Perhubungan (2024)

4. Data *Properties* Material

Data *Properties* Material beberapa tahapan yang digunakan untuk menganalisis data material sebagai berikut.

a. *Modulus Young of Subgrade*

Dalam proses *input data*, diperlukan parameter *modulus Young of subgrade*. Untuk mempermudah analisis, antara modulus elastisitas dan parameter tanah lainnya dapat ditentukan dengan menggunakan nilai CBR, yang digunakan dalam pekerjaan struktur perkerasan jalan. Menurut Croney (1991), hubungan antara keduanya dibuktikan secara empiris dan banyak diterapkan dalam perencanaan perkerasan. Berdasarkan nilai CBR tersebut, dapat diperoleh estimasi nilai modulus elastisitas yang diperlukan dalam analisis, sebagaimana pada Persamaan 3.5. Pendekatan ini membantu menentukan karakteristik tanah dasar dengan cara sederhana namun akurat untuk kebutuhan desain perkerasan.

$$\begin{aligned} E &= 6,6 \times 4 \\ &= 26,4 \text{ MPa} \\ &= 26400 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b. *Poisson's ratio*

Nilai *poisson's ratio* pada pemodelan ini digunakan untuk mendukung perhitungan respon struktur perkerasan, meskipun pengaruhnya terhadap hasil analisis tidak terlalu signifikan. Berdasarkan Bina Marga 2024 mengenai *poisson's ratios for different materials*, nilai *poisson's ratio* untuk *saturated soft clays* berada pada kisaran 0,40 hingga 0,50. Dalam analisis ini, nilai *poisson's ratio* digunakan untuk *subgrade* adalah 0,45.

5. *Data Properties Material pada Slab Beton*

Data karakteristik material pada slab beton meliputi mutu beton yang memengaruhi respons perkerasan terhadap beban lalu lintas. Pada desain alternatif, digunakan mutu beton K-400 dengan jenis *Portland Cement Concrete* (PCC). Nilai mutu beton ini menjadi dasar penentuan parameter penting seperti modulus elastisitas (E_c), kuat tekan beton (f_c'), *Poisson's ratio* (μ), dan *modulus of rupture* (S_c). Untuk kondisi eksisting, mutu beton dianalisis berdasarkan hasil pemeriksaan lapangan dan dokumen teknis perencanaan sebelumnya guna mengetahui kemampuan struktural perkerasan

yang telah terpasang. Penggunaan mutu beton K-400 dipilih karena memiliki kuat tekan yang lebih tinggi sehingga mampu memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap beban berulang pada lalu lintas berat. Selain itu, beton K-400 dinilai lebih efektif dalam menjaga stabilitas perkerasan dalam jangka panjang dan meningkatkan kinerja keseluruhan struktur jalan..

a. Kuat tekan beton (f_c')

Mutu beton yang digunakan dengan kuat tekan karakteristik sebesar 400 kg/cm². Apabila mutu beton K400 tersebut dikonversikan ke dalam bentuk kuat tekan benda uji silinder, maka nilainya diperoleh dengan mengalikan angka tersebut dengan 0,83, sehingga didapatkan nilai kuat tekan (f_c') menggunakan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F_c' &= 400 \times 0,83 \\ &= 332 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 32,55 \text{ MPa} \\ 1 \text{ kg/cm}^2 &= 14,22 \text{ psi} \\ F_c' &= 32,55 \times 14,22 \\ &= 4722,13 \text{ psi} \end{aligned}$$

b. Modulus elastisitas beton (E_c)

Tahapan input data pada *software* KENPAVE–KENSLABS memerlukan parameter modulus elastisitas beton. Nilai modulus elastisitas untuk beton dengan mutu K400 dapat diperoleh melalui perhitungan dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= 57000\sqrt{4722,13} \\ &= 3916914,419 \text{ psi} \end{aligned}$$

c. *Poisson's ratio*

Nilai *poisson's ratio* digunakan dalam analisis pemodelan respons struktur perkerasan kaku, meskipun pengaruhnya terhadap hasil perhitungan tidak terlalu besar. Parameter ini jarang diukur secara

langsung dan umumnya diasumsikan berdasarkan jenis beton yang digunakan. Menurut Huang (2004) dalam tabel *poisson's ratio for different materials*, beton normal memiliki nilai *poisson's ratio* antara 0,15 hingga 0,20. Pada analisis ini, nilai *poisson's ratio* yang digunakan untuk beton adalah 0,15.

d. *Modulus of rupture* (S_c)

Kuat tekan beton digunakan secara universal sebagai parameter untuk menilai kualitas dan ketahanan beton. Menurut Huang (2004), terdapat hubungan antara *modulus of rupture* dan kuat tekan beton, yang dapat ditentukan melalui perhitungan menggunakan Persamaan 3.8.

$$\begin{aligned} S_c &= 8\sqrt{68,7178} \\ &= 549,742 \text{ psi} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Beban Lalu Lintas

Data lalu lintas tersebut digunakan untuk menghitung nilai CESA, yang memerlukan penentuan beberapa faktor berikut perhitungannya.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dinyatakan dalam satuan persen per tahun (%/tahun) dan menunjukkan besarnya peningkatan jumlah kendaraan setiap tahunnya. Dari hasil perhitungan laju pertumbuhan lalu lintas periode 2024 diperoleh nilai $i = 4,8\%$. Nilai ini mengindikasikan adanya kenaikan lalu lintas yang cukup berarti sehingga perlu diperhitungkan dalam analisis beban kumulatif selama umur rencana. Dengan mengetahui nilai pertumbuhan yang akurat, proses perencanaan perkerasan dapat dilakukan dengan lebih tepat sesuai kondisi lapangan.

b. Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)

Berdasarkan nilai $i = 4,8\%$ yang telah diperoleh, dilakukan perhitungan LHR tahun 2022 sebagai dasar dalam analisis lalu lintas. Hasil perhitungan LHR tersebut disajikan pada Tabel 5.1. Perhitungan ini menjadi acuan penting untuk mengevaluasi kapasitas jalan.

c. Perhitungan Faktor Pertumbuhan (R)

Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas R dapat ditentukan menggunakan perhitungan menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$R \text{ Faktual} = \frac{(1+0,01 \times 4,8\%)^{2028-2025}-1}{0,01 \times 4,8\%}$$

$$= 3\%$$

$$R \text{ Normal} = \frac{(1+0,01 \times 4,8\%)^{2065-2028}-1}{0,01 \times 4,8\%}$$

$$= 37\%$$

d. Faktor distribusi lajur (DL)

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menentukan proporsi kendaraan niaga pada tiap lajur arah lalu lintas. Pada ruas jalan dengan satu lajur per arah, seluruh kendaraan niaga dianggap melewati lajur tersebut, sehingga nilai faktor distribusi lajurnya adalah 100% atau 1,0.

e. Faktor distribusi arah (DD)

Faktor distribusi arah menggambarkan pembagian volume lalu lintas kendaraan antara dua arah perjalanan. Berdasarkan rekomendasi Bina Marga (2024), nilai DD berkisar antara 0,3 hingga 0,7 tergantung kondisi jalan. Untuk penelitian ini, digunakan nilai DD = 0,5, yang menunjukkan distribusi lalu lintas seimbang di kedua arah. Nilai ini dianggap paling sesuai karena kondisi ruas jalan yang dianalisis tidak menunjukkan dominasi arus lalu lintas pada salah satu arah tertentu.

f. VDF (*Vehicle Damage Factor*)

Nilai VDF ini sangat penting dalam menentukan kerusakan yang ditimbulkan oleh setiap jenis kendaraan terhadap perkerasan jalan. Dengan mengetahui nilai VDF, perencana dapat menghitung dampak beban yang diterima oleh perkerasan sepanjang umur rencana. Selain itu, informasi ini juga berguna untuk merancang ketebalan perkerasan yang sesuai agar dapat menahan beban lalu lintas secara optimal. Nilai VDF untuk setiap jenis kendaraan yang digunakan dalam perhitungan ESA dapat ditemukan pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Nilai VDF Berdasarkan Jenis Kendaraan

Gol	Faktor VDF4		Faktor VDF5	
	Faktual	Aktual	Faktual	Aktual
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5A	-	-	-	-
5B	1,2	1,2	1,3	1,3
6A	0,5	0,5	0,4	0,4
6B	0,7	0,7	3,5	0,6

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

Setelah data Tabel 5.4 diperoleh, perhitungan jumlah kendaraan untuk periode 40 tahun dapat dilakukan. Nilai CESA dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4. Contoh perhitungan untuk nilai ESA4 dan ESA5 akan ditunjukkan pada golongan 8A dan dapat dilihat di bawah ini.

$$\begin{aligned}\text{ESA5 Normal} &= (60 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 3 \\ &= 44590,571 \text{ ESA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ESA5 Faktual} &= (69 \times 1,3) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 97 \\ &= 1586134,71 \text{ ESA}\end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan beban kendaraan untuk golongan lainnya, beserta nilai ESA5, disajikan pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.5 Perhitungan Nilai ESA5

Gol	LHR 2025	LHR 2028	Faktor VDF5		R		ESA5	
	Kend / hari	Kend / hari	Faktual	Normal	3 Tahun	37 Tahun	Faktual	Normal
					2025 - 2028	2028 - 20265	2025 - 2028	2028 - 20265
1	2452	2823	-	-	3	97	-	-
2	1171	1347	-	-	3	97	-	-
3	872	1004	-	-	3	97	-	-
4	501	577	-	-	3	97	-	-
5	50	58	-	-	3	97	-	-
6	60	69	1,3	1,3	3	97	44590,57	1586134,71
7	320	368	0,4	0,4	3	97	73414,97	2611449,86
8	260	299	3,5	0,6	3	97	522329,50	3185112,61
Jumlah ESA							640335,05	7382697,18
ESA							8023032,23	

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 5.6, diperoleh nilai CESA sebagai berikut.

$$ESA5 = 8023032,23 \text{ ESA}$$

g. Jumlah kelompok sumbu

Kelompok sumbu kendaraan berat digunakan dalam perhitungan *Heavy Vehicle Axle Group* (HVAG) untuk menentukan besarnya beban lalu lintas yang bekerja pada struktur perkerasan kaku. Setiap konfigurasi sumbu menghasilkan tingkat kerusakan yang berbeda terhadap perkerasan sehingga pengelompokan ini penting untuk memperoleh perhitungan beban rencana yang lebih akurat. Informasi mengenai kelompok sumbu tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Nilai Jumlah Kelompok Sumbu

Gol	Uraian	Kelompok Sumbu
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3	2
2	Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan <i>station wagon</i>	2
3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedang	2
4	Kendaraan ringan - pick up dan <i>micro truck</i>	2
5A	Bus kecil	2
5B	Bus besar	2
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	2
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	2

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2024)

h. *High Vehicle Axle Group*

Perhitungan nilai HVAG digunakan untuk menentukan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat. Contoh salah satu perhitungan HVAG dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut. Perhitungan ini dilakukan agar beban lalu lintas yang masuk dalam desain perkerasan benar-benar mencerminkan kondisi kendaraan berat yang melintas di lapangan. Dengan mengetahui nilai HVAG secara tepat, rancangan perkerasan dapat disesuaikan agar mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana..

$$\begin{aligned}
 HVAG &= (248) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 115,063 \\
 &= 2015916,531 \text{ ESA}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan HVAG dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan HVAG

Jenis Kendaraaan	Jumlah Kelompok Sumbu	LHR 2024 Kend./hari	Kelompok Sumbu 2024	Jumlah kelompok sumbu
1	2	2340	-	-
2	2	1117	-	-
3	2	832	-	-
4	2	478	-	-
5A	2	48	96	2015916,531
5B	2	57	114	2393900,88
6A	2	305	610	12809469,62
6B	2	248	496	10415568,74
<i>HVAG</i> 40 tahun (ESA)				27634855,78
				$27,63 \times 10^6$

7. Perhitungan Faktor Pertumbuhan (R)

Nilai faktor pertumbuhan lalu lintas R (2024) dapat ditentukan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(1+0,01 \times 4,8\%)^{40} - 1}{0,01 \times 4,8\%} \\
 &= 115,06\%
 \end{aligned}$$

8. *Subbase*

Lapisan fondasi bawah (*subbase*) menggunakan material beton kurus (*lean concrete*) dengan tebal rata-rata 10 cm dan nilai modulus reaksi tanah dasar (k) sebesar 26.400 kPa, sesuai hasil konversi dari nilai CBR 4%.

9. Data Lalu Lintas

Data lalu lintas yang digunakan pada penelitian ini merupakan data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) tahun 2024 pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang. Data ini diperoleh dari laporan Analisis Dampak Lalu Lintas (Andalalin) dan berisi jumlah kendaraan yang melintas setiap hari berdasarkan jenisnya, seperti sepeda motor, kendaraan ringan, bus, serta truk dua sumbu. Data tersebut ditampilkan pada Tabel 5.3 dan menjadi dasar untuk

menghitung besarnya beban lalu lintas yang bekerja pada struktur perkerasan. Dalam proses analisis, klasifikasi jenis kendaraan dan beban mengacu pada pedoman Bina Marga 2024. Langkah awal dalam menentukan ketebalan perkerasan kaku dilakukan dengan menganalisis data lalu lintas untuk mengetahui jumlah sumbu kendaraan berdasarkan jenis dan kategori bebannya. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKN), yang menggambarkan kontribusi kendaraan berat terhadap beban jalan. Secara umum, ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang memiliki volume lalu lintas yang tinggi, dengan dominasi truk dan bus, sehingga beban perkerasan menjadi cukup besar. Oleh karena itu, analisis lalu lintas menjadi tahap penting dalam menentukan ketebalan pelat beton dan lapisan fondasi bawah agar struktur jalan mampu menahan beban dengan aman selama umur rencananya. Contoh perhitungan jumlah sumbu pada roda ganda dapat dilihat berikut.

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Sumbu STRG} &= 48 + 57 + 305 + 248 \\ &= 658 \text{ buah}\end{aligned}$$

Tabel tersebut menyajikan rekapitulasi jumlah sumbu dari berbagai jenis kendaraan berdasarkan data LHR, termasuk konfigurasi beban sumbu dan akumulasi sumbu harian. Dari perhitungan yang ditampilkan, jumlah total sumbu yang bekerja pada ruas jalan mencapai 658 sumbu per hari, yang menunjukkan seberapa besar kontribusi kendaraan berat terhadap beban yang diterima oleh perkerasan kaku. Nilai total sumbu sebesar 658 ini kemudian digunakan sebagai *input* pada bagian “Volume of Traffic” di KENSLAB, sehingga analisis tegangan dan lendutan yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi beban lalu lintas yang sebenarnya. Dengan memasukkan data tersebut, hasil pemodelan menjadi lebih tepat karena mempertimbangkan distribusi sumbu kendaraan yang sesuai dengan keadaan lapangan. Hasil perhitungan jumlah sumbu kendaraan niaga harian (JSKN) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut

Tabel 5.8 Perhitungan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

Jenis Kendaraan	Sumbu	Berat Total	Konfigurasi beban sumbu (ton)				LHR	Jumlah sumbu setiap kendaraan	Jumlah sumbu	STRT		STRG		STdRG	
			RD	RB	RGD	RGB		(bh)	(bh)	BS	JS	BS	JS	BS	JS
Sepeda motor dan kendaraan roda 3	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan station wagon	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kendaraan ringan - <i>pick up</i> dan <i>micro truck</i>	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus Kecil	1.1	8,3	2,82	5,48	-	-	48	2	96	2,82	48	5,48	48	-	-
Bus Besar	1.2	9	3,06	5,94	-	-	57	2	114	3,06	57	5,94	57	-	-
Truk 2 sumbu - truk ringan	1.1	8,3	2,82	5,48	-	-	305	2	610	2,82	305	5,48	305	-	-
Truk 2 sumbu - truk sedang	1.2	15,15	5,15	10,00	-	-	248	2	496	5,15	248	10	248	-	-
Total (buah)													658	-	-

5.1.2 Alternatif 1

Perkerasan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang saat ini telah dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang ada dan mempertimbangkan kondisi lingkungan pada saat perencanaan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, kondisi di lapangan dapat mengalami perubahan yang tidak sepenuhnya tercermin dalam perhitungan awal. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah peningkatan volume lalu lintas, terutama dengan semakin banyaknya kendaraan berat yang melintas, yang dapat memberikan dampak besar terhadap ketahanan perkerasan. Selain itu, perubahan iklim yang menyebabkan suhu ekstrem dan curah hujan yang lebih tinggi juga dapat mempercepat proses kerusakan pada struktur perkerasan.

Faktor lain yang turut berperan adalah kerusakan mikro akibat pembebanan berulang, yang meskipun tidak langsung terlihat, dapat mempengaruhi daya tahan perkerasan dalam jangka panjang. Mengingat dinamika kondisi ini, meskipun perkerasan eksisting dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor pada waktu perencanaan, desain alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengakomodasi potensi peningkatan beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Desain alternatif ini bertujuan untuk memastikan perkerasan tetap dapat bertahan dengan baik, mengurangi risiko kerusakan dini, dan memastikan kinerjanya dalam jangka panjang.. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Hasil Analisis Alternatif 1

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking	Rencana	Evaluasi KENSLAB
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (tahun)	Design Life (tahun)
Alternatif 1	K-400	183,46	2592,478	2124,753	0,599	0,540	2,4	40	40,05

5.1.3 Alternatif 2

Perkerasan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang saat ini telah dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang ada dan mempertimbangkan kondisi lingkungan pada saat perencanaan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, kondisi di lapangan dapat mengalami perubahan yang tidak sepenuhnya tercermin

dalam perhitungan awal. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah peningkatan volume lalu lintas, terutama dengan semakin banyaknya kendaraan berat yang melintas, yang dapat memberikan dampak besar terhadap ketahanan perkerasan. Selain itu, perubahan iklim yang menyebabkan suhu ekstrem dan curah hujan yang lebih tinggi juga dapat mempercepat proses kerusakan pada struktur perkerasan.

Faktor lain yang turut berperan adalah kerusakan mikro akibat pembebanan berulang, yang meskipun tidak langsung terlihat, dapat mempengaruhi daya tahan perkerasan dalam jangka panjang. Mengingat dinamika kondisi ini, meskipun perkerasan eksisting dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor pada waktu perencanaan, desain alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengakomodasi potensi peningkatan beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Desain alternatif ini bertujuan untuk memastikan perkerasan tetap dapat bertahan dengan baik, mengurangi risiko kerusakan dini, dan memastikan kinerjanya dalam jangka panjang. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Analisis Alternatif 2

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking	Rencana	Evaluasi KENSLAB
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (tahun)	Design Life (tahun)
Alternatif 2	K-400	183,5	2591,823	2124,496	0,599	0,540	2,3	40	40,22

5.1.4 Alternatif 3

Perkerasan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang saat ini telah dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang ada dan mempertimbangkan kondisi lingkungan pada saat perencanaan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, kondisi di lapangan dapat mengalami perubahan yang tidak sepenuhnya tercermin dalam perhitungan awal. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah peningkatan volume lalu lintas, terutama dengan semakin banyaknya kendaraan berat yang melintas, yang dapat memberikan dampak besar terhadap ketahanan perkerasan. Selain itu, perubahan iklim yang menyebabkan suhu ekstrem dan curah

hujan yang lebih tinggi juga dapat mempercepat proses kerusakan pada struktur perkerasan.

Faktor lain yang turut berperan adalah kerusakan mikro akibat pembebanan berulang, yang meskipun tidak langsung terlihat, dapat mempengaruhi daya tahan perkerasan dalam jangka panjang. Mengingat dinamika kondisi ini, meskipun perkerasan eksisting dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor pada waktu perencanaan, desain alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengakomodasi potensi peningkatan beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Desain alternatif ini bertujuan untuk memastikan perkerasan tetap dapat bertahan dengan baik, mengurangi risiko kerusakan dini, dan memastikan kinerjanya dalam jangka panjang. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Hasil Analisis Alternatif 3

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking	Rencana	Evaluasi KENSLAB
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (tahun)	Design Life (tahun)
Alternatif 3	K-400	184	2582,516	2119,989	0,596	0,538	2,3	40	42,73

5.1.5 Alternatif 4

Perkerasan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang saat ini telah dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang ada dan mempertimbangkan kondisi lingkungan pada saat perencanaan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, kondisi di lapangan dapat mengalami perubahan yang tidak sepenuhnya tercermin dalam perhitungan awal. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah peningkatan volume lalu lintas, terutama dengan semakin banyaknya kendaraan berat yang melintas, yang dapat memberikan dampak besar terhadap ketahanan perkerasan. Selain itu, perubahan iklim yang menyebabkan suhu ekstrem dan curah hujan yang lebih tinggi juga dapat mempercepat proses kerusakan pada struktur perkerasan.

Faktor lain yang turut berperan adalah kerusakan mikro akibat pembebanan berulang, yang meskipun tidak langsung terlihat, dapat mempengaruhi daya tahan perkerasan dalam jangka panjang. Mengingat dinamika kondisi ini, meskipun

perkerasan eksisting dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor pada waktu perencanaan, desain alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengakomodasi potensi peningkatan beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Desain alternatif ini bertujuan untuk memastikan perkerasan tetap dapat bertahan dengan baik, mengurangi risiko kerusakan dini, dan memastikan kinerjanya dalam jangka panjang. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Hasil Analisis Alternatif 4

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking	Rencana	Evaluasi KENSLAB
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (tahun)	Design Life (tahun)
Alternatif 4	K-400	184,5	2573,568	2116,16	0,594	0,536	2,3	40	45,29

5.1.6 Alternatif 5

Perkerasan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang saat ini telah dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang ada dan mempertimbangkan kondisi lingkungan pada saat perencanaan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, kondisi di lapangan dapat mengalami perubahan yang tidak sepenuhnya tercermin dalam perhitungan awal. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah peningkatan volume lalu lintas, terutama dengan semakin banyaknya kendaraan berat yang melintas, yang dapat memberikan dampak besar terhadap ketahanan perkerasan. Selain itu, perubahan iklim yang menyebabkan suhu ekstrem dan curah hujan yang lebih tinggi juga dapat mempercepat proses kerusakan pada struktur perkerasan.

Faktor lain yang turut berperan adalah kerusakan mikro akibat pembebanan berulang, yang meskipun tidak langsung terlihat, dapat mempengaruhi daya tahan perkerasan dalam jangka panjang. Mengingat dinamika kondisi ini, meskipun perkerasan eksisting dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor pada waktu perencanaan, desain alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengakomodasi potensi peningkatan beban lalu lintas dan perubahan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Desain alternatif ini bertujuan untuk memastikan perkerasan tetap dapat bertahan dengan baik, mengurangi risiko kerusakan dini, dan memastikan

kinerjanya dalam jangka panjang. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Hasil Analisis Alternatif 5

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking	Rencana	Evaluasi KENSLAB
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (tahun)	Design Life (tahun)
Alternatif 5	K-400	185	2564,535	2111,656	0,592	0,534	2,0	40	48,02

5.2 Pembahasan

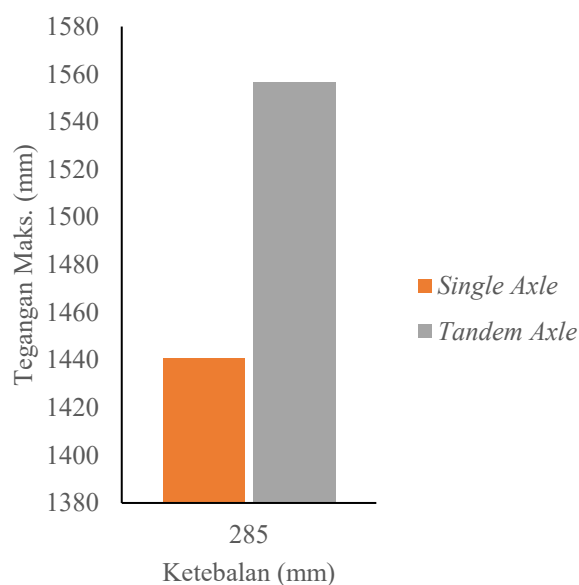
5.2.1 Existing

Kondisi *existing* ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang STA 100+625 merupakan perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan tipe *Jointed Plain Concrete Pavement* (JPCP). Ruas ini berfungsi sebagai jalan arteri nasional yang menghubungkan pusat kegiatan ekonomi di wilayah pesisir utara Jawa Tengah, sehingga memiliki intensitas Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) yang cukup tinggi, terutama dengan dominasi kendaraan berat seperti truk, trailer, dan angkutan logistik lainnya. Tingginya aktivitas kendaraan berat pada ruas ini mengakibatkan beban berulang yang besar terhadap perkerasan, sehingga kondisi struktur harus dievaluasi secara menyeluruh.

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa jalan *existing* memiliki lebar lajur sekitar 5 meter dengan struktur perkerasan berupa pelat beton semen *portland* (PCC) setebal 28,5 cm. Pelat ini didukung oleh lapisan fondasi bawah berupa beton kurus (*lean concrete*) setebal 10 cm, serta tanah dasar (*subgrade*) dengan nilai CBR rata-rata 4%. Ketebalan perkerasan tersebut menandakan bahwa struktur awalnya direncanakan untuk menghadapi beban lalu lintas berat. Namun, nilai CBR yang tergolong rendah menunjukkan bahwa tanah dasar memiliki daya dukung yang terbatas, sehingga memengaruhi kinerja perkerasan dalam jangka panjang.

Kondisi ini mengharuskan dilakukan evaluasi lebih lanjut untuk memastikan bahwa struktur *existing* masih mampu menahan beban lalu lintas aktual sesuai umur rencana. Selain itu, adanya peningkatan jumlah kendaraan berat dari tahun ke tahun membuat analisis tambahan seperti tegangan, lendutan, dan ketahanan retak perlu dilakukan guna menentukan apakah desain perkerasan perlu diperkuat atau diganti

dengan desain baru yang lebih sesuai dengan standar Bina Marga 2024. Dengan evaluasi tersebut, diharapkan struktur perkerasan dapat tetap berfungsi optimal dan memberikan tingkat kenyamanan serta keselamatan yang memadai bagi pengguna jalan.



Gambar 5.2 Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Tegangan Maksimum

Gambar 5.5 menunjukkan hubungan antara ketebalan pelat beton *existing* terhadap tegangan maksimum yang terjadi akibat beban kendaraan dengan konfigurasi *single axle* dan *tandem axle*. Terlihat bahwa pada ketebalan pelat beton sebesar 285 mm, nilai tegangan maksimum akibat beban *tandem axle* lebih tinggi dibandingkan dengan *single axle*. Hal ini menunjukkan bahwa beban ganda (*tandem*) memberikan tekanan yang lebih besar pada pelat beton dibandingkan dengan beban tunggal, meskipun distribusi beban pada permukaan jalan lebih merata.

Beton pada perkerasan *existing* memiliki mutu K-400 dengan modulus elastisitas sekitar $3,9 \times 10^6$ psi dan *modulus of rupture* sebesar 4,5 MPa, yang sudah memenuhi ketentuan minimum Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2024 yang mensyaratkan kuat lentur minimal 4,2 MPa. Pada struktur ini, lapisan fondasi bawah berupa beton kurus setebal 10 cm berfungsi sebagai lapisan peralihan

sekaligus membantu meningkatkan kekakuan sistem, terutama karena tanah dasar memiliki nilai CBR 4% yang menunjukkan daya dukung rendah. Pemilihan beton K-400 dianggap tepat karena kekuatan tekan dan kuat lenturnya lebih tinggi dibanding mutu di bawahnya, sehingga lebih mampu menahan beban lalu lintas berat yang mendominasi ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang. Dengan modulus elastisitas yang besar, beton K-400 dapat mengurangi lendutan pelat dan meminimalkan risiko retak, serta memberikan kemampuan distribusi beban yang lebih baik ke lapisan di bawahnya. Selain itu, mutu ini lebih tahan terhadap beban berulang sehingga umur layanan perkerasan dapat lebih panjang dan sesuai untuk kondisi lapangan yang memiliki beban lalu lintas tinggi.

Secara umum, kinerja struktural perkerasan kaku pada ruas Kudus–Pati–Rembang masih tergolong baik dan layak fungsi. Namun, hasil pengamatan lapangan menunjukkan adanya beberapa jenis kerusakan awal (*minor distress*) yang perlu mendapatkan perhatian, seperti retak halus (*hair crack*), retak melintang (*transverse cracking*), dan retak pinggir (*edge cracking*). Sebagian besar kerusakan tersebut masih bersifat permukaan dan belum mempengaruhi kekuatan struktural pelat beton secara signifikan.

Kerusakan tersebut diduga terjadi akibat beban lalu lintas berat berulang (*repetitive load*) dan perubahan suhu harian (*thermal expansion dan contraction*) yang menyebabkan perbedaan regangan pada permukaan dan bagian bawah *slab*. Hasil analisis simulasi dengan KENPAVE menunjukkan bahwa pelat beton *existing* menghasilkan tegangan maksimum sebesar 2592 kPa dan lendutan sebesar 2,3–2,4 mm, dengan umur rencana teoritis sekitar 40 tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur perkerasan *existing* masih berada dalam batas aman menurut kriteria Bina Marga 2024, meskipun sistem perkerasan telah bekerja mendekati batas kemampuan desain (*fully stressed condition*).

Berdasarkan hasil evaluasi, desain struktur perkerasan *existing* pada ruas Kudus–Pati–Rembang secara umum telah memenuhi ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2024. Hal ini dapat dilihat dari kesesuaian antara kondisi lapangan dengan parameter desain yang diatur dalam pedoman tersebut, antara lain :

1. Ketebalan pelat beton 28,5 cm sesuai dengan rekomendasi minimum untuk jalan arteri nasional dengan tanah dasar CBR rendah (4%).
2. Mutu beton K-400 dan fondasi bawah *lean concrete* 10 cm memenuhi persyaratan kekakuan lapisan perkerasan.
3. Penerapan sistem sambungan (*tie bar* dan *dowel bar*) sudah sesuai dengan panduan Bina Marga, meskipun kondisi aktual menunjukkan penurunan fungsi akibat penuaan material.

Namun demikian, beberapa aspek perlu diperhatikan untuk menjaga kinerja jangka panjang, khususnya terkait pemeliharaan sambungan (*joint maintenance*). Berdasarkan pengamatan lapangan, sebagian *joint sealant* mengalami degradasi, yang dapat menyebabkan infiltrasi air dan mengurangi efisiensi transfer beban antar *slab*. Oleh karena itu, diperlukan tindakan perawatan preventif dan rehabilitasi sambungan secara berkala untuk memastikan kinerja struktural perkerasan tetap optimal hingga akhir umur rencana.

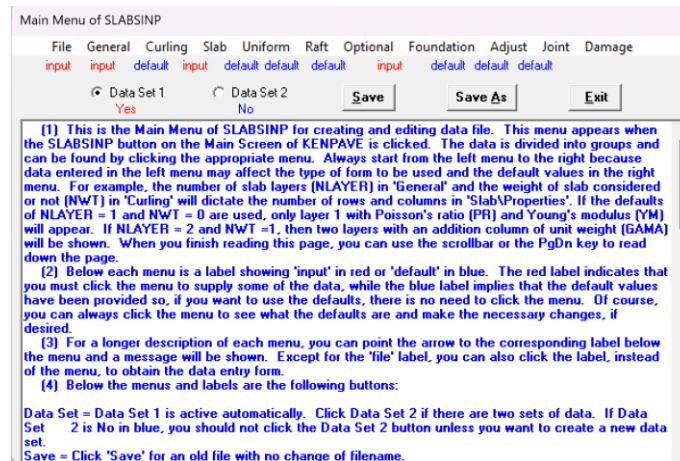
Dari hasil evaluasi teknis dan analisis numerik, dapat disimpulkan bahwa struktur perkerasan kaku *existing* pada Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang STA. 100+625 masih dalam kondisi layak secara struktural dan fungsional. Nilai tegangan dan lendutan yang dihasilkan masih berada di bawah ambang batas izin, dan umur rencana desain masih sesuai dengan ketentuan Bina Marga.

Dengan mempertimbangkan hasil pengamatan, pengujian material, dan hasil analisis numerik, dapat disimpulkan bahwa desain *existing* yang didasarkan pada metode Bina Marga 2024 telah sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Namun, untuk memastikan bahwa ketebalan dan konfigurasi lapisan masih mampu menahan beban lalu lintas proyeksi ke depan, perlu dilakukan evaluasi lanjutan menggunakan pendekatan mekanistik-empiris dengan *software* KENPAVE–KENSLABS. Evaluasi ini akan menentukan apakah struktur *existing* masih dapat dipertahankan atau perlu dilakukan penyesuaian ketebalan pada desain baru yang akan direkomendasikan.

Beberapa parameter yang diperlukan sebagai *input* data ke dalam *software* KENPAVE–KENSLABS untuk memperoleh respons pada struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah sebagai berikut.

1. SLABSINP

Langkah pertama yang dilakukan untuk memulai proses *input* data pada *rigid pavement*, adalah mengeklik menu SLABSINP, ditunjukkan Gambar 5.6.



Gambar 5.3 Tampilan pada Menu SLABSINP

Setelah tampilan menu SLABSINP muncul, langkah berikutnya adalah memilih menu *File*, kemudian klik *New* untuk memulai proses *input* data yang baru.

2. General

Setelah memilih *New*, langkah selanjutnya adalah melakukan *input* data pada menu *General*. Pada menu ini, terdapat beberapa parameter yang perlu dimasukkan sesuai dengan data yang telah diperoleh sebelumnya. Detail nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.7 berikut.

Tabel 5.14 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 <i>slab</i> beton 4 <i>slab</i> dengan joint
NJOINT	4	<i>Joint</i>

Lanjutan Tabel 5.14 *Input Data Menu General*

Notasi	Nilai	Keterangan
NNCK	1	Mengikuti KENSLABS
NPRINT	3	Mengikuti KENSLABS
NSX	0	Mengikuti KENSLABS
NSY	9	Mengikuti KENSLABS
MDPO	0	<i>More Detail Print Out (0 = No.)</i>
NAT 1	0	Tidak ada lapisan tambahan
NNCK	1	Mengikuti KENSLABS
NPRINT	3	Mengikuti KENSLABS
NSX	0	Mengikuti KENSLABS
NSY	9	Mengikuti KENSLABS
MDPO	0	<i>More Detail Print Out (0 = No.)</i>
NAT 1	0	Tidak ada lapisan tambahan
NAT 2	0	Tidak ada lapisan tambahan
NUNIT	1	Satuan standar Internasional (SI)

General Information for Set No. 1

TITLE

Type of foundation (0=liquid, 1=solid, 2=layer)	(NFOUND) 1	Default options are shown by the black dots below. If they are not ok, please click the other button.
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) 1	☒ with uniform load
Bond between two slab layers (0=unbonded, 1=bonded)	(NBOND) 0	☐ without uniform load
Number of slabs	(NSLAB) 4	☐ with temperature curling
Number of joints	(NJOINT) 4	☒ without temperature curling
Nodal number for checking convergence	(NNCK) 1	☐ with concentrated load
Number of nodes for stress printout	(NPRINT) 3	☒ without concentrated load
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) 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) 1	

OK

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of SLABSIMP 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 5.4 Tampilan Data *Input Menu General*

3. Slab

Slab Information memuat pengaturan *slab* dan sambungan (*joint*), termasuk properti beton serta jumlah titik pada koordinat X dan Y. Pada bagian ini, JONO1 hingga JONO4 digunakan untuk menunjukkan posisi sambungan di sekitar pelat, yaitu sisi kiri (JONO1), kanan (JONO2), bawah (JONO3), dan atas (JONO4). Pembagian ini menentukan orientasi sambungan dan respons

struktur pada tiap sisi *slab* saat dianalisis di KENSLAB. Data *input* lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.15, Tabel 5.16, Tabel 5.17, Tabel 5.18.

Tabel 5.15 Pengaturan pada *Slab* dan *Joint*

<i>Slab No</i>	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 5.16 Properti *Slab*

<i>Layer No.</i>	T (cm)	PR	YM (psi)	YM (kPA)
1	28,5	0,15	3916914,419	27006185,858

Tabel 5.17 Koordinat Sumbu X

<i>Sequence</i>	X (cm)
1	0
2	30,48
3	60,96
4	91,44
5	121,92
6	182,88
7	243,84
8	335,28
9	456,72
10	500

Tabel 5.18 Koordinat Sumbu Y

<i>Sequence</i>	Y (cm)
1	0
2	25,4
3	50,8
4	99,06
5	147,32
6	195,58
7	246,38
8	304,8
9	360

4. *Uniform*

Pembebanan pada perkerasan kaku dilakukan berdasarkan titik koordinat pada *slab* beton. Dalam analisis ini, beban lalu lintas dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu *tandem* roda ganda (*tandem axle double tire*). Data *input* pada bagian *uniform load* dapat dilihat pada Tabel 5.19, Tabel 5.20, dan Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Load Group Area

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

Tabel 5.20 Loaded Areas for Load Group No. 1

<i>Load Sequence</i>	LS	XL1 (cm)	XL2 (cm)	YL1 (cm)	YL2 (cm)	QQ (kPa)
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 5.21 Loaded Areas for Load Group No. 2

<i>Load Sequence</i>	LS	XL1 (cm)	XL2 (cm)	YL1 (cm)	YL2 (cm)	QQ (kPa)
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	232,234	246,38	689,5

5. *Optional*

Menu ini akan muncul ketika opsi “Other Information” pada menu “Node Printout” diklik. Jumlah *node* yang ditampilkan sama dengan nilai NP yang telah dimasukkan pada menu “General”. Nilai NP (*Nodal Number*)

merupakan jumlah titik tegangan yang akan dihitung dan dicetak. Untuk analisis kerusakan (*damage analysis*), digunakan $NPRINT = 3$, sehingga program secara otomatis akan menghitung tiga nomor nodal. Model elemen hingga (*finite element mesh*) ini setara dengan SLA4, karena menggunakan empat *slab* beton. Oleh karena itu, analisis dilakukan berdasarkan data pada SLA4 yang melibatkan sambungan (*joint*). Data *input* yang diperlukan pada *Node Printout* dapat dilihat pada Tabel 5.22, Tabel 5.23, dan Tabel 5.24.

Tabel 5.22 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 5.23 Nodes for Printout

<i>Sequence</i>	NP
1	1
2	19
3	37

Tabel 5.24 Nodes Y Symmetry

<i>Sequence</i>	NODSY
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9

6. *Foundation*

Menu *Foundation* akan tampil apabila nilai $NFOUND = 1$, kemudian opsi “Foundation” pada menu SLABSINP diklik dan dilanjutkan dengan memilih *General*. Data *input* pada menu ini dengan nilai CBR sebesar 4% dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut. Parameter fondasi ini berperan penting dalam menentukan kekakuan dan kestabilan struktur perkerasan kaku

terhadap beban lalu lintas. Selain itu, pengaturan yang tepat pada menu ini memastikan hasil analisis mencerminkan kondisi lapangan secara akurat.

Tabel 5.25 Solid Foundation

<i>Young's modulus of subgrade in kPa (YMS)</i>	26400
<i>Poisson's ratio of subgrade (PRS)</i>	0,45

7. *Joint*

Menu ini muncul apabila pada menu *General* diisikan $NSLAB = 4$ dan $NJOINT = 4$. *Input* data menu ini dapat dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Joint of Four Slab

<i>Joint No.</i>	<i>SPCON 1</i>	<i>SPCON 2</i>	<i>SCKV</i>	<i>BD (cm)</i>	<i>BS (cm)</i>	<i>WJ (cm)</i>	<i>GDC (cm)</i>	<i>NNAJ</i>
1 (<i>tie bar</i>)	0	0	271.30	1,60	70	0,50	0	0
2 (<i>dowel</i>)	0	0	271.30	3,80	30	0,50	0	0
3 (<i>tie bar</i>)	0	0	271.30	1,60	70	0,50	0	0
4 (<i>dowel</i>)	0	0	271.30	3,80	30	0,50	0	0

8. *Damage*

Pada *damage analysis*, data *input* menggunakan kriteria dari *Portland Cement Association (PCA, 1984)*. Metode ini bertujuan untuk menentukan jumlah pengulangan beban yang masih dapat diterima oleh perkerasan. Hasil (*output*) dari analisis ini berupa nilai *cracking index*, yang digunakan untuk menentukan umur rencana (*design life*) perkerasan kaku. Sementara itu, *fatigue properties* diperoleh berdasarkan mutu beton yang digunakan dalam analisis, dan volume lalu lintas ditampilkan pada Tabel 5.27 dan Tabel 5.28.

Tabel 5.27 Fatigue Properties

<i>Layer No.</i>	<i>PMR (kPa)</i>
1	3790,342

Tabel 5.28 Volume of Traffic

<i>Load Group</i>	<i>TNLR</i>
1	658
2	0

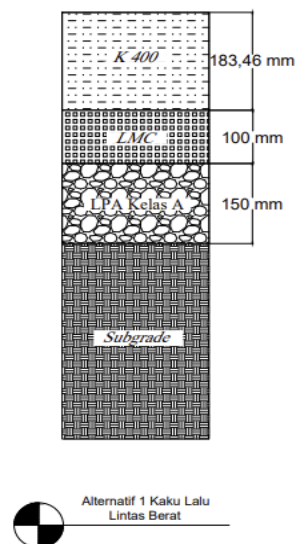
5.2.2 Alternatif 1

Alternatif 1 menggunakan ketebalan pelat beton 183,46 mm dengan mutu beton K-400. Pemilihan mutu K-400 tidak hanya mengacu pada Panduan Perencanaan Perkerasan Kaku Bina Marga (2024), tetapi juga karena mutu ini sesuai dengan mutu beton pada perkerasan *existing*, sehingga analisis desain alternatif tetap konsisten dengan kondisi lapangan. Mutu K-400 direkomendasikan untuk ruas jalan dengan volume lalu lintas besar dan kebutuhan umur rencana panjang, karena memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban berulang kendaraan berat dan mampu mengurangi potensi retak akibat kelelahan selama masa layan. Selain itu, beton K-400 memiliki kekuatan tekan mendekati 40 MPa pada umur 28 hari, sehingga memberikan kekakuan dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan mutu beton yang lebih rendah.

Ketebalan 183,46 mm pada alternatif ini diperoleh melalui proses *trial and error* menggunakan program KENPAVE–KENSLABS untuk mendapatkan ketebalan minimum yang masih memenuhi batas tegangan dan lendutan sesuai kriteria desain. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain ini mampu menahan tegangan maksimum sebesar 2592,478 kPa untuk beban *single axle* dan 2124,753 kPa untuk beban *tandem axle*. Nilai lendutan juga masih berada dalam batas aman, yaitu 0,322 mm pada *single axle* dan 0,300 mm pada *tandem axle*. *Indeks cracking* sebesar 2,4% mengindikasikan bahwa pelat beton masih aman terhadap potensi retak kelelahan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, umur rencana yang diperoleh mencapai 40,05 tahun, sesuai dengan standar umur desain perkerasan kaku Bina Marga 2024.

Meskipun Alternatif 1 memenuhi persyaratan struktural, ketebalan 183,46 mm dinilai kurang praktis untuk diterapkan di lapangan. Ketebalan dengan angka pecahan seperti ini dapat menyulitkan proses pengerjaan, terutama dalam hal sistem bekisting, pengendalian elevasi, dan pelaksanaan pengecoran. Selain itu, angka ketebalan yang tidak sesuai standar pembulatan Bina Marga 2024 dapat mengurangi efisiensi pekerjaan dan menimbulkan ketidakraturan pada permukaan *slab*. Oleh karena itu, meskipun Alternatif 1 layak secara teknis, dibutuhkan pertimbangan alternatif lain dengan ketebalan yang lebih praktis dan sesuai standar konstruksi

agar pelaksanaan di lapangan lebih efektif. Detail konfigurasi dan hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.5 Alternatif 1 Kaku Lalu Lintas Berat

Meskipun demikian, nilai tegangan yang cukup tinggi mengindikasikan bahwa pelat beton bekerja mendekati batas kemampuan lenturnya. Dengan demikian, Alternatif 1 tergolong desain konservatif yang memenuhi persyaratan minimum, namun memiliki margin keamanan yang rendah.

5.2.3 Alternatif 2

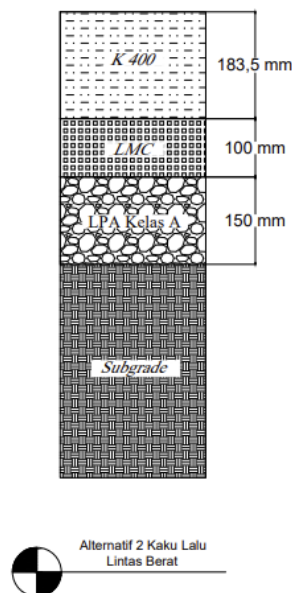
Pada Alternatif 2, ketebalan pelat beton ditingkatkan menjadi 183,5 mm dengan mutu beton K-400. Pemilihan mutu K-400 tidak hanya didasarkan pada ketentuan teknis dalam Panduan Perencanaan Perkerasan Kaku Bina Marga (2024), tetapi juga karena mutu ini merupakan mutu yang digunakan pada perkerasan *existing*, sehingga desain alternatif tetap konsisten dengan kondisi lapangan. Bina Marga merekomendasikan mutu beton tinggi untuk jalan dengan beban lalu lintas besar dan tuntutan umur rencana panjang, sehingga penggunaan K-400 dianggap tepat untuk meningkatkan ketahanan pelat terhadap beban berulang dan mengurangi potensi retak akibat kelelahan.

Beton K-400 yang memiliki kekuatan tekan sekitar 40 MPa pada umur 28 hari memberikan kekakuan struktural yang lebih baik, stabil terhadap perubahan suhu dan kelembapan, serta memiliki deformasi yang rendah. Karakteristik tersebut

membuat perkerasan lebih tahan terhadap kerusakan struktural meskipun menahan beban lalu lintas berat setiap hari.

Ketebalan 183,5 mm pada Alternatif 2 diperoleh melalui proses *trial and error* menggunakan *software* KENPAVE–KENSLABS untuk menemukan ketebalan minimum yang tetap memenuhi batas tegangan dan lendutan sesuai kriteria desain. Hasil analisis menunjukkan tegangan maksimum sebesar 2591,823 kPa untuk beban *single axle* dan 2124,496 kPa untuk beban *tandem axle*, sedangkan lendutan maksimum tercatat sebesar 0,599 mm dan 0,540 mm. Seluruh nilai tersebut masih berada dalam batas yang diizinkan.

Umur rencana pada Alternatif 2 meningkat menjadi 40,22 tahun. Meskipun peningkatan ketebalan hanya 0,04 mm dari alternatif sebelumnya, peningkatan tersebut cukup untuk memberikan sedikit penurunan tegangan dan lendutan. Nilai *index cracking* sebesar 2,3% menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan belum memberikan pengaruh signifikan terhadap ketahanan terhadap kelelahan, namun tetap menunjukkan performa struktural yang lebih baik dan stabil, rincian gambar dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.6 Alternatif 2 Kaku Lalu Lintas Berat

Secara keseluruhan, Alternatif 2 tetap memenuhi kelayakan struktural, namun dari sisi efisiensi desain belum optimal karena peningkatan ketebalan pelat tidak memberikan peningkatan umur layan yang signifikan.

5.2.4 Alternatif 3

Desain Alternatif 3 menggunakan ketebalan pelat beton sebesar 184 mm dengan mutu beton K-400. Pemilihan mutu K-400 tidak hanya mengacu pada pertimbangan teknis dan Panduan Perencanaan Perkerasan Kaku Bina Marga (2024), tetapi juga karena mutu ini sesuai dengan mutu beton pada perkerasan *existing*, sehingga desain alternatif tetap konsisten dengan kondisi lapangan. Pada pedoman tersebut dijelaskan bahwa mutu beton tinggi direkomendasikan untuk jalan dengan beban lalu lintas berat dan umur rencana panjang. Oleh sebab itu, mutu K-400 dipilih agar perkerasan memiliki ketahanan lebih baik terhadap beban berulang serta mampu mengurangi risiko retak akibat kelelahan selama masa layan.

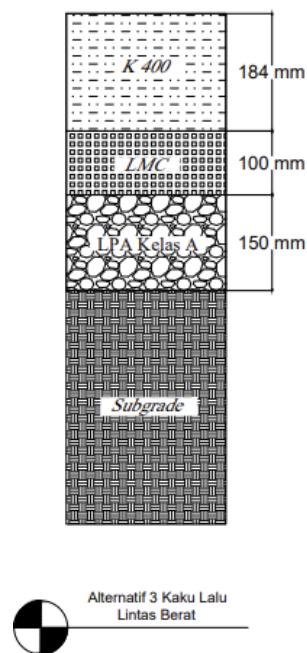
Beton K-400 memiliki kekuatan tekan sekitar 40 MPa pada umur 28 hari, memberikan kekakuan dan kekuatan struktural yang lebih baik dalam menahan beban lalu lintas. Selain itu, mutu beton ini juga memiliki deformasi rendah dan stabilitas yang baik terhadap perubahan suhu maupun kelembapan, sehingga lebih tahan lama dibandingkan dengan beton mutu lebih rendah.

Ketebalan 184 mm pada Alternatif 3 diperoleh melalui proses *trial and error* menggunakan perangkat lunak KENPAVE–KENSLABS untuk mencari ketebalan optimum yang dapat memenuhi batas tegangan dan lendutan sesuai kriteria desain. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi adalah 2582,516 kPa untuk *single axle* dan 2119,989 kPa untuk *tandem axle*. Nilai lendutan maksimum sebesar 0,596 mm pada *single axle* dan 0,538 mm pada *tandem axle* mengindikasikan bahwa risiko kelelahan pelat semakin menurun dibandingkan dua alternatif sebelumnya.

Umur rencana meningkat menjadi 42,73 tahun, atau sekitar 2,5 tahun lebih lama dibandingkan Alternatif 2. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan pelat sebesar 0,5 mm mulai memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kemampuan struktur dalam menahan beban berulang. Dengan hasil ini, Alternatif 3 dapat dikatakan sebagai desain yang memberikan keseimbangan

terbaik antara kekuatan struktural dan efisiensi material. Ketebalan pelat 184 mm juga lebih mudah diterapkan di lapangan karena sudah memenuhi standar pembulatan praktis, sehingga mempermudah proses bekisting, pengecoran, dan pengendalian elevasi.

Secara keseluruhan, Alternatif 3 menunjukkan performa yang lebih stabil dengan nilai tegangan dan lendutan yang masih berada dalam batas aman. Penggunaan mutu K-400 pada ketebalan ini dianggap efisien karena memberikan kekuatan yang memadai, menjaga aspek ekonomis, serta mendukung kemudahan pelaksanaan konstruksi di lapangan. Kondisi ini menjadikan Alternatif 3 sebagai pilihan yang paling seimbang dibandingkan alternatif sebelumnya, baik dari aspek struktural maupun aspek praktis., rincian gambar dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Alternatif 3 Kaku Lalu Lintas Berat

Dengan demikian, Alternatif 3 dapat dikategorikan sebagai desain yang efisien dan representatif karena mampu memberikan peningkatan performa struktural yang signifikan meskipun hanya mengalami penambahan ketebalan yang relatif kecil.

5.2.5 Alternatif 4

Desain Alternatif 4 menggunakan ketebalan pelat beton sebesar 184,5 mm dengan mutu beton K-400. Pemilihan mutu K-400 tidak hanya didasarkan pada ketentuan teknis dalam Panduan Perencanaan Perkerasan Kaku Bina Marga (2024), tetapi juga karena mutu ini sama dengan mutu beton pada perkerasan *existing*, sehingga analisis alternatif tetap konsisten dengan kondisi aktual di lapangan. Dalam pedoman tersebut dijelaskan bahwa mutu beton tinggi direkomendasikan untuk jalan dengan beban lalu lintas besar dan umur rencana panjang. Oleh karena itu, mutu K-400 dipilih untuk meningkatkan ketahanan perkerasan terhadap beban berat berulang serta mengurangi risiko retak akibat kelelahan selama masa layanan.

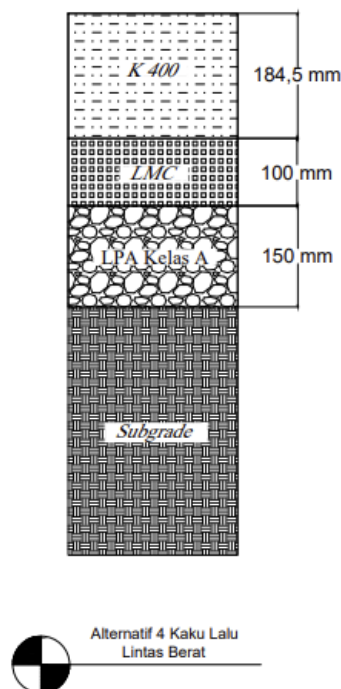
Beton K-400 memiliki kekuatan tekan sekitar 40 MPa pada umur 28 hari, sehingga pelat beton menjadi lebih kaku dan lebih stabil dalam menahan beban kendaraan. Mutu beton ini juga memiliki deformasi yang rendah serta stabil terhadap perubahan suhu dan kelembapan, sehingga lebih tahan lama dibandingkan beton dengan mutu yang lebih rendah.

Ketebalan 184,5 mm pada Alternatif 4 diperoleh melalui proses *trial and error* menggunakan program KENPAVE–KENSLABS untuk menentukan ketebalan optimum yang mampu memenuhi batas tegangan dan lendutan sesuai kriteria desain. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 2573,568 kPa untuk *single axle* dan 2116,16 kPa untuk *tandem axle* tetap berada dalam batas aman. Nilai lendutan maksimum masing-masing sebesar 0,594 mm dan 0,536 mm menunjukkan peningkatan ketahanan pelat terhadap risiko kelelahan struktural.

Umur rencana meningkat menjadi 45,29 tahun, menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan alternatif sebelumnya. Penurunan nilai tegangan dan lendutan yang diikuti peningkatan umur layan menegaskan bahwa Alternatif 4 memiliki kinerja struktural yang stabil dan efisien. Desain ini memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan, ketahanan, dan efisiensi material, sehingga dapat menjadi solusi yang andal untuk jalur dengan beban lalu lintas berat. Selain itu, performa yang konsisten pada pembebanan *single axle* maupun *tandem axle*

membuktikan bahwa pemilihan mutu beton K-400 memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan keandalan perkerasan.

Dengan mempertimbangkan hasil analisis tersebut, Alternatif 4 dapat dikatakan sebagai desain yang memberikan peningkatan performa yang jelas dibandingkan alternatif sebelumnya. Ketebalan 184,5 mm tidak hanya lebih mudah diterapkan di lapangan karena mendekati ketebalan standar pembulatan, tetapi juga memberikan peningkatan umur layan yang signifikan tanpa penambahan material yang berlebihan. Nilai tegangan dan lendutan yang dihasilkan masih berada dalam batas aman, sehingga struktur dianggap mampu menahan beban lalu lintas berat pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang. Penggunaan mutu K-400 pada ketebalan ini dinilai efisien karena memberikan kekuatan yang memadai sekaligus menjaga aspek ekonomis dan kemudahan pelaksanaan di lapangan. Rincian hasil analisis dan representasi visualnya dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.8 Alternatif 4 Kaku Lalu Lintas Berat

Dari sisi teknis maupun ekonomi, Alternatif 4 dapat dikategorikan sebagai desain yang paling optimal karena mampu menghadirkan keseimbangan antara kekuatan struktur, durabilitas, dan efisiensi penggunaan material.

5.2.6 Alternatif 5

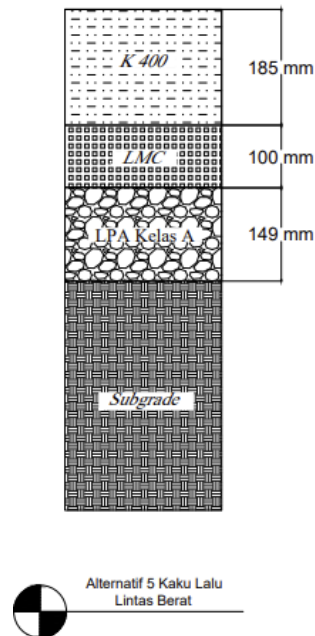
Pada Alternatif 5, ketebalan pelat beton ditingkatkan menjadi 185 mm dengan mutu beton K-400. Pemilihan mutu K-400 tidak hanya berdasarkan pertimbangan teknis dan ketentuan dalam Panduan Perencanaan Perkerasan Kaku Bina Marga (2024), tetapi juga karena mutu ini sama dengan mutu beton pada perkerasan *existing*, sehingga analisis alternatif tetap konsisten dengan kondisi lapangan. Dalam pedoman tersebut dijelaskan bahwa mutu beton tinggi direkomendasikan untuk jalan dengan beban lalu lintas besar serta tuntutan umur rencana yang panjang. Oleh sebab itu, mutu K-400 dipilih agar perkerasan memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap beban berat berulang dan mampu mengurangi risiko retak akibat kelelahan selama masa layanan.

Beton K-400 yang memiliki kekuatan tekan sekitar 40 MPa pada umur 28 hari memberikan kekakuan struktural yang lebih tinggi, membuat pelat beton lebih stabil dalam menahan beban kendaraan. Beton dengan mutu ini juga memiliki deformasi yang rendah serta lebih tahan terhadap perubahan suhu dan kelembapan, sehingga lebih awet dibandingkan beton dengan mutu lebih rendah.

Ketebalan 185 mm pada Alternatif 5 diperoleh melalui proses trial and error menggunakan *software* KENPAVE–KENSLABS untuk mendapatkan ketebalan optimum yang mampu memenuhi batas tegangan dan lendutan sesuai kriteria desain. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 2564,535 kPa untuk *single axle* dan 2111,656 kPa untuk *tandem axle* masih berada dalam batas aman. Nilai lendutan maksimum sebesar 0,592 mm untuk *single axle* dan 0,534 mm untuk *tandem axle* juga menunjukkan bahwa pelat tetap bekerja dalam kondisi stabil dan berada jauh di bawah batas kritis.

Umur rencana yang dihasilkan mencapai 48,02 tahun, yang merupakan peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan alternatif sebelumnya. Secara keseluruhan, Alternatif 5 menunjukkan peningkatan performa struktural yang jelas, dengan nilai tegangan dan lendutan yang semakin kecil serta umur layan yang semakin panjang. Penggunaan mutu beton K-400 pada ketebalan ini dinilai efisien karena memberikan keseimbangan antara kekuatan, ketahanan, dan kemudahan

pelaksanaan di lapangan, rincian gambar nya dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Alternatif 5 Kaku Lalu Lintas Berat

Meskipun Alternatif 3 menunjukkan peningkatan kinerja struktural, tambahan umur layan yang hanya sekitar 2,7 tahun dibandingkan Alternatif 4 tidak sebanding dengan peningkatan kebutuhan material yang cukup besar. Kondisi tersebut menjadikan Alternatif 3 kurang efisien dari sisi konstruksi maupun biaya. Dengan mempertimbangkan aspek kekuatan, umur layanan, serta efisiensi material, Alternatif 5 menjadi pilihan paling optimal dan andal untuk menangani beban lalu lintas berat pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang karena mampu memberikan keseimbangan performa yang lebih baik dibandingkan alternatif lainnya.

5.2.7 Rekapitulasi Hasil Analisis Desain Struktur Perkerasan Kaku

Berdasarkan kondisi lapangan, ruas jalan yang diteliti memang sedang dalam proses perbaikan. Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa umur rencana perkerasan *existing* justru berada dalam kategori *unlimited*, yang berarti tidak sesuai dengan umur rencana standar 40 tahun sebagaimana ditetapkan dalam Bina Marga 2024. Kondisi ini menandakan bahwa ketebalan pelat beton yang terpasang tidak menggambarkan kebutuhan desain yang sesungguhnya, baik secara empiris

maupun mekanistik. Ketidaksesuaian tersebut dapat dipengaruhi oleh pelaksanaan di lapangan yang sering mempertimbangkan kondisi darurat, ketersediaan material, atau keputusan teknis yang tidak sepenuhnya mengikuti pedoman terbaru. Dengan demikian, ketebalan perkerasan yang terpasang tidak dapat dijadikan dasar dalam perhitungan desain.

Melihat kondisi tersebut, diperlukan desain alternatif yang sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2024 dan hasil analisis mekanistik agar umur rencana perkerasan berada pada rentang yang benar. Desain alternatif yang diusulkan menggunakan mutu beton K-400 dengan ketebalan pelat sesuai perhitungan sehingga struktur perkerasan dapat bekerja optimal selama umur rencana 40 tahun. Desain baru ini diharapkan dapat mencegah kerusakan dini, meningkatkan mutu pekerjaan perbaikan, serta memperpanjang umur layanan jalan secara efisien. Selain itu, temuan ini perlu segera disampaikan kepada pihak PUPR agar pekerjaan perbaikan yang belum dilaksanakan dapat disesuaikan dengan ketebalan dan desain yang direkomendasikan, sehingga tidak terjadi penerapan desain yang keliru pada tahap pembangunan selanjutnya.

Hasil evaluasi ini juga menegaskan pentingnya keterpaduan antara standar perencanaan dan kondisi aktual di lapangan. Ketidaksesuaian antara ketebalan perkerasan *existing* dan ketentuan desain menunjukkan bahwa proses konstruksi jalan tidak dapat hanya mengandalkan pengalaman empiris atau kebiasaan teknis di lapangan, tetapi harus mengikuti pendekatan perhitungan yang terukur agar struktur dapat bekerja sesuai fungsi yang diharapkan. Perancangan ulang melalui desain alternatif memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai kebutuhan struktur perkerasan untuk menangani beban lalu lintas berat secara efektif. Dengan analisis yang terukur, setiap peningkatan ketebalan pelat dapat dievaluasi dampaknya terhadap tegangan, lendutan, dan umur layan, sehingga keputusan yang diambil lebih akurat dan tidak hanya bergantung pada perkiraan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan rekomendasi teknis, tetapi juga menegaskan perlunya pengawasan dan verifikasi desain yang lebih ketat dalam setiap tahap pekerjaan perbaikan jalan.

Rekapitulasi hasil analisis ini disusun untuk menyajikan secara ringkas dan sistematis hasil perhitungan dari setiap alternatif desain struktur perkerasan kaku yang telah dibahas pada subbab sebelumnya. Setiap alternatif dievaluasi berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu tegangan maksimum, lendutan maksimum, nilai *index cracking*, serta umur rencana (*design life*). Seluruh parameter tersebut diperoleh melalui perhitungan menggunakan Metode Bina Marga 2024 dan analisis mekanistik dengan bantuan *software* KENPAVE–KENSLABS.

Pengaruh ketebalan pelat beton terhadap respons struktural perkerasan kaku, dilakukan analisis visualisasi data dalam bentuk grafik hubungan antara ketebalan pelat beton dengan tegangan maksimum, lendutan maksimum, dan umur rencana perkerasan. Visualisasi ini bertujuan untuk menunjukkan pola hubungan mekanistik yang terjadi akibat variasi ketebalan pelat terhadap perilaku struktural perkerasan kaku yang dianalisis menggunakan *software* KENPAVE–KENSLABS.

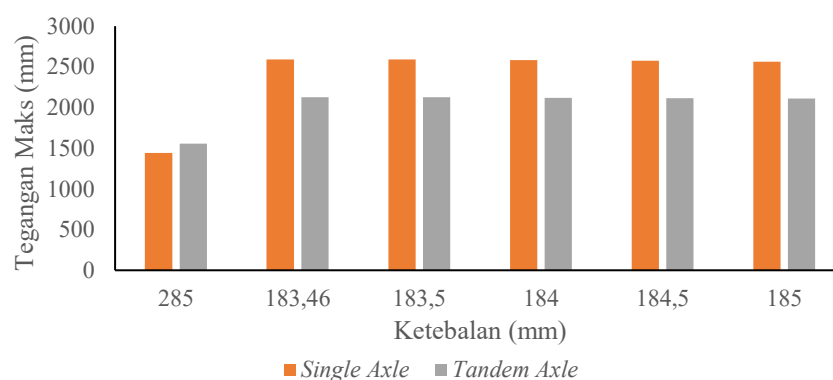
Grafik-grafik tersebut menyajikan *trend* perubahan nilai tegangan, lendutan, dan umur rencana seiring dengan bertambahnya ketebalan pelat beton. Melalui pendekatan ini, dapat diketahui seberapa besar peningkatan ketebalan pelat memengaruhi penurunan tegangan dan lendutan maksimum, serta peningkatan umur rencana pada struktur perkerasan kaku.

Analisis grafik ini juga menjadi dasar dalam menentukan ketebalan pelat optimum yang mampu memberikan keseimbangan antara daya dukung struktural dan efisiensi penggunaan material, sehingga hasil perencanaan sesuai dengan standar desain Bina Marga 2024.

1. Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Tegangan Maksimum

Grafik hubungan antara ketebalan pelat beton terhadap tegangan maksimum menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan pelat beton, maka tegangan lentur maksimum pada lapisan bawah pelat semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekakuan struktural (*structural rigidity*) perkerasan kaku seiring bertambahnya ketebalan pelat, sehingga beban lalu lintas dapat terdistribusi lebih merata ke lapisan fondasi bawah dan tanah dasar. Sesuai dengan teori perkerasan kaku (*rigid pavement theory*), yang

menyatakan bahwa pelat beton yang lebih tebal memiliki modulus kekakuan (*flexural stiffness*) lebih tinggi dan mampu menahan beban lentur dengan lebih baik, sehingga tegangan tarik dan risiko retak akibat kelelahan (*fatigue cracking*) dapat berkurang. Pelat beton yang lebih tebal memiliki ketahanan struktural yang lebih baik terhadap beban lalu lintas berulang. Berikut merupakan Gambar 5.13 grafik Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Tegangan Maksimum.



Gambar 5.10 Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Tegangan Maksimum

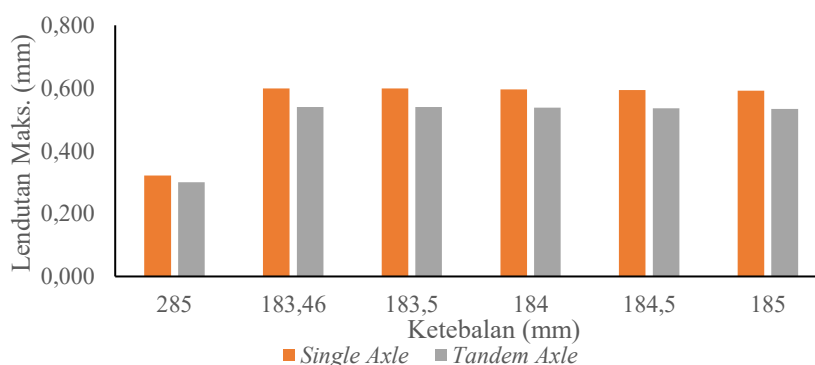
Gambar 5.13 menunjukkan bahwa semakin tebal pelat beton, nilai tegangan maksimum pada beban *single axle* maupun *tandem axle* semakin menurun. Tegangan maksimum pada *single axle* lebih tinggi dibandingkan *tandem axle* karena beban bekerja pada satu titik tumpu, sehingga tekanan lebih terpusat. Sebaliknya, *tandem axle* membagi beban pada dua sumbu roda sehingga distribusi tekanannya lebih merata dan tegangan menjadi lebih kecil. Selain itu, ketebalan pelat beton berpengaruh langsung terhadap kekakuan struktur; pelat dengan ketebalan 285 mm menghasilkan tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan pelat yang lebih tipis karena mampu menyebarkan beban kendaraan secara lebih luas. Pelat yang lebih tipis menimbulkan tegangan lebih besar akibat kapasitas penahan beban yang lebih lemah. Hal ini sesuai dengan prinsip perkerasan kaku bahwa semakin kuat dan kaku suatu pelat, maka tegangan yang terjadi akan semakin kecil, sedangkan pelat yang lebih lemah menerima tegangan lebih besar. Meskipun ketebalan pelat beton

285 mm menghasilkan nilai tegangan maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan ketebalan pelat lainnya, hal ini tidak serta-merta berarti umur rencana perkerasan tersebut dapat dianggap "unlimited". Hasil "unlimited" yang diperoleh dalam simulasi lebih mencerminkan kondisi ideal yang tidak memperhitungkan faktor-faktor dunia nyata seperti kerusakan mikro, pembebanan berulang, dan perubahan kondisi lingkungan yang dapat mempercepat degradasi perkerasan. Penurunan tegangan pada ketebalan pelat beton yang lebih tinggi, meskipun memberikan kinerja yang lebih stabil dalam kondisi simulasi, tidak mengindikasikan bahwa struktur perkerasan akan bertahan tanpa kerusakan dalam jangka panjang. Seiring dengan bertambahnya ketebalan pelat beton, kekakuan struktural meningkat, yang mengakibatkan distribusi beban yang lebih merata dan penurunan tegangan maksimum. Namun, ketebalan pelat yang terlalu besar tidak selalu efisien dalam mendukung kinerja jangka panjang, karena pemborosan material yang tidak proporsional terhadap peningkatan performa. Dalam konteks ini, ketebalan pelat 285 mm, meskipun menurunkan tegangan, tidak memberikan peningkatan signifikan pada ketahanan perkerasan dibandingkan dengan ketebalan lainnya, seperti pada ketebalan 185 mm yang memberikan umur rencana lebih realistis dan sesuai dengan proyeksi lalu lintas yang terus meningkat. Dengan demikian, meskipun perhitungan KENSLAB menunjukkan umur rencana "unlimited" untuk ketebalan 285 mm, hasil ini perlu ditinjau ulang. Desain perkerasan yang lebih optimal, dengan ketebalan yang lebih realistis (seperti 185 mm), akan lebih efisien dalam mengatasi kerusakan yang terjadi akibat beban lalu lintas dan perubahan lingkungan, sambil memastikan umur rencana yang lebih sesuai dengan kondisi lapangan dan kebutuhan pemeliharaan jangka panjang. Penting pula dibedakan antara tegangan yang terjadi (*actual stress*) dan tegangan izin (*allowable stress*), tegangan izin adalah batas maksimum yang boleh diterima sesuai mutu beton, sedangkan tegangan yang terjadi adalah nilai nyata akibat beban lalu lintas. Selama tegangan aktual masih berada di bawah tegangan izin, pelat dianggap aman dan bekerja dalam batas elastisnya. Hasil ini sejalan dengan teori pada

Bina Marga 2024 bahwa peningkatan ketebalan pelat meningkatkan kekakuan perkerasan dan menurunkan tegangan maksimum, sehingga risiko retak lentur dapat diminimalkan. Meski selisih tegangan antara ketebalan 183 mm hingga 185 mm tidak terlalu besar, tren penurunan tetap terlihat, menunjukkan adanya *diminishing effect* ketika ketebalan bertambah. Oleh karena itu, penentuan ketebalan optimum harus mempertimbangkan efisiensi biaya, kemampuan struktural, umur rencana, serta kemudahan pelaksanaan. Secara keseluruhan, peningkatan ketebalan pelat memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan tegangan maksimum baik untuk *single axle* maupun *tandem axle*, di mana pelat 28,5 cm menunjukkan kinerja terbaik, namun ketebalan 18–20 cm masih dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih praktis untuk kondisi lalu lintas berat di ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang.

2. Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Lendutan Maksimum

Grafik kedua menunjukkan hubungan antara ketebalan pelat beton dengan lendutan maksimum yang terjadi akibat beban roda kendaraan yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.11 Hubungan Ketebalan Pelat Beton terhadap Lendutan Maksimum

Gambar 5.14 menunjukkan hubungan antara ketebalan pelat beton dengan lendutan maksimum akibat beban lalu lintas. Dari grafik terlihat bahwa semakin besar ketebalan pelat beton, maka nilai lendutan maksimum yang terjadi semakin kecil. Hal ini berkaitan dengan meningkatnya kekakuan pelat,

sehingga beban kendaraan dapat disalurkan ke lapisan bawah secara lebih merata dan deformasi struktural semakin berkurang. Lendutan pada beban *single axle* juga terlihat lebih tinggi dibandingkan *tandem axle*, karena *single axle* memberikan tekanan terpusat pada satu titik, sedangkan *tandem axle* membagi beban pada dua titik sehingga deformasi yang terjadi lebih kecil.

Pada pelat beton setebal 285 mm, lendutan dan tegangan yang terjadi merupakan yang paling kecil karena pelat memiliki kekakuan struktural yang jauh lebih tinggi dan mampu mendistribusikan beban ke fondasi secara lebih efektif. Kondisi ini membuat respons struktur menjadi sangat ringan, sehingga analisis menghasilkan prediksi umur rencana yang sangat besar hingga muncul nilai “unlimited”. Sementara itu, pelat dengan ketebalan 183–185 mm menunjukkan lendutan dan tegangan yang lebih tinggi karena ketebalan berada pada batas ketahanan struktural terhadap beban berat. Akibatnya, pelat mengalami peningkatan tegangan tarik dasar dan lendutan, sehingga umur rencana yang diperoleh berada pada kisaran sekitar 40 tahun, sesuai batasan kelelahan (*fatigue*) material. Dengan demikian, nilai “unlimited” pada ketebalan 285 mm bukan berarti pelat akan bertahan selamanya, melainkan merupakan hasil simulasi dalam kondisi ideal ketika tegangan dan lendutan berada jauh di bawah ambang kerusakan. Sebaliknya, ketebalan yang lebih tipis tetapi masih memenuhi standar memberikan umur rencana yang lebih realistis untuk kondisi lapangan yang dipengaruhi oleh beban berulang, variasi kendaraan, serta perubahan lingkungan.

3. Interpretasi Umum Grafik

Berdasarkan Gambar 5.14 dapat terlihat bahwa :

- a. Ketebalan pelat beton berpengaruh langsung terhadap penurunan tegangan maksimum dan lendutan yang terjadi pada perkerasan kaku.
- b. Pelat beton yang lebih tebal mampu menahan beban lalu lintas dengan lebih baik karena memiliki kekakuan dan daya dukung yang lebih tinggi.
- c. Peningkatan ketebalan pelat juga berdampak positif terhadap umur rencana perkerasan, di mana semakin tebal pelat beton, umur rencana yang dihasilkan semakin panjang.

- d. Peningkatan paling signifikan terjadi antara ketebalan 18,35–18,45 cm, sedangkan di atas 18,45 cm peningkatan kinerja relatif kecil dibandingkan penambahan material yang dibutuhkan.
- e. Dengan mempertimbangkan faktor teknis dan efisiensi biaya, ketebalan pelat 18,5 cm (Alternatif 5) merupakan desain paling efisien dan optimal untuk ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang STA. 100+625.

Berdasarkan analisis perkerasan kaku menggunakan metode Bina Marga 2024, diperoleh hasil perhitungan tebal pelat beton sebesar 28,5 cm dengan mutu beton K400 dan umur rencana (*design life*) selama 40 tahun. Setelah dilakukan evaluasi menggunakan *software* KENPAVE–KENSLABS, diperoleh hasil tebal pelat dari proses *running* sebesar 18,5 cm. Perbandingan antara tebal pelat hasil perhitungan manual dan hasil analisis *software* ditampilkan pada Tabel 5.29 berikut.

Tabel 5.29 Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku dari *Software*

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	Maks. Stress (kPa)		Maks. Deflection (mm)		Index Cracking	Rencana	Evaluasi KENSLABS
			Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		Design Life (tahun)	Design Life (tahun)
Bina Marga	K-400	285	1440,762	1556,659	0,322	0,300	0	40	Unlimited
Alternatif 1	K-400	183,46	2592,478	2124,753	0,599	0,540	2,4	40	40,05
Alternatif 2	K-400	183,5	2591,823	2124,496	0,599	0,540	2,3	40	40,22
Alternatif 3	K-400	184	2582,516	2119,989	0,596	0,538	2,3	40	42,73
Alternatif 4	K-400	184,5	2573,568	2116,16	0,594	0,536	2,3	40	45,29
Alternatif 5	K-400	185	2564,535	2111,656	0,592	0,534	2,0	40	48,02

Rekapitulasi ini disajikan dalam bentuk tabel agar memudahkan proses perbandingan kinerja struktural antar alternatif desain. Hasil rekapitulasi ini juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan alternatif desain yang paling optimal, yaitu desain yang mampu memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan struktural, daya tahan perkerasan, dan efisiensi biaya konstruksi, yang dapat dilihat pada Tabel 5.30 sebagai berikut.

Analisis perbandingan antar alternatif dilakukan untuk menilai sejauh mana perubahan ketebalan pelat beton berpengaruh terhadap kinerja struktural dan efisiensi desain perkerasan kaku. Dari hasil analisis menggunakan metode Bina Marga 2024 yang divalidasi dengan *software* KENPAVE–KENSLABS, diperoleh

bahwa peningkatan ketebalan pelat beton secara konsisten mampu menurunkan nilai tegangan dan lendutan maksimum, serta meningkatkan umur rencana perkerasan. Namun, hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan tersebut tidak selalu sebanding dengan efisiensi biaya konstruksi. Dengan kata lain, hubungan antara peningkatan ketebalan dan peningkatan performa tidak bersifat linier. Setelah mencapai ketebalan tertentu, tambahan material tidak lagi memberikan peningkatan kinerja yang signifikan terhadap daya tahan perkerasan. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan ketebalan pelat tidak hanya bergantung pada kekuatan struktural, tetapi juga harus mempertimbangkan aspek keekonomian. Oleh sebab itu, rekapitulasi umur layan menjadi bagian penting dalam menentukan alternatif yang paling rasional untuk diterapkan di lapangan. Rekapitulasi umur layan dapat dilihat pada Tabel 5.30 sebagai berikut.

Tabel 5.30 Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan

Perkerasan Kaku	<i>Cracking</i> (tahun)
Kaku Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024	1000 >
Alternatif Kaku Lalu Lintas Berat	48

Dari lima alternatif desain yang dianalisis, Alternatif 5 dengan ketebalan pelat beton 185 mm dinilai sebagai desain paling efisien. Alternatif ini memiliki umur rencana mencapai 48,02 tahun, yang melebihi standar desain minimum 40 tahun, serta menunjukkan nilai tegangan dan lendutan maksimum yang masih berada di bawah batas izin. Selain itu, Alternatif 5 juga dinilai paling seimbang dari segi teknis dan ekonomis, karena mampu mempertahankan efisiensi material tanpa menyebabkan *overdesign*. Dengan demikian, hasil evaluasi menyimpulkan bahwa Alternatif 5 merupakan pilihan desain perkerasan kaku yang paling layak diterapkan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang STA. 100+625, karena memberikan kinerja struktural yang optimal, umur layan yang panjang, dan efisiensi biaya yang baik berdasarkan hasil analisis mekanistik dan empiris.

Menurut Herjuno (2023), semakin tebal pelat beton yang digunakan, umur layan perkerasan kaku memang akan semakin panjang. Namun, ia juga menjelaskan bahwa efisiensi desain jalan tidak hanya ditentukan oleh ketebalan pelat saja, tetapi

juga oleh mutu beton, kondisi tanah dasar, serta besar beban lalu lintas yang direncanakan. Pelat yang terlalu tebal justru bisa membuat desain menjadi kurang efisien karena biaya material meningkat, sementara tambahan umur layan yang didapat tidak terlalu besar. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang, di mana pelat beton dengan ketebalan 18,5 cm dinilai paling efisien karena memberikan kinerja terbaik dengan biaya yang masih wajar. Temuan ini juga menunjukkan bahwa meskipun pengurangan ketebalan pelat dapat menurunkan umur layan perkerasan, desain yang dihasilkan justru menjadi lebih efisien dan efektif sesuai dengan umur rencana yang diharapkan. Selain itu, penggunaan pelat beton yang lebih tipis memberikan keuntungan dalam hal efisiensi material dan penghematan biaya konstruksi tanpa mengurangi kinerja struktur secara signifikan.

Pendekatan yang sama juga dilakukan oleh Qisthi dan Kushari (2019), yang membandingkan hasil desain berdasarkan metode Bina Marga dengan desain alternatif menggunakan pelat beton yang lebih tipis. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa desain alternatif tetap efektif, karena kerusakan perkerasan baru terjadi mendekati akhir umur rencana. Sementara itu, penelitian Ilpandari (2018) juga mendukung hasil ini, di mana variasi ketebalan pelat beton terbukti memengaruhi nilai tegangan dan lendutan maksimum. Dengan demikian, pemilihan ketebalan yang tepat dapat menghasilkan umur layan yang lebih realistis, efisien, dan optimal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap desain perkerasan kaku pada Ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis KENSLABS, umur rencana perkerasan existing berada pada kategori *unlimited*. Namun, hasil tersebut tidak dapat langsung dijadikan acuan karena diperoleh dari kondisi simulasi ideal yang tidak sepenuhnya mencerminkan variabilitas lapangan, seperti peningkatan beban lalu lintas, ketidakpastian kondisi tanah dasar, dan potensi kerusakan mikro akibat pembebanan berulang. Perkerasan *existing* pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang tidak sepenuhnya mencerminkan kebutuhan struktural yang sesuai standar desain. Ketebalan perkerasan yang terpasang menghasilkan umur rencana yang berada pada kategori *unlimited*, yang menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara pelaksanaan konstruksi dan ketentuan desain menurut Bina Marga 2024. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur perkerasan *existing* tidak direpresentasikan secara akurat berdasarkan beban lalu lintas dan karakteristik lapisan fondasi yang ada, sehingga tidak dapat dijadikan acuan dalam perhitungan desain ulang. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi mekanistik dan desain alternatif untuk memastikan umur layanan jalan lebih realistis dan sesuai standar.
2. Hasil analisis menggunakan *software* KENPAVE–KENSLABS menunjukkan bahwa setiap variasi ketebalan pelat beton menghasilkan respons struktural yang berbeda, di mana pelat yang lebih tipis mengalami tegangan dan lendutan yang lebih tinggi. Tegangan maksimum terbesar muncul pada ketebalan sekitar 183 mm, sedangkan penambahan ketebalan secara bertahap menurunkan tegangan dan lendutan karena meningkatnya kekakuan pelat dalam mendistribusikan beban. Pada desain alternatif dengan ketebalan

terbesar, yaitu 185 mm, tegangan maksimum berada pada kisaran 2564,535 – 2111,656 kPa dan lendutan maksimum sebesar 0,592–0,534 mm untuk kondisi *single axle* dan *tandem axle*. Seluruh nilai ini masih berada dalam batas aman menurut kriteria desain perkerasan kaku, sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan ketebalan pelat berkontribusi langsung terhadap peningkatan stabilitas dan ketahanan struktur terhadap beban lalu lintas.

3. Berdasarkan hasil perbandingan seluruh alternatif desain, Alternatif 5 dengan ketebalan pelat 185 mm dan mutu beton K-400 terbukti memberikan performa paling optimal. Alternatif ini menghasilkan tegangan dan lendutan paling rendah, disertai nilai *index cracking* yang kecil, sehingga menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap potensi retak dan kelelahan material. Selain itu, umur rencana mencapai 48,02 tahun, menjadikannya yang tertinggi dibandingkan alternatif lainnya. Peningkatan ketebalan pada Alternatif 5 memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan struktural, durabilitas, dan efisiensi material, sehingga mampu memberikan respons mekanistik yang stabil terhadap beban lalu lintas berat. Dengan mempertimbangkan seluruh parameter tersebut, Alternatif 5 direkomendasikan sebagai desain perkerasan kaku yang paling andal dan sesuai untuk diterapkan pada ruas Jalan Kudus–Pati–Rembang.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang telah diperoleh dalam penelitian ini, maka beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian maupun penerapan hasil di lapangan adalah sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan perkerasan kaku, perlu dilakukan analisis menyeluruh terhadap kondisi tanah dasar, lalu lintas rencana, dan mutu beton, karena faktor-faktor tersebut sangat memengaruhi hasil desain akhir.
2. Penentuan ketebalan pelat beton sebaiknya mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan struktur dan efisiensi biaya, agar desain yang

dihasilkan tidak berlebihan tetapi tetap aman digunakan sepanjang umur rencana.

3. Untuk penelitian berikutnya, disarankan melakukan analisis perbandingan dengan variasi mutu beton atau jenis tulangan agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap ketahanan retak dan efisiensi biaya. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat mengkaji pengaruh kondisi lingkungan dan drainase terhadap kinerja jangka panjang perkerasan kaku.
4. Dalam proses perencanaan, penggunaan perangkat lunak seperti KENPAVE–KENSLABS perlu dijadikan bagian dari tahapan validasi desain. Hasil simulasi yang lebih detail dapat membantu memastikan bahwa nilai tegangan dan lendutan maksimum berada dalam batas aman, sekaligus meminimalkan risiko kegagalan struktur di lapangan.
5. Disarankan agar desain perkerasan dievaluasi kembali secara berkala berdasarkan data lalu lintas aktual (JSKN atau HVAG). Hal ini penting karena perubahan pola lalu lintas dan beban kendaraan dapat memengaruhi umur layan struktur. Penyesuaian desain akan membantu menjaga keandalan dan efisiensi konstruksi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Z. A. dan Susilo, B. H., 2023. Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program *Software* Kenpave. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, 01(01), pp. 96-105.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
- Ditya, H. Y. P., Hartatik, N. dan Mawariz, P. S., 2024. Analisis Kerusakan Jalan pada Ruas Jalan Raya Ring Road Mojoagung dengan Metode Bina Marga. *Indonesian Research Journal on Education*, 04(04), pp. 3239 - 3245.
- Fatikasari, A. D., Puspitasari, N. D. dan Wardhani, . P. C., 2021. *Analisis Tebal Konstruksi Perkerasan Jalan Untuk Menangani Kerusakan Jalan Dengan Metode Aashto (Studi Kasus: Jalan Raya Cangkring)*. Jawa Timur, INTAKINDO JATIM, pp. 28-37.
- Google Maps, 2025. Peta Ruas Jalan Kudus - Pati – Rembang STA. 100+625. [Online] Tersedia pada: <https://maps.app.goo.gl/y5jAESoMkiU5Vj8z8> [Diakses Januari 2025].
- Hafizhan, K. (2018) *Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Pekanbaru–Siak Km 12–14 di Riau dengan Metode Bina Marga 2013*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Tersedia pada: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/12841> (Diakses: 27 November 2025).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia No. 09/ P/ BM/ 2023*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024. *Manual Desain Perkerasan Jalan No. 03/M/BM/2024*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kurniawan, D. dan Hadi, M. A., 2024. Kolaborasi Metode Empiris dan Mekanistik-Empiris Guna Identifikasi dan Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 14(02), pp. 373-386.

- Lisya, M., Abdillah, N. dan W, D. D., 2023. Evaluasi Desain Tebal Lapis Perkerasan Ditinjau Dari Daya Dukung Subgrade. *JTS : Jurnal Teknik Sipil*, 04(01), pp. 460-468.
- Putra, J. dan Tajudin, A. N., 2021. Desain Ulang dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Pantura Ruas Tangerang-Serang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 04(01), pp. 23-32.
- Qisthi, M. dan Kushari, B., 2019. Pengaruh Variasi Tebal dan Mutu Beton Terhadap Respons Struktural Perkerasan Kaku. *Jurnal Transportasi*, 19(01), pp. 1-10.
- Santosa, R., Sujatmiko, B. dan Krisna, F. A., 2021. Analisis Kerusakan Jalan Menggunakan Metode PCI dan Metode Bina Marga (Studi Kasus Jalan Ahmad Yani Kecamatan Kapas Kabupaten Bojonegoro). *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 04(02), pp. 104-111.
- Saragih, D. S., Tarigan, I. M. dan Rinaldi, A., 2021. Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan Tol Tebing Tinggi–Serbelawan Berdasarkan Metode Bina Marga 2017 dan PCA. *Jurnal Santeksipil*.
- Sarwedi, Dermana, I. dan Irawan, A., 2025. Analisis Perencanaan Perkerasan Kaku Dengan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Bina Marga 2017. *JPS : Jurnal Planologi dan Sipil*, 07(02), pp. 47-60.
- Sidabutar, R.A., Saragi, Y.R., Pasaribu, H., Pardede, M. & Hutabarat, T. (2021). Evaluasi Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) pada Jalan SM Raja Medan dengan Metode Bina Marga. *Jurnal Visi Eksakta (JVIEKS)*, 2(2), pp. 215–224..
- Zohri, S., Sutrisno, W. dan 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*, 04(01), pp. 33-41.

LAMPIRAN

**Lampiran 1 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku
Existing Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024**

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Analisis Sambungan Rigid Trial 1.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -sambungan

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 <i>SLABS</i> (NSLAB)	=	4
TOTAL NUMBER OF JOINTS (NJOINT)	=	4

ARRANGEMENT OF *SLABS*

SLAB NO. NODES (NX) NO. NODES (NY) 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)-----= 0.001
 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))-----=
 4279.471

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER NO.	THICKNESS (T)	POISSON'S RATIO (PR)	YOUNG'S MODULUS (YM)
1	28.50000	0.15000	2.701E+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:

<i>SLAB</i> NO.	X COORDINATES (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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:

<i>SLAB</i> NO.	X COORDINATES (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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	245.38000	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) = 26400

POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) = 0.45

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

POISSON'S RATIO OF *DOWEL BAR* (PRSB) = 0.30000

JOINT SPRING CONSTANT MODULUS OF DOWEL DOWEL JOINT
GAP NODE

NO. SHEAR MOMENT DOWEL SUP. DIA. SPACING WIDTH DOWEL
JOINT

	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0

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

658 0

JOINT NO. EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)

JOINT NO. 1 EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON) = 3.910E+00

JOINT NO. 2 EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON) = 4.321E+01

JOINT NO. 3 EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON) = 3.910E+00

JOINT NO. 4 EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON) = 4.321E+01

THE GLOBAL COORDINATES (XO AND YO) OF EACH NODE ARE:

1	0.000	0.000	2	0.000	25.400	3	0.000	50.800
4	0.000	99.060	5	0.000	147.320	6	0.000	195.580
7	0.000	246.380	8	0.000	304.800	9	0.000	360.000
10	30.480	0.000	11	30.480	25.400	12	30.480	50.800
13	30.480	99.060	14	30.480	147.320	15	30.480	195.580
16	30.480	246.380	17	30.480	304.800	18	30.480	360.000
19	60.960	0.000	20	60.960	25.400	21	60.960	50.800
22	60.960	99.060	23	60.960	147.320	24	60.960	195.580
25	60.960	246.380	26	60.960	304.800	27	60.960	360.000
28	91.440	0.000	29	91.440	25.400	30	91.440	50.800
31	91.440	99.060	32	91.440	147.320	33	91.440	195.580
34	91.440	246.380	35	91.440	304.800	36	91.440	360.000
37	121.920	0.000	38	121.920	25.400	39	121.920	50.800
40	121.920	99.060	41	121.920	147.320	42	121.920	195.580
43	121.920	246.380	44	121.920	304.800	45	121.920	360.000
46	182.880	0.000	47	182.880	25.400	48	182.880	50.800
49	182.880	99.060	50	182.880	147.320	51	182.880	195.580
52	182.880	246.380	53	182.880	304.800	54	182.880	360.000
55	243.840	0.000	56	243.840	25.400	57	243.840	50.800
58	243.840	99.060	59	243.840	147.320	60	243.840	195.580
61	243.840	246.380	62	243.840	304.800	63	243.840	360.000
64	355.280	0.000	65	355.280	25.400	66	355.280	50.800

67	355.280	99.060	68	355.280	147.320	69	355.280	195.580
70	355.280	246.380	71	355.280	304.800	72	355.280	360.000
73	456.720	0.000	74	456.720	25.400	75	456.720	50.800
76	456.720	99.060	77	456.720	147.320	78	456.720	195.580
79	456.720	246.380	80	456.720	304.800	81	456.720	360.000
82	500.000	0.000	83	500.000	25.400	84	500.000	50.800
85	500.000	99.060	86	500.000	147.320	87	500.000	195.580
88	500.000	246.380	89	500.000	304.800	90	500.000	360.000
91	0.000	360.000	92	0.000	385.400	93	0.000	410.800
94	0.000	459.060	95	0.000	507.320	96	0.000	555.580
97	0.000	606.380	98	0.000	664.800	99	0.000	720.000
100	30.480	360.000	101	30.480	385.400	102	30.480	410.800
103	30.480	459.060	104	30.480	507.320	105	30.480	555.580
106	30.480	606.380	107	30.480	664.800	108	30.480	720.000
109	60.960	360.000	110	60.960	385.400	111	60.960	410.800
112	60.960	459.060	113	60.960	507.320	114	60.960	555.580
115	60.960	606.380	116	60.960	664.800	117	60.960	720.000
118	91.440	360.000	119	91.440	385.400	120	91.440	410.800
121	91.440	459.060	122	91.440	507.320	123	91.440	555.580
124	91.440	606.380	125	91.440	664.800	126	91.440	720.000
127	121.920	360.000	128	121.920	385.400	129	121.920	410.800
130	121.920	459.060	131	121.920	507.320	132	121.920	555.580
133	121.920	606.380	134	121.920	664.800	135	121.920	720.000
136	182.880	360.000	137	182.880	385.400	138	182.880	410.800
139	182.880	459.060	140	182.880	507.320	141	182.880	555.580
142	182.880	606.380	143	182.880	664.800	144	182.880	720.000
145	243.840	360.000	146	243.840	385.400	147	243.840	410.800
148	243.840	459.060	149	243.840	507.320	150	243.840	555.580
151	243.840	606.380	152	243.840	664.800	153	243.840	720.000
154	355.280	360.000	155	355.280	385.400	156	355.280	410.800
157	355.280	459.060	158	355.280	507.320	159	355.280	555.580

160	355.280	606.380	161	355.280	664.800	162	355.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.060	167	456.720	507.320	168	456.720	555.580
169	456.720	606.380	170	456.720	664.800	171	456.720	720.000
172	500.000	360.000	173	500.000	385.400	174	500.000	410.800
175	500.000	459.060	176	500.000	507.320	177	500.000	555.580
178	500.000	606.380	179	500.000	664.800	180	500.000	720.000
181	500.000	0.000	182	500.000	25.400	183	500.000	50.800
184	500.000	99.060	185	500.000	147.320	186	500.000	195.580
187	500.000	246.380	188	500.000	304.800	189	500.000	360.000
190	530.480	0.000	191	530.480	25.400	192	530.480	50.800
193	530.480	99.060	194	530.480	147.320	195	530.480	195.580
196	530.480	246.380	197	530.480	304.800	198	530.480	360.000
199	560.960	0.000	200	560.960	25.400	201	560.960	50.800
202	560.960	99.060	203	560.960	147.320	204	560.960	195.580
205	560.960	246.380	206	560.960	304.800	207	560.960	360.000
208	591.440	0.000	209	591.440	25.400	210	591.440	50.800
211	591.440	99.060	212	591.440	147.320	213	591.440	195.580
214	591.440	246.380	215	591.440	304.800	216	591.440	360.000
217	621.920	0.000	218	621.920	25.400	219	621.920	50.800
220	621.920	99.060	221	621.920	147.320	222	621.920	195.580
223	621.920	246.380	224	621.920	304.800	225	621.920	360.000
226	682.880	0.000	227	682.880	25.400	228	682.880	50.800
229	682.880	99.060	230	682.880	147.320	231	682.880	195.580
232	682.880	246.380	233	682.880	304.800	234	682.880	360.000
235	743.840	0.000	236	743.840	25.400	237	743.840	50.800
238	743.840	99.060	239	743.840	147.320	240	743.840	195.580
241	743.840	246.380	242	743.840	304.800	243	743.840	360.000
244	855.280	0.000	245	855.280	25.400	246	855.280	50.800
247	855.280	99.060	248	855.280	147.320	249	855.280	195.580
250	855.280	246.380	251	855.280	304.800	252	855.280	360.000

253	956.720	0.000	254	956.720	25.400	255	956.720	50.800
256	956.720	99.060	257	956.720	147.320	258	956.720	195.580
259	956.720	246.380	260	956.720	304.800	261	956.720	360.000
262	1000.000	0.000	263	1000.000	25.400	264	1000.000	50.800
265	1000.000	99.060	266	1000.000	147.320	267	1000.000	195.580
268	1000.000	246.380	269	1000.000	304.800	270	1000.000	360.000
271	500.000	360.000	272	500.000	385.400	273	500.000	410.800
274	500.000	459.060	275	500.000	507.320	276	500.000	555.580
277	500.000	606.380	278	500.000	664.800	279	500.000	720.000
280	530.480	360.000	281	530.480	385.400	282	530.480	410.800
283	530.480	459.060	284	530.480	507.320	285	530.480	555.580
286	530.480	606.380	287	530.480	664.800	288	530.480	720.000
289	560.960	360.000	290	560.960	385.400	291	560.960	410.800
292	560.960	459.060	293	560.960	507.320	294	560.960	555.580
295	560.960	606.380	296	560.960	664.800	297	560.960	720.000
298	591.440	360.000	299	591.440	385.400	300	591.440	410.800
301	591.440	459.060	302	591.440	507.320	303	591.440	555.580
304	591.440	606.380	305	591.440	664.800	306	591.440	720.000
307	621.920	360.000	308	621.920	385.400	309	621.920	410.800
310	621.920	459.060	311	621.920	507.320	312	621.920	555.580
313	621.920	606.380	314	621.920	664.800	315	621.920	720.000
316	682.880	360.000	317	682.880	385.400	318	682.880	410.800
319	682.880	459.060	320	682.880	507.320	321	682.880	555.580
322	682.880	606.380	323	682.880	664.800	324	682.880	720.000
325	743.840	360.000	326	743.840	385.400	327	743.840	410.800
328	743.840	459.060	329	743.840	507.320	330	743.840	555.580
331	743.840	606.380	332	743.840	664.800	333	743.840	720.000
334	855.280	360.000	335	855.280	385.400	336	855.280	410.800
337	855.280	459.060	338	855.280	507.320	339	855.280	555.580
340	855.280	606.380	341	855.280	664.800	342	855.280	720.000
343	956.720	360.000	344	956.720	385.400	345	956.720	410.800

346 956.720 459.060 347 956.720 507.320 348 956.720 555.580
 349 956.720 606.380 350 956.720 664.800 351 956.720 720.000
 352 1000.000 360.000 353 1000.000 385.400 354 1000.000 410.800
 355 1000.000 459.060 356 1000.000 507.320 357 1000.000 555.580
 358 1000.000 606.380 359 1000.000 664.800 360 1000.000 720.000

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	-0.2	0.0	18	-0.5	0.0	27	-0.5	0.0
36	-0.5	0.0	45	-0.6	0.0	54	-0.5	0.0
63	-0.2	0.0	72	0.2	0.0	81	0.3	0.0

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

9	-1.0	18	-1.2	27	-1.2	36	-1.1	45	-1.0
54	-0.5	63	-0.2	72	0.2	81	0.4		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.5	-0.5	18	-0.6	-0.6	27	-0.6	-0.6
36	-0.6	-0.6	45	-0.5	-0.5	54	-0.3	-0.3
63	-0.1	-0.1	72	0.1	0.1	81	0.2	0.2

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

172	-0.2	0.0	173	-0.2	0.0	174	-0.1	0.0
175	0.0	0.0	176	0.1	0.0	177	0.0	0.0

178 0.1 0.0 179 0.2 0.0 180 0.3 0.0

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

172 -0.4 173 -0.3 174 -0.1 175 0.0 176 0.0

177 0.0 178 0.0 179 0.1 180 0.3

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 0.1 0.0 198 0.1 0.0 207 0.1 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 0.3 198 0.2 207 0.2 216 0.1 225 0.1

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 0.2 0.2 198 0.1 0.1 207 0.1 0.1

216 0.1 0.1 225 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	0.1	0.0
85	0.1	0.0	86	0.1	0.0	87	0.1	0.0
88	0.1	0.0	89	0.4	0.0	90	0.5	0.0

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

82	-0.1	83	0.0	84	0.0	85	0.1	86	0.1
87	0.1	88	0.1	89	0.2	90	0.6		

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	0.1	0.1

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR MINOR

1	1	-1440.762	0.000	0.000	720.381	0.000	-1440.762
19	1	-441.716	0.000	0.000	220.858	0.000	-441.716
37	1	-60.405	0.000	0.000	30.203	0.000	-60.405

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -1440.762 (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	-0.4	0.0	18	-1.1	0.0	27	-1.2	0.0
36	-1.2	0.0	45	-1.7	0.0	54	-1.6	0.0
63	-1.3	0.0	72	0.2	0.0	81	0.8	0.0

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

9	-2.0	18	-2.6	27	-2.8	36	-2.8	45	-2.6
54	-1.9	63	-1.0	72	0.2	81	1.1		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-1.0	-1.0	18	-1.3	-1.3	27	-1.4	-1.4
36	-1.4	-1.4	45	-1.3	-1.3	54	-0.9	-0.9
63	-0.5	-0.5	72	0.1	0.1	81	0.5	0.6

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

172	-0.6	0.0	173	-0.7	0.0	174	-0.5	0.0
175	0.0	0.0	176	0.1	0.0	177	0.1	0.0
178	0.2	0.0	179	0.6	0.0	180	0.8	0.0

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

172	-1.4	173	-0.8	174	-0.4	175	0.0	176	0.1
177	0.1	178	0.1	179	0.3	180	0.9		

FOR JOINT NO. 2 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

172	-0.1	-0.1	173	-0.1	-0.1	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	0.1	0.1

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

189	0.2	0.0	198	0.3	0.0	207	0.2	0.0
216	0.1	0.0	225	0.1	0.0	234	0.1	0.0
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.1	0.0

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

189	0.9	198	0.7	207	0.5	216	0.3	225	0.2
234	0.1	243	0.0	252	0.0	261	0.1		

FOR JOINT NO. 3 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

189	0.5	0.5	198	0.3	0.3	207	0.2	0.2
216	0.2	0.2	225	0.1	0.1	234	0.0	0.0
243	0.0	0.0	252	0.0	0.0	261	0.1	0.1

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

82	-0.2	0.0	83	-0.2	0.0	84	0.0	0.0
85	0.2	0.0	86	0.2	0.0	87	0.1	0.0
88	0.2	0.0	89	1.2	0.0	90	1.7	0.0

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

82	-0.5	83	-0.2	84	0.0	85	0.2	86	0.1
87	0.1	88	0.1	89	0.6	90	1.9		

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

82	-0.1	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	0.1	90	0.2	0.2

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR
MINOR

1	1	-1556.659	0.000	0.000	778.329	0.000	-1556.659
19	1	-771.868	0.000	0.000	385.934	0.000	-771.868
37	1	-1305.883	0.000	0.000	652.941	0.000	-1305.883

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -1556.659 (NODE 1)
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS
.000000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .000000E+00
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 1000.00

**Lampiran 2 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku
Alternatif 1 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024**

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Analisis Sambungan Rigid Trial 15.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -sambungan

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. NODES (NX) NO. NODES (NY) 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)-----= 0.001
 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))-----=
 4279.471

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER NO.	THICKNESS (T)	POISSON'S RATIO (PR)	YOUNG'S MODULUS (YM)
1	18.34600	0.15000	2.701E+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 (LS) (XL1) (XL2)	Y COORDINATES (YL1) (YL2) (QQ)	INTENSITY
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 (LS) (XL1) (XL2)	Y COORDINATES (YL1) (YL2) (QQ)	INTENSITY
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	245.38000	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) = 26400

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 SPRING CONSTANT MODULUS OF DOWEL DOWEL JOINT
GAP NODE

NO. SHEAR MOMENT DOWEL SUP. DIA. SPACING WIDTH DOWEL
JOINT

	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0

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

658 0

JOINT NO. EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)

1	3.910E+00
2	4.321E+01
3	3.910E+00
4	4.321E+01

THE GLOBAL COORDINATES (XO AND YO) OF EACH NODE ARE:

1	0.000	0.000	2	0.000	25.400	3	0.000	50.800
4	0.000	99.060	5	0.000	147.320	6	0.000	195.580
7	0.000	246.380	8	0.000	304.800	9	0.000	360.000
10	30.480	0.000	11	30.480	25.400	12	30.480	50.800
13	30.480	99.060	14	30.480	147.320	15	30.480	195.580
16	30.480	246.380	17	30.480	304.800	18	30.480	360.000
19	60.960	0.000	20	60.960	25.400	21	60.960	50.800
22	60.960	99.060	23	60.960	147.320	24	60.960	195.580
25	60.960	246.380	26	60.960	304.800	27	60.960	360.000
28	91.440	0.000	29	91.440	25.400	30	91.440	50.800
31	91.440	99.060	32	91.440	147.320	33	91.440	195.580
34	91.440	246.380	35	91.440	304.800	36	91.440	360.000
37	121.920	0.000	38	121.920	25.400	39	121.920	50.800
40	121.920	99.060	41	121.920	147.320	42	121.920	195.580
43	121.920	246.380	44	121.920	304.800	45	121.920	360.000
46	182.880	0.000	47	182.880	25.400	48	182.880	50.800
49	182.880	99.060	50	182.880	147.320	51	182.880	195.580
52	182.880	246.380	53	182.880	304.800	54	182.880	360.000
55	243.840	0.000	56	243.840	25.400	57	243.840	50.800
58	243.840	99.060	59	243.840	147.320	60	243.840	195.580
61	243.840	246.380	62	243.840	304.800	63	243.840	360.000
64	355.280	0.000	65	355.280	25.400	66	355.280	50.800

67	355.280	99.060	68	355.280	147.320	69	355.280	195.580
70	355.280	246.380	71	355.280	304.800	72	355.280	360.000
73	456.720	0.000	74	456.720	25.400	75	456.720	50.800
76	456.720	99.060	77	456.720	147.320	78	456.720	195.580
79	456.720	246.380	80	456.720	304.800	81	456.720	360.000
82	500.000	0.000	83	500.000	25.400	84	500.000	50.800
85	500.000	99.060	86	500.000	147.320	87	500.000	195.580
88	500.000	246.380	89	500.000	304.800	90	500.000	360.000
91	0.000	360.000	92	0.000	385.400	93	0.000	410.800
94	0.000	459.060	95	0.000	507.320	96	0.000	555.580
97	0.000	606.380	98	0.000	664.800	99	0.000	720.000
100	30.480	360.000	101	30.480	385.400	102	30.480	410.800
103	30.480	459.060	104	30.480	507.320	105	30.480	555.580
106	30.480	606.380	107	30.480	664.800	108	30.480	720.000
109	60.960	360.000	110	60.960	385.400	111	60.960	410.800
112	60.960	459.060	113	60.960	507.320	114	60.960	555.580
115	60.960	606.380	116	60.960	664.800	117	60.960	720.000
118	91.440	360.000	119	91.440	385.400	120	91.440	410.800
121	91.440	459.060	122	91.440	507.320	123	91.440	555.580
124	91.440	606.380	125	91.440	664.800	126	91.440	720.000
127	121.920	360.000	128	121.920	385.400	129	121.920	410.800
130	121.920	459.060	131	121.920	507.320	132	121.920	555.580
133	121.920	606.380	134	121.920	664.800	135	121.920	720.000
136	182.880	360.000	137	182.880	385.400	138	182.880	410.800
139	182.880	459.060	140	182.880	507.320	141	182.880	555.580
142	182.880	606.380	143	182.880	664.800	144	182.880	720.000
145	243.840	360.000	146	243.840	385.400	147	243.840	410.800
148	243.840	459.060	149	243.840	507.320	150	243.840	555.580
151	243.840	606.380	152	243.840	664.800	153	243.840	720.000
154	355.280	360.000	155	355.280	385.400	156	355.280	410.800
157	355.280	459.060	158	355.280	507.320	159	355.280	555.580

160	355.280	606.380	161	355.280	664.800	162	355.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.060	167	456.720	507.320	168	456.720	555.580
169	456.720	606.380	170	456.720	664.800	171	456.720	720.000
172	500.000	360.000	173	500.000	385.400	174	500.000	410.800
175	500.000	459.060	176	500.000	507.320	177	500.000	555.580
178	500.000	606.380	179	500.000	664.800	180	500.000	720.000
181	500.000	0.000	182	500.000	25.400	183	500.000	50.800
184	500.000	99.060	185	500.000	147.320	186	500.000	195.580
187	500.000	246.380	188	500.000	304.800	189	500.000	360.000
190	530.480	0.000	191	530.480	25.400	192	530.480	50.800
193	530.480	99.060	194	530.480	147.320	195	530.480	195.580
196	530.480	246.380	197	530.480	304.800	198	530.480	360.000
199	560.960	0.000	200	560.960	25.400	201	560.960	50.800
202	560.960	99.060	203	560.960	147.320	204	560.960	195.580
205	560.960	246.380	206	560.960	304.800	207	560.960	360.000
208	591.440	0.000	209	591.440	25.400	210	591.440	50.800
211	591.440	99.060	212	591.440	147.320	213	591.440	195.580
214	591.440	246.380	215	591.440	304.800	216	591.440	360.000
217	621.920	0.000	218	621.920	25.400	219	621.920	50.800
220	621.920	99.060	221	621.920	147.320	222	621.920	195.580
223	621.920	246.380	224	621.920	304.800	225	621.920	360.000
226	682.880	0.000	227	682.880	25.400	228	682.880	50.800
229	682.880	99.060	230	682.880	147.320	231	682.880	195.580
232	682.880	246.380	233	682.880	304.800	234	682.880	360.000
235	743.840	0.000	236	743.840	25.400	237	743.840	50.800
238	743.840	99.060	239	743.840	147.320	240	743.840	195.580
241	743.840	246.380	242	743.840	304.800	243	743.840	360.000
244	855.280	0.000	245	855.280	25.400	246	855.280	50.800
247	855.280	99.060	248	855.280	147.320	249	855.280	195.580
250	855.280	246.380	251	855.280	304.800	252	855.280	360.000

253	956.720	0.000	254	956.720	25.400	255	956.720	50.800
256	956.720	99.060	257	956.720	147.320	258	956.720	195.580
259	956.720	246.380	260	956.720	304.800	261	956.720	360.000
262	1000.000	0.000	263	1000.000	25.400	264	1000.000	50.800
265	1000.000	99.060	266	1000.000	147.320	267	1000.000	195.580
268	1000.000	246.380	269	1000.000	304.800	270	1000.000	360.000
271	500.000	360.000	272	500.000	385.400	273	500.000	410.800
274	500.000	459.060	275	500.000	507.320	276	500.000	555.580
277	500.000	606.380	278	500.000	664.800	279	500.000	720.000
280	530.480	360.000	281	530.480	385.400	282	530.480	410.800
283	530.480	459.060	284	530.480	507.320	285	530.480	555.580
286	530.480	606.380	287	530.480	664.800	288	530.480	720.000
289	560.960	360.000	290	560.960	385.400	291	560.960	410.800
292	560.960	459.060	293	560.960	507.320	294	560.960	555.580
295	560.960	606.380	296	560.960	664.800	297	560.960	720.000
298	591.440	360.000	299	591.440	385.400	300	591.440	410.800
301	591.440	459.060	302	591.440	507.320	303	591.440	555.580
304	591.440	606.380	305	591.440	664.800	306	591.440	720.000
307	621.920	360.000	308	621.920	385.400	309	621.920	410.800
310	621.920	459.060	311	621.920	507.320	312	621.920	555.580
313	621.920	606.380	314	621.920	664.800	315	621.920	720.000
316	682.880	360.000	317	682.880	385.400	318	682.880	410.800
319	682.880	459.060	320	682.880	507.320	321	682.880	555.580
322	682.880	606.380	323	682.880	664.800	324	682.880	720.000
325	743.840	360.000	326	743.840	385.400	327	743.840	410.800
328	743.840	459.060	329	743.840	507.320	330	743.840	555.580
331	743.840	606.380	332	743.840	664.800	333	743.840	720.000
334	855.280	360.000	335	855.280	385.400	336	855.280	410.800
337	855.280	459.060	338	855.280	507.320	339	855.280	555.580
340	855.280	606.380	341	855.280	664.800	342	855.280	720.000
343	956.720	360.000	344	956.720	385.400	345	956.720	410.800

346 956.720 459.060 347 956.720 507.320 348 956.720 555.580
 349 956.720 606.380 350 956.720 664.800 351 956.720 720.000
 352 1000.000 360.000 353 1000.000 385.400 354 1000.000 410.800
 355 1000.000 459.060 356 1000.000 507.320 357 1000.000 555.580
 358 1000.000 606.380 359 1000.000 664.800 360 1000.000 720.000

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	-0.2	0.0	18	-0.4	0.0	27	-0.4	0.0
36	-0.3	0.0	45	-0.3	0.0	54	-0.1	0.0
63	0.2	0.0	72	0.2	0.0	81	0.1	0.0

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

9	-0.8	18	-1.0	27	-0.9	36	-0.7	45	-0.5
54	-0.1	63	0.1	72	0.1	81	0.1		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.4	-0.4	18	-0.5	-0.5	27	-0.5	-0.5
36	-0.4	-0.4	45	-0.2	-0.2	54	0.0	0.0
63	0.1	0.1	72	0.1	0.1	81	0.1	0.1

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 0.1 0.0

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

172 -0.1 173 0.0 174 0.0 175 0.0 176 0.0

177 0.0 178 0.0 179 0.0 180 0.1

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 0.1 198 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	0.1	0.0	84	0.1	0.0
85	0.1	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.1	0.0	90	0.1	0.0

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

82	0.1	83	0.1	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.2		

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	-2592.478	0.000	0.000	1296.239	0.000	-2592.478
19	1	-355.237	0.000	0.000	177.618	0.000	-355.237
37	1	242.542	0.000	0.000	121.271	242.542	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2592.478 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .24969E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

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

9	-0.3	0.0	18	-0.7	0.0	27	-0.8	0.0
36	-0.8	0.0	45	-1.0	0.0	54	-0.7	0.0
63	-0.2	0.0	72	0.4	0.0	81	0.3	0.0

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

9	-1.3	18	-1.7	27	-1.9	36	-1.8	45	-1.5
54	-0.8	63	-0.1	72	0.3	81	0.4		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.6	-0.6	18	-0.8	-0.9	27	-0.9	-0.9
36	-0.9	-0.9	45	-0.8	-0.8	54	-0.4	-0.4
63	-0.1	-0.1	72	0.1	0.1	81	0.2	0.2

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

172	-0.2	0.0	173	-0.1	0.0	174	0.0	0.0
175	0.1	0.0	176	0.1	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.1	0.0	180	0.2	0.0

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

172	-0.4	173	-0.2	174	0.0	175	0.1	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.2		

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	0.1	0.0	198	0.1	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	0.3	198	0.2	207	0.1	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	0.2	0.2	198	0.1	0.1	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	0.1	0.0	83	0.2	0.0	84	0.2	0.0
85	0.2	0.0	86	0.2	0.0	87	0.1	0.0
88	0.1	0.0	89	0.2	0.0	90	0.6	0.0

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

82	0.3	83	0.2	84	0.2	85	0.1	86	0.1
87	0.1	88	0.0	89	0.1	90	0.6		

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	0.1	0.1

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR
MINOR

1	1	-2124.753	0.000	0.000	1062.376	0.000	-2124.753
19	1	-370.359	0.000	0.000	185.180	0.000	-370.359
37	1	-1984.721	0.000	0.000	992.361	0.000	-1984.721

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2124.753 (NODE 1)
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS
.000000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .24969E-01
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 40.05

**Lampiran 3 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku
Alternatif 2 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024**

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Analisis Sambungan Rigid Trial 10.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -sambungan

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. NOES (NX) NO. NOES (NY) 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)-----= 0.001
 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))-----=
 4279.471

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER NO.	THICKNESS (T)	POISSON'S RATIO (PR)	YOUNG'S MODULUS (YM)
1	18.35000	0.15000	2.701E+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 (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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 (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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	245.38000	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) = 26400

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 SPRING CONSTANT MODULUS OF DOWEL DOWEL JOINT
GAP NODE

NO. SHEAR MOMENT DOWEL SUP. DIA. SPACING WIDTH DOWEL
JOINT

	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0

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

658 0

JOINT NO. EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)

1	3.910E+00
2	4.321E+01
3	3.910E+00
4	4.321E+01

THE GLOBAL COORDINATES (XO AND YO) OF EACH NODE ARE:

1	0.000	0.000	2	0.000	25.400	3	0.000	50.800
4	0.000	99.060	5	0.000	147.320	6	0.000	195.580
7	0.000	246.380	8	0.000	304.800	9	0.000	360.000
10	30.480	0.000	11	30.480	25.400	12	30.480	50.800
13	30.480	99.060	14	30.480	147.320	15	30.480	195.580
16	30.480	246.380	17	30.480	304.800	18	30.480	360.000
19	60.960	0.000	20	60.960	25.400	21	60.960	50.800
22	60.960	99.060	23	60.960	147.320	24	60.960	195.580
25	60.960	246.380	26	60.960	304.800	27	60.960	360.000
28	91.440	0.000	29	91.440	25.400	30	91.440	50.800
31	91.440	99.060	32	91.440	147.320	33	91.440	195.580
34	91.440	246.380	35	91.440	304.800	36	91.440	360.000
37	121.920	0.000	38	121.920	25.400	39	121.920	50.800
40	121.920	99.060	41	121.920	147.320	42	121.920	195.580
43	121.920	246.380	44	121.920	304.800	45	121.920	360.000
46	182.880	0.000	47	182.880	25.400	48	182.880	50.800
49	182.880	99.060	50	182.880	147.320	51	182.880	195.580
52	182.880	246.380	53	182.880	304.800	54	182.880	360.000
55	243.840	0.000	56	243.840	25.400	57	243.840	50.800
58	243.840	99.060	59	243.840	147.320	60	243.840	195.580
61	243.840	246.380	62	243.840	304.800	63	243.840	360.000
64	355.280	0.000	65	355.280	25.400	66	355.280	50.800

67	355.280	99.060	68	355.280	147.320	69	355.280	195.580
70	355.280	246.380	71	355.280	304.800	72	355.280	360.000
73	456.720	0.000	74	456.720	25.400	75	456.720	50.800
76	456.720	99.060	77	456.720	147.320	78	456.720	195.580
79	456.720	246.380	80	456.720	304.800	81	456.720	360.000
82	500.000	0.000	83	500.000	25.400	84	500.000	50.800
85	500.000	99.060	86	500.000	147.320	87	500.000	195.580
88	500.000	246.380	89	500.000	304.800	90	500.000	360.000
91	0.000	360.000	92	0.000	385.400	93	0.000	410.800
94	0.000	459.060	95	0.000	507.320	96	0.000	555.580
97	0.000	606.380	98	0.000	664.800	99	0.000	720.000
100	30.480	360.000	101	30.480	385.400	102	30.480	410.800
103	30.480	459.060	104	30.480	507.320	105	30.480	555.580
106	30.480	606.380	107	30.480	664.800	108	30.480	720.000
109	60.960	360.000	110	60.960	385.400	111	60.960	410.800
112	60.960	459.060	113	60.960	507.320	114	60.960	555.580
115	60.960	606.380	116	60.960	664.800	117	60.960	720.000
118	91.440	360.000	119	91.440	385.400	120	91.440	410.800
121	91.440	459.060	122	91.440	507.320	123	91.440	555.580
124	91.440	606.380	125	91.440	664.800	126	91.440	720.000
127	121.920	360.000	128	121.920	385.400	129	121.920	410.800
130	121.920	459.060	131	121.920	507.320	132	121.920	555.580
133	121.920	606.380	134	121.920	664.800	135	121.920	720.000
136	182.880	360.000	137	182.880	385.400	138	182.880	410.800
139	182.880	459.060	140	182.880	507.320	141	182.880	555.580
142	182.880	606.380	143	182.880	664.800	144	182.880	720.000
145	243.840	360.000	146	243.840	385.400	147	243.840	410.800
148	243.840	459.060	149	243.840	507.320	150	243.840	555.580
151	243.840	606.380	152	243.840	664.800	153	243.840	720.000
154	355.280	360.000	155	355.280	385.400	156	355.280	410.800
157	355.280	459.060	158	355.280	507.320	159	355.280	555.580

160	355.280	606.380	161	355.280	664.800	162	355.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.060	167	456.720	507.320	168	456.720	555.580
169	456.720	606.380	170	456.720	664.800	171	456.720	720.000
172	500.000	360.000	173	500.000	385.400	174	500.000	410.800
175	500.000	459.060	176	500.000	507.320	177	500.000	555.580
178	500.000	606.380	179	500.000	664.800	180	500.000	720.000
181	500.000	0.000	182	500.000	25.400	183	500.000	50.800
184	500.000	99.060	185	500.000	147.320	186	500.000	195.580
187	500.000	246.380	188	500.000	304.800	189	500.000	360.000
190	530.480	0.000	191	530.480	25.400	192	530.480	50.800
193	530.480	99.060	194	530.480	147.320	195	530.480	195.580
196	530.480	246.380	197	530.480	304.800	198	530.480	360.000
199	560.960	0.000	200	560.960	25.400	201	560.960	50.800
202	560.960	99.060	203	560.960	147.320	204	560.960	195.580
205	560.960	246.380	206	560.960	304.800	207	560.960	360.000
208	591.440	0.000	209	591.440	25.400	210	591.440	50.800
211	591.440	99.060	212	591.440	147.320	213	591.440	195.580
214	591.440	246.380	215	591.440	304.800	216	591.440	360.000
217	621.920	0.000	218	621.920	25.400	219	621.920	50.800
220	621.920	99.060	221	621.920	147.320	222	621.920	195.580
223	621.920	246.380	224	621.920	304.800	225	621.920	360.000
226	682.880	0.000	227	682.880	25.400	228	682.880	50.800
229	682.880	99.060	230	682.880	147.320	231	682.880	195.580
232	682.880	246.380	233	682.880	304.800	234	682.880	360.000
235	743.840	0.000	236	743.840	25.400	237	743.840	50.800
238	743.840	99.060	239	743.840	147.320	240	743.840	195.580
241	743.840	246.380	242	743.840	304.800	243	743.840	360.000
244	855.280	0.000	245	855.280	25.400	246	855.280	50.800
247	855.280	99.060	248	855.280	147.320	249	855.280	195.580
250	855.280	246.380	251	855.280	304.800	252	855.280	360.000

253	956.720	0.000	254	956.720	25.400	255	956.720	50.800
256	956.720	99.060	257	956.720	147.320	258	956.720	195.580
259	956.720	246.380	260	956.720	304.800	261	956.720	360.000
262	1000.000	0.000	263	1000.000	25.400	264	1000.000	50.800
265	1000.000	99.060	266	1000.000	147.320	267	1000.000	195.580
268	1000.000	246.380	269	1000.000	304.800	270	1000.000	360.000
271	500.000	360.000	272	500.000	385.400	273	500.000	410.800
274	500.000	459.060	275	500.000	507.320	276	500.000	555.580
277	500.000	606.380	278	500.000	664.800	279	500.000	720.000
280	530.480	360.000	281	530.480	385.400	282	530.480	410.800
283	530.480	459.060	284	530.480	507.320	285	530.480	555.580
286	530.480	606.380	287	530.480	664.800	288	530.480	720.000
289	560.960	360.000	290	560.960	385.400	291	560.960	410.800
292	560.960	459.060	293	560.960	507.320	294	560.960	555.580
295	560.960	606.380	296	560.960	664.800	297	560.960	720.000
298	591.440	360.000	299	591.440	385.400	300	591.440	410.800
301	591.440	459.060	302	591.440	507.320	303	591.440	555.580
304	591.440	606.380	305	591.440	664.800	306	591.440	720.000
307	621.920	360.000	308	621.920	385.400	309	621.920	410.800
310	621.920	459.060	311	621.920	507.320	312	621.920	555.580
313	621.920	606.380	314	621.920	664.800	315	621.920	720.000
316	682.880	360.000	317	682.880	385.400	318	682.880	410.800
319	682.880	459.060	320	682.880	507.320	321	682.880	555.580
322	682.880	606.380	323	682.880	664.800	324	682.880	720.000
325	743.840	360.000	326	743.840	385.400	327	743.840	410.800
328	743.840	459.060	329	743.840	507.320	330	743.840	555.580
331	743.840	606.380	332	743.840	664.800	333	743.840	720.000
334	855.280	360.000	335	855.280	385.400	336	855.280	410.800
337	855.280	459.060	338	855.280	507.320	339	855.280	555.580
340	855.280	606.380	341	855.280	664.800	342	855.280	720.000
343	956.720	360.000	344	956.720	385.400	345	956.720	410.800

346 956.720 459.060 347 956.720 507.320 348 956.720 555.580
 349 956.720 606.380 350 956.720 664.800 351 956.720 720.000
 352 1000.000 360.000 353 1000.000 385.400 354 1000.000 410.800
 355 1000.000 459.060 356 1000.000 507.320 357 1000.000 555.580
 358 1000.000 606.380 359 1000.000 664.800 360 1000.000 720.000

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	-0.2	0.0	18	-0.4	0.0	27	-0.4	0.0
36	-0.3	0.0	45	-0.3	0.0	54	-0.1	0.0
63	0.2	0.0	72	0.2	0.0	81	0.1	0.0

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

9	-0.8	18	-1.0	27	-0.9	36	-0.7	45	-0.5
54	-0.1	63	0.1	72	0.1	81	0.1		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.4	-0.4	18	-0.5	-0.5	27	-0.5	-0.5
36	-0.4	-0.4	45	-0.2	-0.2	54	0.0	0.0
63	0.1	0.1	72	0.1	0.1	81	0.1	0.1

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 0.1 0.0

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

172 -0.1 173 0.0 174 0.0 175 0.0 176 0.0

177 0.0 178 0.0 179 0.0 180 0.1

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 0.1 198 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	0.1	0.0	84	0.1	0.0
85	0.1	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.1	0.0	90	0.1	0.0

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

82	0.1	83	0.1	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.2		

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	-2591.823	0.000	0.000	1295.911	0.000	-2591.823
19	1	-355.208	0.000	0.000	177.604	0.000	-355.208
37	1	242.322	0.000	0.000	121.161	242.322	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2591.823 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .24863E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

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

9	-0.3	0.0	18	-0.7	0.0	27	-0.8	0.0
36	-0.8	0.0	45	-1.0	0.0	54	-0.7	0.0
63	-0.2	0.0	72	0.4	0.0	81	0.3	0.0

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

9	-1.3	18	-1.7	27	-1.9	36	-1.8	45	-1.5
54	-0.8	63	-0.1	72	0.3	81	0.4		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.6	-0.6	18	-0.8	-0.9	27	-0.9	-0.9
36	-0.9	-0.9	45	-0.8	-0.8	54	-0.4	-0.4
63	-0.1	-0.1	72	0.1	0.1	81	0.2	0.2

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

172	-0.2	0.0	173	-0.1	0.0	174	0.0	0.0
175	0.1	0.0	176	0.1	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.1	0.0	180	0.2	0.0

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

172	-0.4	173	-0.2	174	0.0	175	0.1	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.2		

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	0.1	0.0	198	0.1	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	0.3	198	0.2	207	0.1	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	0.2	0.2	198	0.1	0.1	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	0.1	0.0	83	0.2	0.0	84	0.2	0.0
85	0.2	0.0	86	0.2	0.0	87	0.1	0.0
88	0.1	0.0	89	0.2	0.0	90	0.6	0.0

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

82	0.3	83	0.2	84	0.2	85	0.1	86	0.1
87	0.1	88	0.0	89	0.1	90	0.6		

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	0.1	0.1

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR
MINOR

1	1	-2124.496	0.000	0.000	1062.248	0.000	-2124.496
19	1	-370.143	0.000	0.000	185.071	0.000	-370.143
37	1	-1984.180	0.000	0.000	992.090	0.000	-1984.180

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2124.496 (NODE 1)
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS
.000000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .24863E-01
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 40.22

**Lampiran 4 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku
Alternatif 3 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024**

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Analisis Sambungan Rigid Trial 9.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -sambungan

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. NODES (NX) NO. NODES (NY) 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)-----= 0.001
 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))-----=
 4279.471

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER NO.	THICKNESS (T)	POISSON'S RATIO (PR)	YOUNG'S MODULUS (YM)
1	18.40000	0.15000	2.701E+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 (LS) (XL1) (XL2)	Y COORDINATES (YL1) (YL2) (QQ)	INTENSITY
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 (LS) (XL1) (XL2)	Y COORDINATES (YL1) (YL2) (QQ)	INTENSITY
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	245.38000	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) = 26400

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 SPRING CONSTANT MODULUS OF DOWEL DOWEL JOINT
GAP NODE

NO. SHEAR MOMENT DOWEL SUP. DIA. SPACING WIDTH DOWEL
JOINT

	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0

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

658 0

JOINT NO. EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)

1	3.910E+00
2	4.321E+01
3	3.910E+00
4	4.321E+01

THE GLOBAL COORDINATES (XO AND YO) OF EACH NODE ARE:

1	0.000	0.000	2	0.000	25.400	3	0.000	50.800
4	0.000	99.060	5	0.000	147.320	6	0.000	195.580
7	0.000	246.380	8	0.000	304.800	9	0.000	360.000
10	30.480	0.000	11	30.480	25.400	12	30.480	50.800
13	30.480	99.060	14	30.480	147.320	15	30.480	195.580
16	30.480	246.380	17	30.480	304.800	18	30.480	360.000
19	60.960	0.000	20	60.960	25.400	21	60.960	50.800
22	60.960	99.060	23	60.960	147.320	24	60.960	195.580
25	60.960	246.380	26	60.960	304.800	27	60.960	360.000
28	91.440	0.000	29	91.440	25.400	30	91.440	50.800
31	91.440	99.060	32	91.440	147.320	33	91.440	195.580
34	91.440	246.380	35	91.440	304.800	36	91.440	360.000
37	121.920	0.000	38	121.920	25.400	39	121.920	50.800
40	121.920	99.060	41	121.920	147.320	42	121.920	195.580
43	121.920	246.380	44	121.920	304.800	45	121.920	360.000
46	182.880	0.000	47	182.880	25.400	48	182.880	50.800
49	182.880	99.060	50	182.880	147.320	51	182.880	195.580
52	182.880	246.380	53	182.880	304.800	54	182.880	360.000
55	243.840	0.000	56	243.840	25.400	57	243.840	50.800
58	243.840	99.060	59	243.840	147.320	60	243.840	195.580
61	243.840	246.380	62	243.840	304.800	63	243.840	360.000
64	355.280	0.000	65	355.280	25.400	66	355.280	50.800

67	355.280	99.060	68	355.280	147.320	69	355.280	195.580
70	355.280	246.380	71	355.280	304.800	72	355.280	360.000
73	456.720	0.000	74	456.720	25.400	75	456.720	50.800
76	456.720	99.060	77	456.720	147.320	78	456.720	195.580
79	456.720	246.380	80	456.720	304.800	81	456.720	360.000
82	500.000	0.000	83	500.000	25.400	84	500.000	50.800
85	500.000	99.060	86	500.000	147.320	87	500.000	195.580
88	500.000	246.380	89	500.000	304.800	90	500.000	360.000
91	0.000	360.000	92	0.000	385.400	93	0.000	410.800
94	0.000	459.060	95	0.000	507.320	96	0.000	555.580
97	0.000	606.380	98	0.000	664.800	99	0.000	720.000
100	30.480	360.000	101	30.480	385.400	102	30.480	410.800
103	30.480	459.060	104	30.480	507.320	105	30.480	555.580
106	30.480	606.380	107	30.480	664.800	108	30.480	720.000
109	60.960	360.000	110	60.960	385.400	111	60.960	410.800
112	60.960	459.060	113	60.960	507.320	114	60.960	555.580
115	60.960	606.380	116	60.960	664.800	117	60.960	720.000
118	91.440	360.000	119	91.440	385.400	120	91.440	410.800
121	91.440	459.060	122	91.440	507.320	123	91.440	555.580
124	91.440	606.380	125	91.440	664.800	126	91.440	720.000
127	121.920	360.000	128	121.920	385.400	129	121.920	410.800
130	121.920	459.060	131	121.920	507.320	132	121.920	555.580
133	121.920	606.380	134	121.920	664.800	135	121.920	720.000
136	182.880	360.000	137	182.880	385.400	138	182.880	410.800
139	182.880	459.060	140	182.880	507.320	141	182.880	555.580
142	182.880	606.380	143	182.880	664.800	144	182.880	720.000
145	243.840	360.000	146	243.840	385.400	147	243.840	410.800
148	243.840	459.060	149	243.840	507.320	150	243.840	555.580
151	243.840	606.380	152	243.840	664.800	153	243.840	720.000
154	355.280	360.000	155	355.280	385.400	156	355.280	410.800
157	355.280	459.060	158	355.280	507.320	159	355.280	555.580

160	355.280	606.380	161	355.280	664.800	162	355.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.060	167	456.720	507.320	168	456.720	555.580
169	456.720	606.380	170	456.720	664.800	171	456.720	720.000
172	500.000	360.000	173	500.000	385.400	174	500.000	410.800
175	500.000	459.060	176	500.000	507.320	177	500.000	555.580
178	500.000	606.380	179	500.000	664.800	180	500.000	720.000
181	500.000	0.000	182	500.000	25.400	183	500.000	50.800
184	500.000	99.060	185	500.000	147.320	186	500.000	195.580
187	500.000	246.380	188	500.000	304.800	189	500.000	360.000
190	530.480	0.000	191	530.480	25.400	192	530.480	50.800
193	530.480	99.060	194	530.480	147.320	195	530.480	195.580
196	530.480	246.380	197	530.480	304.800	198	530.480	360.000
199	560.960	0.000	200	560.960	25.400	201	560.960	50.800
202	560.960	99.060	203	560.960	147.320	204	560.960	195.580
205	560.960	246.380	206	560.960	304.800	207	560.960	360.000
208	591.440	0.000	209	591.440	25.400	210	591.440	50.800
211	591.440	99.060	212	591.440	147.320	213	591.440	195.580
214	591.440	246.380	215	591.440	304.800	216	591.440	360.000
217	621.920	0.000	218	621.920	25.400	219	621.920	50.800
220	621.920	99.060	221	621.920	147.320	222	621.920	195.580
223	621.920	246.380	224	621.920	304.800	225	621.920	360.000
226	682.880	0.000	227	682.880	25.400	228	682.880	50.800
229	682.880	99.060	230	682.880	147.320	231	682.880	195.580
232	682.880	246.380	233	682.880	304.800	234	682.880	360.000
235	743.840	0.000	236	743.840	25.400	237	743.840	50.800
238	743.840	99.060	239	743.840	147.320	240	743.840	195.580
241	743.840	246.380	242	743.840	304.800	243	743.840	360.000
244	855.280	0.000	245	855.280	25.400	246	855.280	50.800
247	855.280	99.060	248	855.280	147.320	249	855.280	195.580
250	855.280	246.380	251	855.280	304.800	252	855.280	360.000

253	956.720	0.000	254	956.720	25.400	255	956.720	50.800
256	956.720	99.060	257	956.720	147.320	258	956.720	195.580
259	956.720	246.380	260	956.720	304.800	261	956.720	360.000
262	1000.000	0.000	263	1000.000	25.400	264	1000.000	50.800
265	1000.000	99.060	266	1000.000	147.320	267	1000.000	195.580
268	1000.000	246.380	269	1000.000	304.800	270	1000.000	360.000
271	500.000	360.000	272	500.000	385.400	273	500.000	410.800
274	500.000	459.060	275	500.000	507.320	276	500.000	555.580
277	500.000	606.380	278	500.000	664.800	279	500.000	720.000
280	530.480	360.000	281	530.480	385.400	282	530.480	410.800
283	530.480	459.060	284	530.480	507.320	285	530.480	555.580
286	530.480	606.380	287	530.480	664.800	288	530.480	720.000
289	560.960	360.000	290	560.960	385.400	291	560.960	410.800
292	560.960	459.060	293	560.960	507.320	294	560.960	555.580
295	560.960	606.380	296	560.960	664.800	297	560.960	720.000
298	591.440	360.000	299	591.440	385.400	300	591.440	410.800
301	591.440	459.060	302	591.440	507.320	303	591.440	555.580
304	591.440	606.380	305	591.440	664.800	306	591.440	720.000
307	621.920	360.000	308	621.920	385.400	309	621.920	410.800
310	621.920	459.060	311	621.920	507.320	312	621.920	555.580
313	621.920	606.380	314	621.920	664.800	315	621.920	720.000
316	682.880	360.000	317	682.880	385.400	318	682.880	410.800
319	682.880	459.060	320	682.880	507.320	321	682.880	555.580
322	682.880	606.380	323	682.880	664.800	324	682.880	720.000
325	743.840	360.000	326	743.840	385.400	327	743.840	410.800
328	743.840	459.060	329	743.840	507.320	330	743.840	555.580
331	743.840	606.380	332	743.840	664.800	333	743.840	720.000
334	855.280	360.000	335	855.280	385.400	336	855.280	410.800
337	855.280	459.060	338	855.280	507.320	339	855.280	555.580
340	855.280	606.380	341	855.280	664.800	342	855.280	720.000
343	956.720	360.000	344	956.720	385.400	345	956.720	410.800

346 956.720 459.060 347 956.720 507.320 348 956.720 555.580
 349 956.720 606.380 350 956.720 664.800 351 956.720 720.000
 352 1000.000 360.000 353 1000.000 385.400 354 1000.000 410.800
 355 1000.000 459.060 356 1000.000 507.320 357 1000.000 555.580
 358 1000.000 606.380 359 1000.000 664.800 360 1000.000 720.000

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	-0.2	0.0	18	-0.4	0.0	27	-0.4	0.0
36	-0.3	0.0	45	-0.3	0.0	54	-0.1	0.0
63	0.2	0.0	72	0.2	0.0	81	0.1	0.0

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

9	-0.8	18	-1.0	27	-0.9	36	-0.7	45	-0.5
54	-0.1	63	0.1	72	0.1	81	0.1		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.4	-0.4	18	-0.5	-0.5	27	-0.5	-0.5
36	-0.4	-0.4	45	-0.2	-0.2	54	0.0	0.0
63	0.1	0.1	72	0.1	0.1	81	0.1	0.1

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 0.1 0.0

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

172 -0.1 173 0.0 174 0.0 175 0.0 176 0.0

177 0.0 178 0.0 179 0.0 180 0.1

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 0.1 198 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	0.1	0.0	84	0.1	0.0
85	0.1	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.1	0.0	90	0.1	0.0

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

82	0.1	83	0.1	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.2		

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	-2582.516	0.000	0.000	1291.258	0.000	-2582.516
19	1	-356.764	0.000	0.000	178.382	0.000	-356.764
37	1	239.619	0.000	0.000	119.810	239.619	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2582.516 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .23404E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

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

9	-0.3	0.0	18	-0.8	0.0	27	-0.8	0.0
36	-0.8	0.0	45	-1.0	0.0	54	-0.7	0.0
63	-0.2	0.0	72	0.4	0.0	81	0.3	0.0

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

9	-1.3	18	-1.7	27	-1.9	36	-1.8	45	-1.5
54	-0.8	63	-0.1	72	0.3	81	0.4		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.6	-0.6	18	-0.8	-0.9	27	-0.9	-0.9
36	-0.9	-0.9	45	-0.8	-0.8	54	-0.4	-0.4
63	-0.1	-0.1	72	0.1	0.1	81	0.2	0.2

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

172	-0.2	0.0	173	-0.1	0.0	174	0.0	0.0
175	0.1	0.0	176	0.1	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.1	0.0	180	0.2	0.0

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

172	-0.4	173	-0.2	174	0.0	175	0.1	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.2		

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	0.1	0.0	198	0.1	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	0.3	198	0.2	207	0.1	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	0.2	0.2	198	0.1	0.1	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	0.1	0.0	83	0.2	0.0	84	0.2	0.0
85	0.2	0.0	86	0.2	0.0	87	0.1	0.0
88	0.1	0.0	89	0.2	0.0	90	0.6	0.0

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

82	0.3	83	0.2	84	0.2	85	0.1	86	0.1
87	0.1	88	0.0	89	0.1	90	0.6		

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	0.1	0.1

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR
MINOR

1	1	-2119.989	0.000	0.000	1059.994	0.000	-2119.989
19	1	-374.653	0.000	0.000	187.326	0.000	-374.653
37	1	-1978.903	0.000	0.000	989.452	0.000	-1978.903

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2119.989 (NODE 1)
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS
.000000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .23404E-01
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 42.73

**Lampiran 5 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku
Alternatif 4 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024**

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Analisis Sambungan Rigid Trial 17.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -sambungan

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. NODES (NX) NO. NODES (NY) 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)-----= 0.001
 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))-----=
 4279.471

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER NO.	THICKNESS (T)	POISSON'S RATIO (PR)	YOUNG'S MODULUS (YM)
1	18.45000	0.15000	2.701E+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 (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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 (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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	245.38000	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) = 26400

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 SPRING CONSTANT MODULUS OF DOWEL DOWEL JOINT
GAP NODE

NO. SHEAR MOMENT DOWEL SUP. DIA. SPACING WIDTH DOWEL
JOINT

	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0

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

658 0

JOINT NO. EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)

1	3.910E+00
2	4.321E+01
3	3.910E+00
4	4.321E+01

THE GLOBAL COORDINATES (XO AND YO) OF EACH NODE ARE:

1	0.000	0.000	2	0.000	25.400	3	0.000	50.800
4	0.000	99.060	5	0.000	147.320	6	0.000	195.580
7	0.000	246.380	8	0.000	304.800	9	0.000	360.000
10	30.480	0.000	11	30.480	25.400	12	30.480	50.800
13	30.480	99.060	14	30.480	147.320	15	30.480	195.580
16	30.480	246.380	17	30.480	304.800	18	30.480	360.000
19	60.960	0.000	20	60.960	25.400	21	60.960	50.800
22	60.960	99.060	23	60.960	147.320	24	60.960	195.580
25	60.960	246.380	26	60.960	304.800	27	60.960	360.000
28	91.440	0.000	29	91.440	25.400	30	91.440	50.800
31	91.440	99.060	32	91.440	147.320	33	91.440	195.580
34	91.440	246.380	35	91.440	304.800	36	91.440	360.000
37	121.920	0.000	38	121.920	25.400	39	121.920	50.800
40	121.920	99.060	41	121.920	147.320	42	121.920	195.580
43	121.920	246.380	44	121.920	304.800	45	121.920	360.000
46	182.880	0.000	47	182.880	25.400	48	182.880	50.800
49	182.880	99.060	50	182.880	147.320	51	182.880	195.580
52	182.880	246.380	53	182.880	304.800	54	182.880	360.000
55	243.840	0.000	56	243.840	25.400	57	243.840	50.800
58	243.840	99.060	59	243.840	147.320	60	243.840	195.580
61	243.840	246.380	62	243.840	304.800	63	243.840	360.000
64	355.280	0.000	65	355.280	25.400	66	355.280	50.800

67	355.280	99.060	68	355.280	147.320	69	355.280	195.580
70	355.280	246.380	71	355.280	304.800	72	355.280	360.000
73	456.720	0.000	74	456.720	25.400	75	456.720	50.800
76	456.720	99.060	77	456.720	147.320	78	456.720	195.580
79	456.720	246.380	80	456.720	304.800	81	456.720	360.000
82	500.000	0.000	83	500.000	25.400	84	500.000	50.800
85	500.000	99.060	86	500.000	147.320	87	500.000	195.580
88	500.000	246.380	89	500.000	304.800	90	500.000	360.000
91	0.000	360.000	92	0.000	385.400	93	0.000	410.800
94	0.000	459.060	95	0.000	507.320	96	0.000	555.580
97	0.000	606.380	98	0.000	664.800	99	0.000	720.000
100	30.480	360.000	101	30.480	385.400	102	30.480	410.800
103	30.480	459.060	104	30.480	507.320	105	30.480	555.580
106	30.480	606.380	107	30.480	664.800	108	30.480	720.000
109	60.960	360.000	110	60.960	385.400	111	60.960	410.800
112	60.960	459.060	113	60.960	507.320	114	60.960	555.580
115	60.960	606.380	116	60.960	664.800	117	60.960	720.000
118	91.440	360.000	119	91.440	385.400	120	91.440	410.800
121	91.440	459.060	122	91.440	507.320	123	91.440	555.580
124	91.440	606.380	125	91.440	664.800	126	91.440	720.000
127	121.920	360.000	128	121.920	385.400	129	121.920	410.800
130	121.920	459.060	131	121.920	507.320	132	121.920	555.580
133	121.920	606.380	134	121.920	664.800	135	121.920	720.000
136	182.880	360.000	137	182.880	385.400	138	182.880	410.800
139	182.880	459.060	140	182.880	507.320	141	182.880	555.580
142	182.880	606.380	143	182.880	664.800	144	182.880	720.000
145	243.840	360.000	146	243.840	385.400	147	243.840	410.800
148	243.840	459.060	149	243.840	507.320	150	243.840	555.580
151	243.840	606.380	152	243.840	664.800	153	243.840	720.000
154	355.280	360.000	155	355.280	385.400	156	355.280	410.800
157	355.280	459.060	158	355.280	507.320	159	355.280	555.580

160	355.280	606.380	161	355.280	664.800	162	355.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.060	167	456.720	507.320	168	456.720	555.580
169	456.720	606.380	170	456.720	664.800	171	456.720	720.000
172	500.000	360.000	173	500.000	385.400	174	500.000	410.800
175	500.000	459.060	176	500.000	507.320	177	500.000	555.580
178	500.000	606.380	179	500.000	664.800	180	500.000	720.000
181	500.000	0.000	182	500.000	25.400	183	500.000	50.800
184	500.000	99.060	185	500.000	147.320	186	500.000	195.580
187	500.000	246.380	188	500.000	304.800	189	500.000	360.000
190	530.480	0.000	191	530.480	25.400	192	530.480	50.800
193	530.480	99.060	194	530.480	147.320	195	530.480	195.580
196	530.480	246.380	197	530.480	304.800	198	530.480	360.000
199	560.960	0.000	200	560.960	25.400	201	560.960	50.800
202	560.960	99.060	203	560.960	147.320	204	560.960	195.580
205	560.960	246.380	206	560.960	304.800	207	560.960	360.000
208	591.440	0.000	209	591.440	25.400	210	591.440	50.800
211	591.440	99.060	212	591.440	147.320	213	591.440	195.580
214	591.440	246.380	215	591.440	304.800	216	591.440	360.000
217	621.920	0.000	218	621.920	25.400	219	621.920	50.800
220	621.920	99.060	221	621.920	147.320	222	621.920	195.580
223	621.920	246.380	224	621.920	304.800	225	621.920	360.000
226	682.880	0.000	227	682.880	25.400	228	682.880	50.800
229	682.880	99.060	230	682.880	147.320	231	682.880	195.580
232	682.880	246.380	233	682.880	304.800	234	682.880	360.000
235	743.840	0.000	236	743.840	25.400	237	743.840	50.800
238	743.840	99.060	239	743.840	147.320	240	743.840	195.580
241	743.840	246.380	242	743.840	304.800	243	743.840	360.000
244	855.280	0.000	245	855.280	25.400	246	855.280	50.800
247	855.280	99.060	248	855.280	147.320	249	855.280	195.580
250	855.280	246.380	251	855.280	304.800	252	855.280	360.000

253	956.720	0.000	254	956.720	25.400	255	956.720	50.800
256	956.720	99.060	257	956.720	147.320	258	956.720	195.580
259	956.720	246.380	260	956.720	304.800	261	956.720	360.000
262	1000.000	0.000	263	1000.000	25.400	264	1000.000	50.800
265	1000.000	99.060	266	1000.000	147.320	267	1000.000	195.580
268	1000.000	246.380	269	1000.000	304.800	270	1000.000	360.000
271	500.000	360.000	272	500.000	385.400	273	500.000	410.800
274	500.000	459.060	275	500.000	507.320	276	500.000	555.580
277	500.000	606.380	278	500.000	664.800	279	500.000	720.000
280	530.480	360.000	281	530.480	385.400	282	530.480	410.800
283	530.480	459.060	284	530.480	507.320	285	530.480	555.580
286	530.480	606.380	287	530.480	664.800	288	530.480	720.000
289	560.960	360.000	290	560.960	385.400	291	560.960	410.800
292	560.960	459.060	293	560.960	507.320	294	560.960	555.580
295	560.960	606.380	296	560.960	664.800	297	560.960	720.000
298	591.440	360.000	299	591.440	385.400	300	591.440	410.800
301	591.440	459.060	302	591.440	507.320	303	591.440	555.580
304	591.440	606.380	305	591.440	664.800	306	591.440	720.000
307	621.920	360.000	308	621.920	385.400	309	621.920	410.800
310	621.920	459.060	311	621.920	507.320	312	621.920	555.580
313	621.920	606.380	314	621.920	664.800	315	621.920	720.000
316	682.880	360.000	317	682.880	385.400	318	682.880	410.800
319	682.880	459.060	320	682.880	507.320	321	682.880	555.580
322	682.880	606.380	323	682.880	664.800	324	682.880	720.000
325	743.840	360.000	326	743.840	385.400	327	743.840	410.800
328	743.840	459.060	329	743.840	507.320	330	743.840	555.580
331	743.840	606.380	332	743.840	664.800	333	743.840	720.000
334	855.280	360.000	335	855.280	385.400	336	855.280	410.800
337	855.280	459.060	338	855.280	507.320	339	855.280	555.580
340	855.280	606.380	341	855.280	664.800	342	855.280	720.000
343	956.720	360.000	344	956.720	385.400	345	956.720	410.800

346 956.720 459.060 347 956.720 507.320 348 956.720 555.580
 349 956.720 606.380 350 956.720 664.800 351 956.720 720.000
 352 1000.000 360.000 353 1000.000 385.400 354 1000.000 410.800
 355 1000.000 459.060 356 1000.000 507.320 357 1000.000 555.580
 358 1000.000 606.380 359 1000.000 664.800 360 1000.000 720.000

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	-0.2	0.0	18	-0.4	0.0	27	-0.4	0.0
36	-0.3	0.0	45	-0.3	0.0	54	-0.1	0.0
63	0.2	0.0	72	0.2	0.0	81	0.1	0.0

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

9	-0.8	18	-1.0	27	-0.9	36	-0.7	45	-0.5
54	-0.1	63	0.1	72	0.1	81	0.1		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.4	-0.4	18	-0.5	-0.5	27	-0.5	-0.5
36	-0.4	-0.4	45	-0.2	-0.2	54	0.0	0.0
63	0.1	0.1	72	0.1	0.1	81	0.1	0.1

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 0.1 0.0

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

172 -0.1 173 0.0 174 0.0 175 0.0 176 0.0

177 0.0 178 0.0 179 0.0 180 0.1

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 0.1 198 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	0.1	0.0	83	0.1	0.0	84	0.1	0.0
85	0.1	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.1	0.0	90	0.1	0.0

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

82	0.1	83	0.1	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.2		

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	-2573.568	0.000	0.000	1286.784	0.000	-2573.568
19	1	-358.390	0.000	0.000	179.195	0.000	-358.390
37	1	237.250	0.000	0.000	118.625	237.250	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2573.568 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .22082E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

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

9	-0.3	0.0	18	-0.8	0.0	27	-0.8	0.0
36	-0.8	0.0	45	-1.0	0.0	54	-0.7	0.0
63	-0.2	0.0	72	0.4	0.0	81	0.3	0.0

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

9	-1.3	18	-1.7	27	-1.9	36	-1.8	45	-1.5
54	-0.8	63	-0.1	72	0.3	81	0.4		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.6	-0.6	18	-0.9	-0.9	27	-0.9	-0.9
36	-0.9	-0.9	45	-0.8	-0.8	54	-0.4	-0.4
63	-0.1	-0.1	72	0.1	0.1	81	0.2	0.2

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

172	-0.2	0.0	173	-0.1	0.0	174	0.0	0.0
175	0.1	0.0	176	0.1	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.1	0.0	180	0.2	0.0

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

172	-0.4	173	-0.2	174	0.0	175	0.1	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.2		

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	0.1	0.0	198	0.1	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	0.3	198	0.2	207	0.1	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	0.2	0.2	198	0.1	0.1	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	0.1	0.0	83	0.2	0.0	84	0.2	0.0
85	0.2	0.0	86	0.2	0.0	87	0.1	0.0
88	0.1	0.0	89	0.3	0.0	90	0.6	0.0

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

82	0.3	83	0.2	84	0.2	85	0.1	86	0.1
87	0.1	88	0.0	89	0.1	90	0.6		

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	0.1	0.1

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR
MINOR

1	1	-2116.160	0.000	0.000	1058.080	0.000	-2116.160
19	1	-379.303	0.000	0.000	189.652	0.000	-379.303
37	1	-1972.539	0.000	0.000	986.270	0.000	-1972.539

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2116.160 (NODE 1)
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS
.000000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .22082E-01
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 45.29

**Lampiran 6 Hasil Analisis KENPAVE-KENSLABS pada Perkerasan Kaku
Alternatif 5 Lalu Lintas Berat Desain Bina Marga 2024**

INPUT FILE NAME -C:\KENPAVE\Analisis Sambungan Rigid Trial 18.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -sambungan

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 <i>SLABS</i> (NSLAB)	=	4
TOTAL NUMBER OF JOINTS (NJOINT)	=	4

ARRANGEMENT OF *SLABS*

SLAB NO. NODES (NX) NO. NODES (NY) 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)-----= 0.001
 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))-----=
 4279.471

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500

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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 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 91.44 121.92 182.88 243.84 355.28 456.72 500
 Y = 0 25.4 50.8 99.06 147.32 195.58 246.38 304.8 360

LAYER NO.	THICKNESS (T)	POISSON'S RATIO (PR)	YOUNG'S MODULUS (YM)
1	18.50000	0.15000	2.701E+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:

<i>SLAB</i> NO.	X COORDINATES (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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:

<i>SLAB</i> NO.	X COORDINATES (LS)	(XL1)	(XL2)	Y COORDINATES (YL1)	(YL2)	INTENSITY (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	245.38000	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) = 26400

POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) = 0.45

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

POISSON'S RATIO OF *DOWEL BAR* (PRSB) = 0.30000

JOINT SPRING CONSTANT MODULUS OF DOWEL DOWEL JOINT
GAP NODE

NO. SHEAR MOMENT DOWEL SUP. DIA. SPACING WIDTH DOWEL
JOINT

	(SPCON1)	(SPCON2)	(SCKV)	(BD)	(BS)	(WJ)	(GDC)	(NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	70.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.800	30.000	0.500	0.00000	0

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

658 0

JOINT NO. EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)

1	3.910E+00
2	4.321E+01
3	3.910E+00
4	4.321E+01

THE GLOBAL COORDINATES (XO AND YO) OF EACH NODE ARE:

1	0.000	0.000	2	0.000	25.400	3	0.000	50.800
4	0.000	99.060	5	0.000	147.320	6	0.000	195.580
7	0.000	246.380	8	0.000	304.800	9	0.000	360.000
10	30.480	0.000	11	30.480	25.400	12	30.480	50.800
13	30.480	99.060	14	30.480	147.320	15	30.480	195.580
16	30.480	246.380	17	30.480	304.800	18	30.480	360.000
19	60.960	0.000	20	60.960	25.400	21	60.960	50.800
22	60.960	99.060	23	60.960	147.320	24	60.960	195.580
25	60.960	246.380	26	60.960	304.800	27	60.960	360.000
28	91.440	0.000	29	91.440	25.400	30	91.440	50.800
31	91.440	99.060	32	91.440	147.320	33	91.440	195.580
34	91.440	246.380	35	91.440	304.800	36	91.440	360.000
37	121.920	0.000	38	121.920	25.400	39	121.920	50.800
40	121.920	99.060	41	121.920	147.320	42	121.920	195.580
43	121.920	246.380	44	121.920	304.800	45	121.920	360.000
46	182.880	0.000	47	182.880	25.400	48	182.880	50.800
49	182.880	99.060	50	182.880	147.320	51	182.880	195.580
52	182.880	246.380	53	182.880	304.800	54	182.880	360.000
55	243.840	0.000	56	243.840	25.400	57	243.840	50.800
58	243.840	99.060	59	243.840	147.320	60	243.840	195.580
61	243.840	246.380	62	243.840	304.800	63	243.840	360.000
64	355.280	0.000	65	355.280	25.400	66	355.280	50.800

67	355.280	99.060	68	355.280	147.320	69	355.280	195.580
70	355.280	246.380	71	355.280	304.800	72	355.280	360.000
73	456.720	0.000	74	456.720	25.400	75	456.720	50.800
76	456.720	99.060	77	456.720	147.320	78	456.720	195.580
79	456.720	246.380	80	456.720	304.800	81	456.720	360.000
82	500.000	0.000	83	500.000	25.400	84	500.000	50.800
85	500.000	99.060	86	500.000	147.320	87	500.000	195.580
88	500.000	246.380	89	500.000	304.800	90	500.000	360.000
91	0.000	360.000	92	0.000	385.400	93	0.000	410.800
94	0.000	459.060	95	0.000	507.320	96	0.000	555.580
97	0.000	606.380	98	0.000	664.800	99	0.000	720.000
100	30.480	360.000	101	30.480	385.400	102	30.480	410.800
103	30.480	459.060	104	30.480	507.320	105	30.480	555.580
106	30.480	606.380	107	30.480	664.800	108	30.480	720.000
109	60.960	360.000	110	60.960	385.400	111	60.960	410.800
112	60.960	459.060	113	60.960	507.320	114	60.960	555.580
115	60.960	606.380	116	60.960	664.800	117	60.960	720.000
118	91.440	360.000	119	91.440	385.400	120	91.440	410.800
121	91.440	459.060	122	91.440	507.320	123	91.440	555.580
124	91.440	606.380	125	91.440	664.800	126	91.440	720.000
127	121.920	360.000	128	121.920	385.400	129	121.920	410.800
130	121.920	459.060	131	121.920	507.320	132	121.920	555.580
133	121.920	606.380	134	121.920	664.800	135	121.920	720.000
136	182.880	360.000	137	182.880	385.400	138	182.880	410.800
139	182.880	459.060	140	182.880	507.320	141	182.880	555.580
142	182.880	606.380	143	182.880	664.800	144	182.880	720.000
145	243.840	360.000	146	243.840	385.400	147	243.840	410.800
148	243.840	459.060	149	243.840	507.320	150	243.840	555.580
151	243.840	606.380	152	243.840	664.800	153	243.840	720.000
154	355.280	360.000	155	355.280	385.400	156	355.280	410.800
157	355.280	459.060	158	355.280	507.320	159	355.280	555.580

160	355.280	606.380	161	355.280	664.800	162	355.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.060	167	456.720	507.320	168	456.720	555.580
169	456.720	606.380	170	456.720	664.800	171	456.720	720.000
172	500.000	360.000	173	500.000	385.400	174	500.000	410.800
175	500.000	459.060	176	500.000	507.320	177	500.000	555.580
178	500.000	606.380	179	500.000	664.800	180	500.000	720.000
181	500.000	0.000	182	500.000	25.400	183	500.000	50.800
184	500.000	99.060	185	500.000	147.320	186	500.000	195.580
187	500.000	246.380	188	500.000	304.800	189	500.000	360.000
190	530.480	0.000	191	530.480	25.400	192	530.480	50.800
193	530.480	99.060	194	530.480	147.320	195	530.480	195.580
196	530.480	246.380	197	530.480	304.800	198	530.480	360.000
199	560.960	0.000	200	560.960	25.400	201	560.960	50.800
202	560.960	99.060	203	560.960	147.320	204	560.960	195.580
205	560.960	246.380	206	560.960	304.800	207	560.960	360.000
208	591.440	0.000	209	591.440	25.400	210	591.440	50.800
211	591.440	99.060	212	591.440	147.320	213	591.440	195.580
214	591.440	246.380	215	591.440	304.800	216	591.440	360.000
217	621.920	0.000	218	621.920	25.400	219	621.920	50.800
220	621.920	99.060	221	621.920	147.320	222	621.920	195.580
223	621.920	246.380	224	621.920	304.800	225	621.920	360.000
226	682.880	0.000	227	682.880	25.400	228	682.880	50.800
229	682.880	99.060	230	682.880	147.320	231	682.880	195.580
232	682.880	246.380	233	682.880	304.800	234	682.880	360.000
235	743.840	0.000	236	743.840	25.400	237	743.840	50.800
238	743.840	99.060	239	743.840	147.320	240	743.840	195.580
241	743.840	246.380	242	743.840	304.800	243	743.840	360.000
244	855.280	0.000	245	855.280	25.400	246	855.280	50.800
247	855.280	99.060	248	855.280	147.320	249	855.280	195.580
250	855.280	246.380	251	855.280	304.800	252	855.280	360.000

253	956.720	0.000	254	956.720	25.400	255	956.720	50.800
256	956.720	99.060	257	956.720	147.320	258	956.720	195.580
259	956.720	246.380	260	956.720	304.800	261	956.720	360.000
262	1000.000	0.000	263	1000.000	25.400	264	1000.000	50.800
265	1000.000	99.060	266	1000.000	147.320	267	1000.000	195.580
268	1000.000	246.380	269	1000.000	304.800	270	1000.000	360.000
271	500.000	360.000	272	500.000	385.400	273	500.000	410.800
274	500.000	459.060	275	500.000	507.320	276	500.000	555.580
277	500.000	606.380	278	500.000	664.800	279	500.000	720.000
280	530.480	360.000	281	530.480	385.400	282	530.480	410.800
283	530.480	459.060	284	530.480	507.320	285	530.480	555.580
286	530.480	606.380	287	530.480	664.800	288	530.480	720.000
289	560.960	360.000	290	560.960	385.400	291	560.960	410.800
292	560.960	459.060	293	560.960	507.320	294	560.960	555.580
295	560.960	606.380	296	560.960	664.800	297	560.960	720.000
298	591.440	360.000	299	591.440	385.400	300	591.440	410.800
301	591.440	459.060	302	591.440	507.320	303	591.440	555.580
304	591.440	606.380	305	591.440	664.800	306	591.440	720.000
307	621.920	360.000	308	621.920	385.400	309	621.920	410.800
310	621.920	459.060	311	621.920	507.320	312	621.920	555.580
313	621.920	606.380	314	621.920	664.800	315	621.920	720.000
316	682.880	360.000	317	682.880	385.400	318	682.880	410.800
319	682.880	459.060	320	682.880	507.320	321	682.880	555.580
322	682.880	606.380	323	682.880	664.800	324	682.880	720.000
325	743.840	360.000	326	743.840	385.400	327	743.840	410.800
328	743.840	459.060	329	743.840	507.320	330	743.840	555.580
331	743.840	606.380	332	743.840	664.800	333	743.840	720.000
334	855.280	360.000	335	855.280	385.400	336	855.280	410.800
337	855.280	459.060	338	855.280	507.320	339	855.280	555.580
340	855.280	606.380	341	855.280	664.800	342	855.280	720.000
343	956.720	360.000	344	956.720	385.400	345	956.720	410.800

346 956.720 459.060 347 956.720 507.320 348 956.720 555.580
 349 956.720 606.380 350 956.720 664.800 351 956.720 720.000
 352 1000.000 360.000 353 1000.000 385.400 354 1000.000 410.800
 355 1000.000 459.060 356 1000.000 507.320 357 1000.000 555.580
 358 1000.000 606.380 359 1000.000 664.800 360 1000.000 720.000

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	-0.2	0.0	18	-0.4	0.0	27	-0.4	0.0
36	-0.3	0.0	45	-0.3	0.0	54	-0.1	0.0
63	0.2	0.0	72	0.2	0.0	81	0.1	0.0

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

9	-0.8	18	-1.0	27	-0.9	36	-0.7	45	-0.5
54	-0.1	63	0.1	72	0.1	81	0.1		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.4	-0.4	18	-0.5	-0.5	27	-0.5	-0.5
36	-0.4	-0.4	45	-0.2	-0.2	54	0.0	0.0
63	0.1	0.1	72	0.1	0.1	81	0.1	0.1

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 0.1 0.0

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

172 -0.1 173 0.0 174 0.0 175 0.0 176 0.0

177 0.0 178 0.0 179 0.0 180 0.1

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 0.1 198 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	0.1	0.0	83	0.1	0.0	84	0.1	0.0
85	0.1	0.0	86	0.0	0.0	87	0.0	0.0
88	0.0	0.0	89	0.1	0.0	90	0.1	0.0

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

82	0.1	83	0.1	84	0.0	85	0.0	86	0.0
87	0.0	88	0.0	89	0.0	90	0.2		

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	-2564.535	0.000	0.000	1282.268	0.000	-2564.535
19	1	-359.936	0.000	0.000	179.968	0.000	-359.936
37	1	234.942	0.000	0.000	117.471	234.942	0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2564.535 (NODE 1)

FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS .20823E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

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

9	-0.3	0.0	18	-0.8	0.0	27	-0.8	0.0
36	-0.8	0.0	45	-1.0	0.0	54	-0.7	0.0
63	-0.2	0.0	72	0.4	0.0	81	0.3	0.0

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

9	-1.3	18	-1.7	27	-1.9	36	-1.8	45	-1.5
54	-0.9	63	-0.2	72	0.3	81	0.4		

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS

(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:

9	-0.6	-0.6	18	-0.9	-0.9	27	-0.9	-0.9
36	-0.9	-0.9	45	-0.8	-0.8	54	-0.4	-0.4
63	-0.1	-0.1	72	0.1	0.1	81	0.2	0.2

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

172	-0.2	0.0	173	-0.1	0.0	174	0.0	0.0
175	0.1	0.0	176	0.1	0.0	177	0.0	0.0
178	0.0	0.0	179	0.1	0.0	180	0.2	0.0

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

172	-0.4	173	-0.2	174	0.0	175	0.1	176	0.0
177	0.0	178	0.0	179	0.0	180	0.2		

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	0.1	0.0	198	0.1	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	0.3	198	0.2	207	0.1	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	0.2	0.2	198	0.1	0.1	207	0.0	0.1
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	0.1	0.0	83	0.2	0.0	84	0.2	0.0
85	0.2	0.0	86	0.2	0.0	87	0.1	0.0
88	0.1	0.0	89	0.3	0.0	90	0.6	0.0

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

82	0.3	83	0.2	84	0.2	85	0.1	86	0.1
87	0.1	88	0.0	89	0.1	90	0.6		

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	0.1	0.1

NODE LAYER STRESS X STRESS Y STRESS XY MAX.SHEAR MAJOR
MINOR

1	1	-2111.656	0.000	0.000	1055.828	0.000	-2111.656
19	1	-383.711	0.000	0.000	191.856	0.000	-383.711
37	1	-1966.082	0.000	0.000	983.041	0.000	-1966.082

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1 IS -2111.656 (NODE 1)
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS
.000000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) = .20823E-01
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS = 48.02

Lampiran 7 Data Sekunder Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahun 2024

DATA LHR 2024

Golongan Kendaraan	LHR 2024
1	2.340,00
2	1.117,00
3	832,00
4	478,00
5A	48,00
5B	57,00
6A	305,00
6B	248,00
7A1	
7A2	
7A3	
7B1	
7B2	
7B3	
7C1	
7C2A	
7C2B	
7C3	
7C4	
8	116,00

Lampiran 8 Data Sekunder CBR

III. HASIL PENGUJIAN

Rekapitulasi hasil pengujian DCP dari Sumur Uji / Test Pit dapat direkap sebagai berikut:

Titik	Lokasi	Nilai CBR (%)
DCP.1	Ruas Jalan Kayen - Bagetel, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	2,00
DCP.2	Ruas Jalan Gabus - Winong, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	2,00
DCP.3	Ruas Jalan Pati - Gabus, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	4,00
DCP.4	Ruas Jalan Jakenan - Jaken, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	1,00
DCP.5	Ruas Jalan Dukuhseti – Bts. Jepara, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	4,00
DCP 6	Ruas Jalan Pati – Rembang, Kabupaten Pati, Jawa Tengah	4,00

Adapun hasil-hasil test tersebut kami sajikan sebagaimana terlampir.

Demikian laporan hasil penyelidikan tanah ini disajikan, semoga dapat membantu dalam perencanaan maupun pelaksanaan pekerjaan yang akan dilaksanakan, dan atas kerja samanya kami ucapkan terima kasih.

Semarang, 27 Maret 2023

Laboratorium Mekanika Tanah

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik U N D I P

Koordinator Laboratorium



Dr. Kresno Wikan Sadono, ST., M. Eng.
NIP.198207162012121004

Lampiran 9 Gambar Detail Perkerasan *Rigid Exisiting*

