TUGAS AKHIR

EVALUASI DESAIN PERKERASAN KAKU PADA RUAS JALAN JL. RAYA TRUCUK DESA JATISARI – JL. RAYA TRUCUK DESA KALIKEBO MENGGUNAKAN METODE KENPAVE – KENSLABS (Sta. 10+000 – Sta. 12+000)

(EVALUATION DESIGN OF RIGID PAVEMENT THICKNESS ON THE ROAD SEGMENT JL. RAYA TRUCUK DESA JATISARI – JL. RAYA TRUCUK DESA KALIKEBO USING THE METHOD KENPAVE – KENSLABS (Sta. 10+000 – Sta. 12+000)

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

DIKO ALDOMORA

18511049

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

EVALUASI DESAIN PERKERASAN KAKU PADA RUAS JALAN JL. RAYA TRUCUK DESA JATISARI – JL. RAYA TRUCUK DESA KALIKEBO MENGGUNAKAN METODE KENPAVE – KENSLABS (Sta. 10+000 – Sta. 12+000)

(EVALUATION DESIGN OF RIGID PAVEMENT THICKNESS ON THE ROAD SEGMENT JL. RAYA TRUCUK DESA JATISARI – JL. RAYA TRUCUK DESA KALIKEBO USING THE METHOD KENPAVE – KENSLABS (Sta. 10+000 – Sta. 12+000)

Disusun oleh

Diko Aldomora
18511049

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji 1	Penguji 2
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	**Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng.**	**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**
NIK: 215111307	**NIK: 015110101**	**NIK: 955110103**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 19 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Diko Aldomora

(18511049)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Evaluasi Desain Perkerasan Kaku Pada Ruas Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari - Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo Menggunakan Metode Kenpave - Kenslabs". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak bantuan dari berbagai pihak, baik dalam bentuk bimbingan, dukungan, saran, maupun kritik yang membangun. Atas segala bantuan tersebut, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir sekaligus memberi banyak ilmu kepada peneliti. Ucapan Terimakasih tidaklah pernah cukup untuk membalas seluru ilmu yang telah beliau berikan. Semoga suatu saat peneliti mampu menjadi guru besar dan orang hebat seperti beliau.
2. Bapak alm H.Sridaya dan ibu Hj.Sumartini sebagai orang tua penulis yang telah berkorban banyak baik material maupun spiritual dan memberikan doroangan motivasi penyemangat hingga selesainya Tugas Akhir ini.
3. Saudara saudara penulis semua yang sudah memberikan dorongan motivasi sehingga Tugas Akhir ini selesai.

Yogyakarta, 19 Agustus 2025



Diko Aldomora

(18511049)

DAFTAR ISI

COVER i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR iii

DAFTAR TABEL iv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Rumusan Masalah 5

1.3 Tujuan Penelitian 5

1.4 Manfaat Penelitian 6

1.5 Batasan Penelitian 7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8

2.1 Tinjauan Umum 8

2.2 Perkerasan Jalan 8

2.2.1 *Flexible Pavement* (Perkerasan Lentur) 9

2.2.2 *Rigid Pavement* (Perkerasan Kaku) 10

2.2.3 *Composite Pavement* (Perekrasan Komposit) 11

2.3 Penelitian Terdahulu 12

2.3.1 Desain Bina Marga 12

2.3.2 Desain *KENVAPE* 15

2.4 2.4 Perbandingan Penelitian 18

BAB III LANDASAN TEORI 21

3.1 Perkerasan 21

3.2 Tipe-Tipe Perkerasan 23

3.3 Perkerasan Kaku25

3.3.1 Macam-Macam Perkerasan Kaku 26

3.3.2 Jenis Kerusakan Perkerasan Kaku dan Faktor Penyebabnya 27

3.4 Tanah Dasar 30

3.5 Beton 31

3.5.1 Kuat Tekan Beton 31

3.5.2 Kuat Lentur Beton 31
3.5.3 Kuat Tarik Beton 31
3.6 Sambungan 32
3.6.1 Sambungan Pelaksanaan (*Construction Joint*) 33
3.6.2 Sambungan Muai (*Expansion Joint*) 33
3.6.3 Sambungan Susut (*Contraction Joint*) 34
3.6.4 Sambungan Isolasi (*Isolation Joint*) 34
3.6.5 Ruji (*Dowel*) 35
3.6.6 *Tie-Bar* 36
3.7 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2017 37
3.7.1 Menetukan Umur Rencana 37
3.7.2 Lalu Lintas 38
3.7.3 Drainase Perkerasan 44
3.7.4 Menentukan Daya Dukung Efektif Tanah Dasar dan Desain Fondasi Jalan 46
3.7.5 Penentuan Tebal Pelat Beton 48
3.8 Program *KENPAVE-KENSLAB* 49
3.8.1 Analisis Menggunakan Program *KENSLAB* 52
3.8.2 Analisis Data Lalu Lintas 52
3.8.3 Detail Beban Sumbu dan Roda 53
3.8.4 Analisis Data Material 53
3.8.5 Input *KENSLAB* 56
BAB IV METODE PENELITIAN 62
4.1 Lokasi Penelitian 62
4.2 Langkah-langkah Penelitian 62
4.3 Metode Mekanistik-Empiris dengan Program *KENPAVE* 63
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 74
5.1 Perhitungan Tebal Struktur Perkerasan Kaku dengan Bina Marga 2017 74
5.1.1 Data Penelitian 74
5.1.2 Data Lalu Lintas 74
5.1.3 Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan Kaku 75

5.1.4 Perhitungan Sambungan dan Tulangan 78
5.2 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Kaku dengan *KENPAVE-KENSLABS* 81
5.2.1 Analisis Data Beban Lalu Lintas 81
5.2.2 Analisis Data Karakteristik Material 81
5.2.3 Analisis Data Konstruksi 84
5.2.4 Input Data *KENPAVE-KENSLABS* 84
5.2.5 *Output* Analisis Evaluasi Perkerasan Kaku Menggunakan *Software KENPAVE-KENSLABS* 91
5.3 Pembahasan 91
5.3.1 Desain Struktur Perkerasan pada Ruas Jalan ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo dengan Metode Bina Marga 2017 92
5.3.2 Evaluasi dan Pemodelan Struktur Desain Perkerasan Kaku Dengan Program *KENPAVE-KENSLABS* 93
5.3.3 Alternatif Desain Tebal Lapis Perkerasan Optimum Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo 94
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 96
5.1 Kesimpulan 96
5.2 Saran 97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang 19
Tabel 3.1 Kedalaman Tanah Dasar Menurut Look 2007 30
Tabel 3.2 Menentukan Umur Rencana 37
Tabel 3.3 Ekivalen Mobil Penumpang 38
Tabel 3.4 Golongan dan Kelompok Jenis Kendaraan 39
Tabel 3.5 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas(i) Minimum untuk Desain 40
Tabel 3.6 Faktor Distribusi Lajur (DL) 41
Tabel 3.7 Pengumpulan Data Beban Gandar 41
Tabel 3.8 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan 43
Tabel 3.9 Koefisien Drainase "*m*" untuk Tebal Lapis Berbutir 45
Tabel 3.10 Solusi Desain Fondasi Jalan Minimum 47
Tabel 3.11 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat 49
Tabel 3.12 Input *General* 57
Tabel 3.13 Jumlah Titik Sumbu X dan Y 58
Tabel 3.14 Koordinat Sumbu X 58
Tabel 3.15 Koordinat Sumbu Y 58
Tabel 3.16 Properti Slab Beton 58
Tabel 3.17 *Load Group Area* 59
Tabel 3.18 *Loaded Areas for Load Group* No. 1 59
Tabel 3.19 *Loaded Areas for Load Group* No. 2 59
Tabel 3.20 *Nodes for Printout* 60
Tabel 3.21 *Nodes Y Symmetry* 60
Tabel 3.22 *Solid Foundation* 60
Tabel 3.23 *Fatigue Properties* 61
Tabel 3.24 *Volume of Traffic* 61
Tabel 5.1 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo 74
Tabel 5.2 Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) 75

Tabel 5.3 Nilai Jumlah Kelompok Sumbu 76
Tabel 5.4 Perhitungan Nilai *HVAG* 77
Tabel 5.5 Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat 77
Tabel 5.6 Diameter Ruji 80
Tabel 5.7 Input Data Menu General 85
Tabel 5.8 Pengaturan pada Slab dan Joint 86
Tabel 5.9 Properti Slab 86
Tabel 5.10 Jumlah Koordinat Sumbu X dan Y 87
Tabel 5.11 Koordinat Sumbu X dan Y 87
Tabel 5.12 *Load Group Area* 87
Tabel 5.13 *Loaded Areas for Load Group No. 1* 88
Tabel 5.14 *Loaded Areas for Load Group No. 2* 88
Tabel 5.15 *Elastic Properties of Dowel Bars* 88
Tabel 5.16 *Nodess for Printout* 89
Tabel 5.17 *Nodes Y Symmetry* 89
Tabel 5.18 *Solid Foundation* 89
Tabel 5.19 *Joint of Four Slab* 90
Tabel 5.20 *Fatigue Properties* 90
Tabel 5.21 *Volume of Traffic* 90
Tabel 5.22 Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku dari *Software* 91
Tabel 5.23 Rekapitulasi Maksimum *Stress* dan Maksimum *Deflection* Desain Bina Marga 2017 dan Alternatif Perkerasan Kaku 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Perbedaan Penyebaran Tekanan Pada Perkerasan 22
Gambar 3.2 Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan (JPCP) 24
Gambar 3.3 Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan (JRCP) 24
Gambar 3.4 Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu (CRCP) 25
Gambar 3.5 Lapisan Perkerasan Kaku 26
Gambar 3.6 Sambungan Arah Memanjang 33
Gambar 3.7 Sambungan susut melintang 34
Gambar 3.8 Sambungan Isolasi 35
Gambar 3.9 Ruji (*Dowel*) pada Sambungan Melintang 36
Gambar 3.10 Tampilan Awal Program *KENPAVE* 50
Gambar 3.11 *Axle Configuration* 53
Gambar 3.12 Tampilan Awal *SLABSIN* 57
Gambar 4.1 Menu Utama Program Kenpave 64
Gambar 4.2 Input data pada menu *SLABINP* 64
Gambar 4.3 Analisis *KENSLABS* 65
Gambar 4.4 Melakukan prhitungan kontrol beban 70
Gambar 4.5 Analisis data lalu, waktu tinjauan analisis perkerasan dan menganalisis umur perkerasan jalan 70
Gambar 5.1 Tebal Perkerasan Kaku Lalu Lintas berat 78
Gambar 5.2 Geometri Sambungan Perkerasan BBTT/JPCP 79
Gambar 5.3 Detail Tie-bar (Batang Pengikat) 79
Gambar 5.4 Detail Dowel (Batang Ruji) 81
Gambar 5.5 Tampilan pada Menu *SLABSINP* 84
Gambar 5.6 Tampilan Data Input Menu *General* 86
Gambar 5.8 Tebal Desain Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat Bina Marga 2017 92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Perkerasan Kaku Eksisting 97

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Alternatif 1 Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat **Error! Bookmark not defined.**

Lampiran 3. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Perkerasan Alternatif 2 Kaku Lalu Lintas Berat **Error! Bookmark not defined.**

ABSTRAK

Jalan Raya Trucuk yang menghubungkan Desa Jatisari dan Desa Kalikebo merupakan jalur strategis dengan intensitas lalu lintas tinggi, baik untuk aktivitas masyarakat maupun akses menuju destinasi wisata di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Saat ini, beberapa segmen jalan mengalami kerusakan, seperti lubang dan kerusakan badan jalan, yang menurunkan kenyamanan serta berpotensi menimbulkan kecelakaan. Kondisi tersebut menuntut adanya pemeliharaan dan evaluasi perkerasan guna mengoptimalkan fungsi jalan sebagai penunjang mobilitas dan perekonomian wilayah.

Tujuan penelitian ini adalah merumuskan desain tebal lapisan perkerasan jalan yang optimal pada ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Desa Kalikebo dengan memanfaatkan perangkat lunak *KENPAVE-KENSLABS*. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketebalan perkerasan yang direkomendasikan berdasarkan metode Bina Marga 2017, serta melakukan analisis dan pemodelan struktur perkerasan kaku menggunakan pendekatan mekanistik-empirik untuk memperoleh rekomendasi desain yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Metode penelitian memanfaatkan program *KENPAVE* untuk menganalisis respons tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas pada ruas jalan yang diteliti. Data respons tersebut digunakan untuk menentukan batas beban gandar maksimum yang dapat ditahan sebelum terjadi kerusakan seperti *fatigue cracking, rutting,* maupun *permanent deformation.* Berdasarkan nilai beban gandar standar yang diperoleh, umur rencana jalan kemudian dihitung. Untuk perkerasan kaku, analisis dilakukan menggunakan menu KENSLABS dengan pemodelan viskoelastik dan simulasi beban gandar.

Hasil analisis *KENPAVE–KENSLABS* menunjukkan bahwa perkerasan eksisting dengan pelat beton K450 tebal 15 cm mengalami tegangan maksimum sebesar 2928,887 kPa *(single axle)* dan 2196,807 kPa *(tandem axle),* dengan lendutan masing-masing 1,927 mm dan 3,992 mm. Nilai *index cracking* mencapai 12,2% per tahun dengan umur rencana hanya 6 tahun, sehingga dinilai tidak mampu menahan beban lalu lintas secara optimal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa ketebalan 15 cm masih terlalu tipis dan memerlukan penambahan lapis perkerasan agar kinerja struktural jalan meningkat.

Kata Kunci: Desain Struktur Perkerasan Kaku, Ruas Jalan Trucuk, *Kenpave – Kenslabs.*

ABSTRACT

Trucuk Highway, which connects Jatisari and Kalikebo Villages, is a strategic route with high traffic volume, both for community activities and access to tourist destinations in Central Java and the Special Region of Yogyakarta. Currently, several road segments are experiencing damage, such as potholes and road surface damage, which reduces comfort and has the potential to cause accidents. This condition requires maintenance and evaluation of the pavement to optimize the road's function as a support for mobility and the regional economy.

The purpose of this study is to formulate the optimal design of the pavement layer thickness on the Trucuk Highway section of Jatisari Village – Kalikebo Village by utilizing the KENPAVE-KENSLABS software. In addition, this study aims to evaluate the recommended pavement thickness based on the 2017 Bina Marga method, as well as to conduct analysis and modeling of rigid pavement structures using a mechanistic-empirical approach to obtain design recommendations that are appropriate to field conditions.

The research method utilizes the KENPAVE program to analyze the stress and strain responses due to traffic loads on the studied road sections. The response data is used to determine the maximum axle load limit that can be sustained before damage such as fatigue cracking, rutting, or permanent deformation occurs. Based on the standard axle load values obtained, the design life of the road is then calculated. For rigid pavements, the analysis is performed using the KENSLABS menu with viscoelastic modeling and axle load simulation.

The results of the KENPAVE–KENSLABS analysis show that the existing pavement with a 15 cm thick K450 concrete slab experiences a maximum stress of 2928.887 kPa (single axle) and 2196.807 kPa (tandem axle), with deflections of 1.927 mm and 3.992 mm, respectively. The cracking index value reaches 12.2% per year with a design life of only 6 years, so it is considered unable to withstand traffic loads optimally. This condition indicates that the thickness of 15 cm is still too thin and requires additional layers of pavement to improve the structural performance of the road.

Keywords: Rigid Pavement Structure Design, Trucuk Road Section, Kenpave – Kenslabs.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Jalan merupakan bagian infrastrktur yang masuk dalam kategori paling penting bagi masyarakat yang dapat digunakan sebagai penopang hilir mudik dalam mendukung kegiatan sehari-hari hingga efektivitas kegiatan bisnis. Dengan demikian pembangunan jalan harus berdasarkan pada ketentuan-ketantuan atau standart tertentu yang mampu memberikan ketahanan serta tingkat keamanan, misalnya memenuhi standar tebal perkerasakan yang dirancang secara efektif dan seefisien mungkin.

Pentingnya perkerasaan sebagai dasar pembangunan suatu jalan memunculkan beragam metode perkerasan yang dirancang sebagai acuan yang dapat digunakan dalam pembangunan jalan. Simanjuntak (2014) menyebutkan bahwa metode perkerasan dapat diklasifikasikan kedalam lima bagian yakni metode empiris, metode kegagalan geser, mtode membatasi defleksi, metode road test dan metode mekanistik empiris. Secara umum perkerasan jalan raya terdiri dari lapisan bahan olahan yang diletakkan di atas tanah dasar, yang fungsi dasarnya adalah mendistribusikan beban yang diberikan ke tanah dasar. Struktur perkerasan harus mampu memberikan permukaan dengan kualitas pengendaraan yang baik, ketahanan selip yang memadai, karakteristik pemantulan cahaya yang baik, dan polusi suara yang rendah (Jain dkk, 2013).

Jalan Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo merupakan salah satu jalan yang cukup menjadi satu perhatian khusus bagi pemerintah daerah mengingat bahwa jalan ini merupakan akses yang cukup tinggi dilewati oleh berbagai kalangan masyarakat. Baik untuk aktifitas kegiatan sehari-hari maupun jalur lintas menuju lokasi pariwisata yang ada di Jawa tengah dan Daerah Istimewa yogyakarta. Namun saat ini Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo terlihat cukup rusak dibeberapa titik ruas jalan.

. Dengan demikian ruas jalan ini memerlukan pemeliharaan yang cukup guna mencapai optimalisasi penggunaan jalan bagi untuk kegiatan harian masyarakat maupun penopang jalannya perputaran bisnis di wilayah tertentu. Kerusakan yang terlihat saat ini adalah banyaknya jalan berlubang dan kerusakan bagian-bagian badan jalan yang secara langsung dapat mengganggu kenyamanan berkendara dan dapat memicu terjadinya laka lantas, dengan demikian memerlukan evalusasi dari perkerasan kaku atau kondisi tertentu pada bagian jalan.

Perkerasan kaku atau yang umum dikenal sebagai *rigid pavement* merupakan perkerasan yang identik dengan penggunaan semen (*Portland cement*) yang digunakan sebagai bahan pengikat (Sukarno, 2020). Menurut Hellyantoro dkk., (2013) perancangan tebal perkerasan pada jalan memerlukan tindakan evaluasi sebagai bentuk hasil dalam mengetahui kemampuan jalan dalam menahan beban kendaraan yang melintas diatasnya. Menurut Hadi dan Fauziah, (2022) menyebutkan bahwa perencanaan desain perkerasaan tidak hanya cukup sebatas teori untuk memperoleh hasil dari desain perkerasaan, namun juga memerlukan pengamatan mendalam yang didalamnya mencakup prediksi kerusakan yang memungkinkan terjadi sehingga diperoleh hasil prediksi perkerasan jalan yang baik.

Metode evalusasi yang digunakan untuk mengukur tebal keras jalan sebelumnya telah banyak ditemukan, salah satunya adalah menggunakan program *Kenpave*. Program ini di nilai dapat menghitung regangan pada struktur perkerasan dan juga dapat menghitung jumlah repetisi beban berdasarkan analisa kerusakan perkerasan baik yang bersifat fatik maupun alur. Program *Kenvape* merupakan salah satu software desain perencanaan perkerasan. Menurut Huang, (2004) program *kenpave* adalah versi Windows pengganti empat program DOS dari *Layernip, Kenlayer, Slabinp,* dan *Kenslabs. Layerinp* dan *Kenlater* merupakan program analisis untuk perkerasan lentur, sedangkan *Slabinp* dan Kenslabs merupakan program analisi untuk pererasan kaku. Software KENPAVE-KENSLABS berbasis pada metode elemen hingga, dimana slab beton dibagi menjadi elemen hingga persegi panjang dengan sejumlah besar node, baik beban roda dan reaksi tanah dasar diterapkan ke pelat sebagai kekuatan terkonsentrasi vertikal di node (Huang, 1985). Menurut Purwanto dan Bachnas

Software *KENPAVE-KENSLABS* memiliki beberapa kapabilitas yakni dapat menganalisis maksimum 6 (enam) buah slab beton, kemudian tiap slab dapat mempunyai ketebalan yang beragam.

Huang (2004) mengembangkan program komputer bernama *KENPAVE* yang dirancang khusus untuk analisis perkerasan jalan. Di *KENPAVE* terdapat dua program utama yaitu *KENLAYER* dan *KENSLAB*. *KENLAYER* digunakan untuk tegangan perkerasan lentur sedangkan *KENSLAB* digunakan untuk analisis perkerasan kaku. Menurut Yu dkk., (2017) *KENPAVE* merupakan sebuah program elemen hingga dua dimensi, dikembangkan secara khusus untuk desain perkerasan kaku dan perkerasan fleksibel. Sebagai subprogram *KENPAVE*, *KENSLABS* dapat digunakan untuk desain perkerasan beton semen. Kemudian Qisti dan Kushari, (2019) menjelaskan bahwa analisis menggunakan *KENSLAB* dijelaskan bahwa pembebanan yang terjadi pada perkerasan dianggap statis. Selanjutnya menurut (Arianto, 2023) *KENSLABS* adalah program utama untuk analisis perkerasan dan hanya dapat dijalankan setelah file data dibuat. *KENSLAB* adalah program yang sederhana dan kuat berdasarkan elemen hingga pelat tipis yang bertumpu pada pondasi (Al-Ghafri dan Javid, 2018). Selanjutnya Patel dkk., (2022) menunjukkan bahwa estimasi tegangan menggunakan persamaan *Westergaard* lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan software *KENPAVE* pada semua lokasi kritis.

Penelitian yang mengkaji tentang penggunaan Program *KENVAPE* sebelumnya juga sudah banyak dilakukan, misalnya Hadi dan Fauziah, (2022) mengkaji tentang prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik, Rind dkk., (2017) menganalisis desain perkerasan fleksibel menggunakan perangkat lunak berbasis empiris-mekanistik (*KENPAVE*), Ramadhani dan Fauziah, (2018) pada studi kasus jalan Jogja-Solo, Dinata dkk., (2017) pada studi kasus Jalan Karangmojo-Semin, Suwanda dan Kushari, (2019) pada studi kasus Jalan Tempel-Pakem, Hadi, (2023) pada studi kasus Jalan Batas Kabupaten Kampar- Batas Kota Bengkinang.

Penelitian ini akan berfokus pada Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku kemudian mengevalusasi pemodelan struktur *rigid pavement* dengan metode

mekanistik-empirik menggunakan Software *KEVAPE-KENSLAB* Pada Ruas Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo. Hasil akhir dari penelitian ini akan menyajikan data berupa hasil evaluasi perkerasan dan pemodelan struktur *rigid pavement* dan mampu memprediksi ketahanan dari aspal dari jenis perkerasan yang digunakan. Selain itu penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif bagi pemerintah daerah untuk melakukan inovasi dan pemanfaatan hasil penelitian dalam proses dan implementasi perbaikan jalan di Indonesia khususnya Kabupaten Klaten Jawa Tengah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa tebal perkerasan yang sesuai dengan metode Bina Marga 2017 ?
2. Bagaimana evaluasi dan pemodelan struktur *rigid pavement* dengan Metode Mekanistik-Empirik menggunakan Software *KENPAVE-KENSLABS*?
3. Bagaimana alternatif desain tebal lapis perkerasan optimum Jalan Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo dengan Bina marga 2017?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui dan menganalisis bagaimana alternatif desain tebal lapis perkerasan optimum Jalan Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo dengan menggunakan *KENPAVE-KENSLABS*
2. Untuk mengevaluasi berapa tebal perkerasan yang sesuai dengan metode Bina Marga 2017
3. Untuk mengetahui evaluasi dan pemodelan struktur *rigid pavement* dengan Metode Mekanistik-Empirik menggunakan Software *KENPAVE-KENSLABS*

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk pemerintah setempat, penelitian ini dapat dijadikan acuan dan pertimbangan dalam penyusunan perencanaan pembangunan jalan serta dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dalam penigkatan mutu sarana dan prasana jalan yang baik untuk masyarakat dan pengguna jalan lainnya.
2. Bagi pembaca, penelitian ini dapat dijadikan bahan bacaan serta referensi pengembangan ilmu pengetahuan bahan riset yang berkaitan langsung dengan perkerasan jalan
3. Bagi masyarakat, penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber pengetahuan kerusakan jalan di wilayahnya.

1.5 Batasan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian diatas, maka batasan penelitian ini diklasifikasikan kedalam beberapa bagian, yakni sebagai berikut:

1. Penelitian ini membatasi bahwa ruas jalan yang ditinjau adalah perkerasan kaku sepanjang 3 Km yang berada diantara jalur Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo.
2. Penelitian ini hanya membahas tentang evakuasi pada perkerasan kaku (*rigid pavement*)
3. Penelitian ini hanya menggunakan manual desai perkerasan kaku nomor 02/M/BM/2013 dan perencanaan jalan beton semen Pd T-14-2003.
4. Data yang digunakan diperoleh melalui hasil observasi langsung, dan data primer berupa hasil pengamatan kondisi jalan rusak. Kemudian data skunder yang digunakan adalah CBR tanah dasar dari DPU, kondisi perkerasan, data tanah dasar, analisis tanah dasar tingkat pertumbuhan dan data topografi.
5. Penelitian ini tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut UU Jalan Raya No.13/1980, jalan adalah infrastruktur transportasi darat dalam berbagai bentuk, termasuk semua bagian jalan beserta bangunan dan perlengkapannya yang digunakan untuk lalu lintas. Jalan Umum adalah jalan yang digunakan untuk lalu lintas umum, sedangkan jalan khusus adalah jalan yang tidak boleh digunakan oleh umum. Jalan Tol atau jalan bebas hambatan adalah jalan umum yang penggunaannya memerlukan pembayaran tol. Jalan tol merupakan alternatif dari jalan umum yang sudah ada, yang bertujuan untuk mengatasi kemacetan dan mengembangkan wilayah dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi layanan distribusi dan pertumbuhan ekonomi serta kualitas hidup masyarakat. Selain itu, tujuan dari jalan tol adalah untuk mempercepat pembangunan jaringan jalan dengan pendanaan yang berasal dari pengguna jalan dan investor, sehingga dapat meringankan beban anggaran pemerintah.

2.2 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian dari konstruksi jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan dan kekakuan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman (Juwita dkk, 2023).

Perkerasan beton semen atau lebih dikenal sebagai perkerasan kaku adalah suatu struktur perkerasan yang umumnya terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan atau tanpa tulangan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002). Perkerasan jalan semen Portland atau lebih sering disebut perkerasan kaku atau juga disebut *rigid pavement*, terdiri dari pelat beton semen Portland dan lapisan pondasi (bisa juga tidak ada) diatas tanah dasar (Widodo, 2018).

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan permukaan kadar air selama masa pelayanan. Menurut Sidabutar

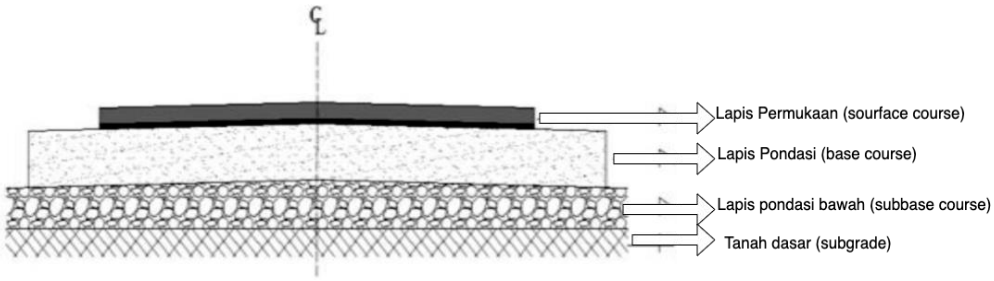
dkk., (2021) lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen memiliki beberapa fungsi yakni sebagai berikut:

a. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
b. Mencegah instrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
c. Memberi dukungan yang lebih baik dan seragam pada pelat.
d. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Hardiyatmo (2015) menguraikan bahwa perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi maka akan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton itu sendiri. Perkerasan jalan dapat dibedakan kedalam beberapa bagian yakni sebagai berikut:

2.2.1 *Flexible Pavement* (Perkerasan Lentur)

Flexible pavement atau perkerasan beton aspal (*asphalt concrete pavement*) merupakan campuaran agregat batu pecah, pasir, material pengisi, dan aspal yang dihamparkan dan dipadatkan. Perkerasan lentur dirancang untuk melendut dan kembali ke posisi semula bersama-sama dengan tanah dasar, dan perkerasan ini bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar tersebut. Sistem struktur jalan untuk jenis perkerasan lentur pada dasarnya terdiri dari tanah dasar (*subgrade*) yang berupa tanah dasar asli, timbunan atau galian, lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapis pondasi atas (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*), lapis permukaan biasanya dibagi lagi menjadi lapis aus (*wearing course*) dan lapis pengikat atau perekat (*prime coat* dan atau *tack coat*) yang diletakkan secara terpisah dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.

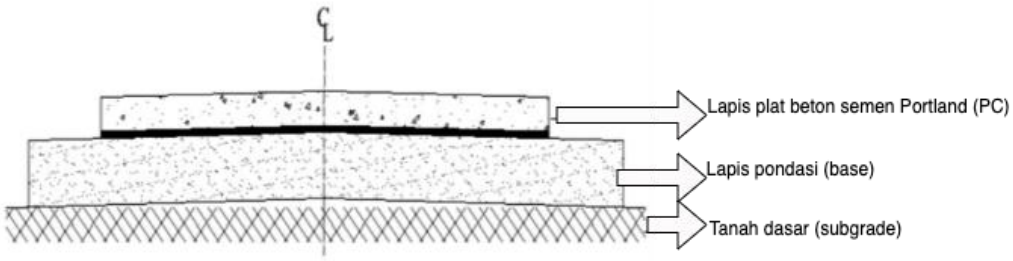


Gambar 2.1 Struktur *Flexible Pavement* (Perkerasan Lentur)

(Sumber : Modified Saodang, 2005)

2.2.2 *Rigid Pavement* (Perkerasan Kaku)

Rigid pavement (perkerasan kaku) atau perkerasan jalan beton semen portland (*Portland Cement*). Menurut *Federal Highway Administration* (FHWA, 2006) *Rigid Pavement* adalah perkerasan yang terdiri dari pelat beton semen Portland yang dibangun diatas lapis pondasi (*base*) yang berada diatas tanah dasar. Jadi, ada perbedaan jenis lapisan (*base* atau subbase) yang berada dibawah pelat beton. Kesamaannya adalah dibawah pelat beton hanya ada satu lapis material saja yaitu salah satu dari lapis pondasi bawah (*subbase*) atau lapis pondasi (*base*). Apabila mengacu pada Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003), terdiri dari 3 lapisan yaitu, tanah dasar (*subgrade*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), pelat beton (*concrete slab*) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut:

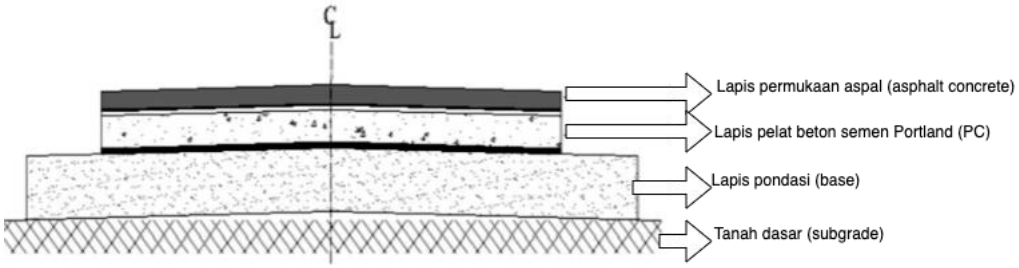


Gambar 2.2 Struktur *Rigid Pavement* (Perkerasan Kaku)

(Sumber : Modified Saodang, 2005)

2.2.3 *Composite Pavement* (Perekrasan Komposit)

Composite pavement merupakan gabungan dari *rigid pavement* (perkerasan kaku) dan *flexible pavement* (perkerasan lentur). Perkerasan terdiri dari lapis beton aspal (*asphalt concrete*, AC) yang berada diatas perkerasan pelat beton semen Portland (PC) atau lapis pondasi yang dirawat (Gambar 2.3). Kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekuatan yang cukup serta mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya.



Gambar 2.3 Struktur *Composite Pavement* (Perkerasan Komposit)

(Sumber : Modified Saodang, 2005)

Lapis perkerasan kaku memiliki fungsi yang sama dengan lapis perkerasan lentur yaitu untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas yang berada diatasnya tanpa menyebabkan kerusakan konstruksi pada jalan sehingga dapat memberikan kenyamanan dan keamanan pada pengguna jalan. Perkerasan yang umumnya digunakan di Indonesia adalah perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Pemilihan penggunaan jenis perkerasan kaku dibandingkan dengan perkerasan lentur yang sudah lama dikenal dan lebih sering digunakan, berdasarkan keuntungan dan kerugian masing-masing jenis perkerasan tersebut.

2.3 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan pada penelitian ini telah diklasifikasin, adapun beberapa penelitian terdahulu yang digunakan adalah sebagai berikut:

2.3.1 Desain Bina Marga

Penelitian yang dilakukan oleh Sidabutar dkk., (2021) dengan mengambil tema Evaluasi Perkerasan Jalan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Jalan Sm Raja Medan Dengan Metode Bina Marga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tebal perkerasan dengan Metode Bina Marga. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan metode pengumpulan data sekunder. Data yang dikumpulkan antara lain, data lalu lintas, data beton, data tanah, data bebas as kendaraan, CBR modulus tanah dasar. Perencanaan tebal pelat beton perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga didapatkan 300 mm. Seorang perencana diharapkan memiliki "*felling engineering*" yang didukung oleh pengetahuan yang luas dan pengalaman yang didapatkan di lapangan.

Widodo, (2018) melakukan penelitian dan menemukan hasil penelitian pada studi kasus Tol Solo-Ngawi, ruas Colomadu-Karanganyar Sta. 1+ 100 sampai 2+ 100 dengan metode AASHTO 1993 didapat tebal pelat beton sebesar 28 cm, dan tebal pelat beton metode Bina Marga 2002 sebesar 27 cm. Sedangkan tebal pelat beton existing sebesar 29 cm, sehingga didapat selisih tebal pelat beton antara existing dengan metode AASHTO 1993 sebesar 1 cm, dengan metode Bina Marga selisih sebesar 2 cm. Selisih tebal pelat beton dari 3 metode tidak berbeda jauh dan telah memenuhi persyaratan minimum tebal pelat perkerasan kaku pada jalan tol. Hasil analisis tebal pelat yang berbeda dikarenakan adanya perbedaan parameter input yang digunakan oleh masing-masing metode. Perbedaan parameter input terdapat pada faktor keamanan beban dan jenis bahu jalan, *serviceability*, *reliability*, standar normal *deviation*, modulus elastisitas beton, koefisien drainase, koefisien transfer beban.

Tias, (2020) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis alternatif desain tebal perkerasan mengkaji pada parameter perencanaan kedua metode, perencanaan tebal pelat beton, dan melakukan analisa perbandingan hasil kedua metode dengan kondisi *existing*. Metode ini dimulai dengan pengumpulan data sekunder berupa data lalu lintas, data tanah dan data hidrologi, kemudian dilakukan perhitungan tebal pekerasan dengan menggunakan kedua metode, dan hasil perhitungannya dibandingkan dengan kondisi *existing*. Dalam perencanaan perhitungan tebal pelat dibutuhkan parameter input untuk masing-masing metode. Parameter input perencanaan tebal perkerasan untuk metode Bina Marga Pd-T-14-2003 adalah parameter lalu lintas, tanah dasar, pondasi bawah, pondasi bawah material berbutir, dan kekuatan beton. Hasilnya menemukan bahwa tebal pelat dengan metode Bina Marga Pd-T-2003 yaitu setebal 23 cm, kemudian untuk metode Bina Marga Pd-T-14-2003 digunakan tulangan memanjang dan melintang dengan diameter tulangan 12 mm dengan jarak 300 m.

Basuki, (2020) melakukan penelitian dengan metode yang digunakan penelitian ini adalah metode kuantitatif dimana peneliti melakukan analisa, perhitungan dan evaluasi terhadap perkerasan kaku berdasarkan metode Pd T-14-2003 tentang perencanaan perkerasan jalan beton semen serta kapasitas ruas jalan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997. Hasil penelitian menunjukan

bahwa perlu adanya peningkatan kapasitas pada ruas Jalan Simpang Patung Kuda - Simpang Bengkong Seken. Hasil penelitian menemukan bahwa ruas jalan tersebut memiliki derajat kejenuhan sebesar 1,94 sehingga perlu dilakukan peningkatan kapasitas jalan menggunakan jenis perkerasan kaku. Struktur perkerasan kaku direncanakan dengan menggunakan ketebalan 200 mm, mutu beton K-300, tulangan anyam Ø8-200 mm, tulangan dowel Ø33-300 mm panjang 450 mm, dan tulangan tie bars Ø 16 mm - 750 mm panjang 700 mm.

Zariah, (2023) melakukan penelitian dengan tema "Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2017 Pada Ruas Jalan Waibangga, Nusa Tenggara Timur (STA 0+ 000–STA 10+ 000)". Metode yang digunakan dalam perencanaan yaitu Metode Bina Marga 2017 dengan lapis perkerasan lentur dengan umur rencana selama 20 tahun dan saluran drainase yang berbentuk persegi. Hasil pehitungan nilai CESAL sebesar 567.545,90 atau 0,56 x 106 CESA, maka tebal lapis perkerasan lentur yaitu HRS WC = 30 mm, HRS Base = 35 mm. Perencanaan saluran drainase pada Jalan Waibangga menggunakan saluran berbentuk persegi dengan nilai Saluran I (STA 8+425 – STA89+525) w = 0,116 m, H = 0,46, h = 0,35 m, dan b = 0,70 m, saluran II (STA 9+125 – STA 9+350): w =0,06 m, H = 0,26 m, h = 0,20 m, dan b = 0,40 m.

2.3.2 Desain *KENVAPE*

Penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah, (2022) dengan tema "Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-AW menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik". Pemodelan yang digunakan adalah metode Bina Marga 2017 dan menggunakan program *KENVAPE* untuk mengetahui prediksi umur pelayanan dari suatu perkerasan serta kategori kerusakan awal dan akhir. Hasil penelitian pemodelan menggunakan *KENVAPE* ditemukan bahwa persepsi mengenai pengaruh suhu pembebanan terhadap campuran aspal sangat berdampak pada hasil prediksi nilai beban gandar minimum dan prediksi umur pelayanan perkerasan. Apabila campuran perkerasan dianggap tidak terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan elastik) maka akan menghasilkan campuran perkerasan yang memiliki prediksi nilai beban gandar minimum yang relatif lebih tinggi dan prediksi umur pelayanan yang lebih

panjang apabila dibandingkan dengan anggapan bahwa campuran aspal akan terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan viskoelastik).

Hadi, (2022) meneliti dengan tema "Identifikasi kerentanan kinerja perkerasan jalan terhadap aktivitas *Overload* kendaraan menggunakan program *KENPAVE*". pada penelitian ini, ruas jalan yang dipilih dan memenuhi kriteria tinjauan adalah Ruas Jalan Batas Kabupaten Kampar – Batas Kota Bangkinang. Setelah simulasi aktivitas *overload* dan lokasi telah ditetapkan, maka selanjutnya dilakukan proses analisis menggunakan Program *KENPAVE* untuk mengeksplorasi nilai dan tingkat kerentanan kinerja perkerasan terhadap aktivitas *overload* tersebut. Hasil analisis ialah bahwa perkerasan jalan memiliki kerentanan penurunan kinerja yang serius akibat adanya fenomena ODOL terutama *overload*. Fenomena ini akan mengakibatkan peningkatan mekanisme pembebanan yang kemudian berpotensi untuk memicu penurunan masa umur pelayanan jalan sebelum umur rencananya tercapai.

Yulianto dan Fauziah, (2019) meneliti dengan tema "Analisis Nilai Sisa Perkerasan Lentur Akibat Beban Berlebih Kendaraan (*Overloading*) dengan Metode Empirik dan Metode Mekanistik – Empirik dengan Program *KENPAVE* pada Ruas Jalan Purworejo - Jogja. Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun (ILT) Ke – 5". Hasil penelitiannya ditemukan bahwa berdasarkan AASHTO 1993, Bina Marga 2017 dan *KENPAVE*, diperoleh usulan alternatif desain tebal perkerasan minimum agar dapat menahan beban selama umur rencana 20 tahun yaitu perkerasan alternatif menggunakan metode AASHTO 1993 pada kondisi normal dengan tebal permukaan 26 cm, tebal pondasi atas sebesar 15 cm dan tebal pondasi bawah sebesar 30 cm. Sedangkan, pada kondisi overload diperoleh tebal perkerasan dengan tebal permukaan 31 cm, tebal pondasi atas sebesar 15 cm dan tebal pondasi bawah 32 cm.

Rind dkk, (2017) meneliti dengan tema "*Analysis and Design of Flexible Pavement Using Emperical-Mekanistic Base Software* (*KENPAVE*). *International Conference on Sustainable Development in Civil Engineering*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memvalidasi dan membandingkan perangkat lunak desain *KENPAVE* dengan pendekatan desain empiris yang ada dan untuk menyelidiki pengaruh variasi ketebalan lapisan keausan dan lapisan dasar terhadap kinerja perkerasan dan umur desain sehubungan dengan kelelahan dan

kerusakan alur. Untuk keperluan tersebut, ruas jalan NHA (N-55) (JAMSHORO TO SEHWAN) diambil sebagai ruas uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penampang perkerasan yang paling banyak menahan kegagalan dalam hal jumlah pengulangan beban yang diperbolehkan untuk mencegah kegagalan alur (Nr) dan kelelahan (Nf) adalah penampang-5 dan penampang-10 serta biaya konstruksi penampang-5 dan penampang-yang direncanakan. 10 hampir sama.

Penelitian yang dilakukan oleh Patel dkk, (2022) dengan judul "*FEM based parametric analysis for investigating effect of wheel base characteristics and axle configurations on flexural stresses in rigid pavements*". Penelitian ini mengkaji variasi tegangan lentur yang terjadi pada perkerasan beton polos sambungan pada konfigurasi beban gandar dan karakteristik jarak sumbu roda yang berbeda dilakukan dengan menggunakan FEM (Metode Elemen Hingga). Pada tulisan ini, pemodelan perkerasan kaku dilakukan dengan menggunakan software *KENPAVE-KENSLAB*. Hasil analisis untuk perbedaan ketebalan pelat perkerasan, modulus ekuivalen reaksi tanah dasar, perbedaan suhu modulus elastisitas dan letak beban roda, variasi besarnya dan letak maksimum tegangan Tarik dilaporkan untuk properti tertentu dari tanah dasar, konfigurasi dasar dan gandar.

Qadeer dan Harwalkar, (2014) dengan tema "*Mechanistic Analysis of Rigid Pavement for Temperature Stresses Using Ansys*". Hasil yang diperoleh dengan menggunakan gradien suhu linier telah menunjukkan kesesuaian yang wajar dengan hasil yang diperoleh dari tiga model mekanistik lainnya yang diberikan oleh perangkat lunak *KENSLABS, ILLI-SLAB,* dan *JSLAB*. Hasilnya juga sesuai dengan solusi analitis yang diajukan oleh Bradbury. Model ini digunakan untuk melakukan studi parametrik yang melibatkan pengaruh panjang dan ketebalan pelat terhadap tegangan keriting. Tegangan keriting yang tinggi tidak hanya terjadi pada pelat panjang, namun juga pada pelat pendek dengan ketebalan 30 cm.

2.4 Perbandingan Penelitian

Perbedaan dengan penelitian yang diajukan penulis dengan penelitian terdahulu adalah sebagai berikut:

a. Lokasi penelitian ini berada di ruas Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo.

b. Penelitian ini membahas tentang evaluasi tebal perkerasan dan kerusakan menggunakan metode manual desain perkerasan kaku nomor 02/M/BM/2013 dan perencanaan jalan beton semen nomor Pd T-14-2003.

Adapun penelitian terdahulu perbedaannya dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penulis	Anisarida (2023)	Qisthi dan Kushari (2019)	Gabriela, dan Nataadmadja, (2021).	Abdo dan Jung (2019)	Basuki (2020).	Zariah (2023)	Diko (2024)
Judul	Metode Mekanistik-Empiris Untuk Mengevaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program (Studi Kasus: Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan Ratu).	Pengaruh Variasi Tebal Dan Mutu Beton Terhadap Respons Struktural Perkerasan Kaku.	*Rigid pavement optimization by using empirical mechanistic method and Kenpave software*.	*Evaluation of enforcing rigid pavements with plastic waste fibers.*	*Evaluasi Perencanaan Perkerasan Kaku (rigid Pavement) Dengan Metode Bina Marga 2003 (Studi Kasus Peningkatan Jalan Simpang Patung Kuda–Simpang Bengkong Seken).*	Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2017 Pada Ruas Jalan Waibangga, Nusa Tenggara Timur (STA 0+ 000–STA 10+ 000).	Evaluasi Desain Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo Menggunakan Metode *Kenpave – Kenslabs* (Sta. 10+000 – Sta. 12+000)
Metode	Pt-T-01- 2002-B serta Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dengan program *KENVAPE*	Mekanistik-empiris dengan menggunakan software *KENSLABS*	MPJ 2017 Empirical Mechanistic method	*KENPAVE-KENSLAB*	Bina Marga	Bina Marga	Metode Kenpave *Kenslabs*

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Hasil Penelitian	Hasil evaluasi menggunakan program *KENPAVE* didapatkan bahwa hasil desain perkerasan lentur metode struktur perkerasan baik hasil desain melalui Pt T-01-2002- B maupun Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 mampu mencapai umur rencana ditinjau dari fatigue cracking, rutting dan permanent deformation.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa mutu beton K400 dengan ketebalan 24 cm mampu memenuhi persyaratan kelelahan dan erosi untuk umur rencana 20 tahun.	Perancangan manual Jalan Utama TNC menuju CBD berdasarkan MPJ 2017 dengan siklus hidup disesuaikan 40 tahun menghasilkan: pelat beton (28,5 cm), tie bar (Ø16 mm–750 mm, panjang 690 mm), dowel (Ø38 mm–300 mm, panjang 450 mm), dan tulangan (Ø12 mm–350 mm).	Analisis perangkat lunak *KENSLAB* menunjukkan bahwa penambahan serat sampah plastik dengan persentase rendah tidak mempengaruhi tegangan tekan dan tarik, arah x dan yang diinduksi pada perkerasan kaku maupun lendutan, dengan hasil yang kurang lebih sama. Namun, analisis kerusakan menunjukkan bahwa memasukkan serat sampah plastik dengan persentase rendah ke dalam campuran PCC, akan mengurangi Indeks Retak dan meningkatkan umur perkerasan kaku. Perkerasan kaku dengan serat sampah plastik 0,25% menghasilkan penurunan Indeks Retak lebih dari 60 kali lipat.	Hasil penelitian menemukan bahwa ruas jalan tersebut memiliki derajat kejenuhan sebesar 1,94 sehingga perlu dilakukan peningkatan kapasitas jalan menggunakan jenis perkerasan kaku. Struktur perkerasan kaku direncanakan dengan menggunakan ketebalan 200 mm, mutu beton K-300, tulangan anyam Ø8-200 mm, tulangan dowel Ø33-300 mm panjang 450 mm, dan tulangan tie bars Ø 16 mm - 750 mm panjang 700 mm.	Hasil pehitungan nilai CESAL sebesar 567.545,90 atau 0,56 x 106 CESA, maka tebal lapis perkerasan lentur yaitu HRS WC = 30 mm, HRS Base = 35 mm. Perencanaan saluran drainase pada Jalan Waibangga menggunakan saluran berbentuk persegi dengan nilai Saluran I (STA 8+425 – STA89+525) w = 0,116 m, H = 0,46, h = 0,35 m, dan b = 0,70 m, saluran II (STA 9+125 – STA 9+350): w =0,06 m, H = 0,26 m, h = 0,20 m, dan b = 0,40 m.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Lokasi	Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan Ratu).	Timur Simpang Ring Road Utara–Jalan Raya Seturan, di Sleman, Yogyakarta	TNC- CBD Tangerang	United States of America	*Jalan Simpang Patung Kuda–Simpang Bengkong Seken).*	Ruas Jalan Waibangga, Nusa Tenggara Timur

Sumber: Anisarida, (2023), Qisthi dan Kushari, (2019), Gabriela, dan Nataadmadja, (2021), Abdo dan Jung, (2019), Basuki,(2020), Zariah, (2023).

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan

Hardiyatmo (2015) menyatakan tanah asli jarang sekali dalam kondisi mampu mendukung beban yang berulang-ulang dari lalu lintas kendaraan tanpa mengalami deformasi yang besar. Karena itu, diperlukan struktur yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan yang disebut perkerasan.

Perkerasan jalan raya adalah bagian dari jalan raya dengan lapis kontruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, kekakuan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar secara aman. Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapakan tidak terjadi kerusakan yang berarti (Totomihardjo, 2004)

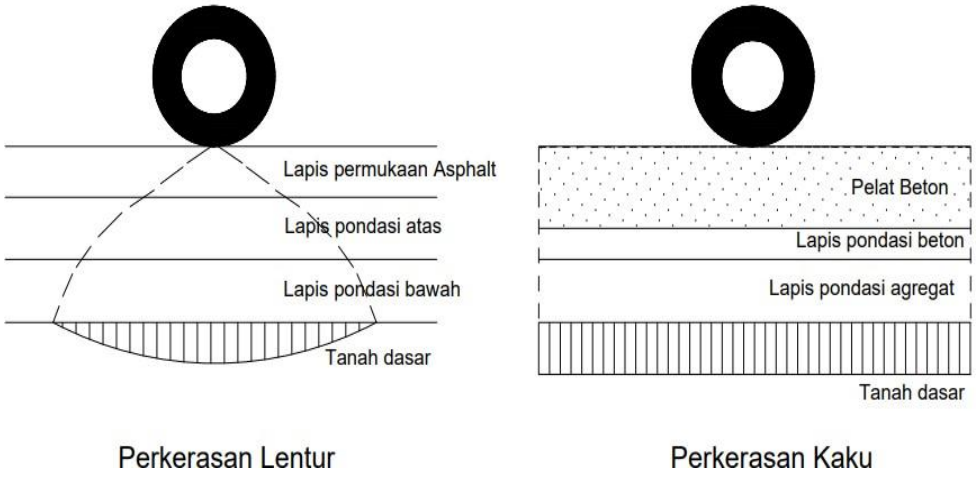
Hardiyatmo (2015) menyimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhikinerja struktur perkerasan sebagai berikut:

1. Kelembaban air yang berlebihan, ditambah dengan volume lalu lintas yang semakin tinggi mempercepat timbulnya kerusakan pada perkerasan.
2. Temperatur berpengaruh pada kinerja perkerasan.Pada perkerasan lentur aspal menjadi kaku dan getas pada temperatur rendah dan menjadi lunak atau lembek pada temperatur tinggi. Sedangkan pada perkerasan beton akibat perbedaan temperatur suhu dibagian atas dan bawah perkerasan menyebabkanperkerasan beton melengkung.
3. Pekerjaan pemeliharaan perkerasan memerlukan pemilihan kondisi cuaca

yang tepat.

4. Drainase jalan yang baik harus mampu menghindarkan masalah kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air dan beban lalu lintas.

Perkerasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga (Hardiyatmo, 2007), perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*),dan pekerasan komposit (*compotive pavement*). Hardiyatmo (2007) menyatakan perkerasan kaku (*rigid pavement*) terdiri dari pelat beton yang terletak langsung diatas tanah atau diatas lapisan material granuler. Perbedaan yang paling menonjol antara perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah cara keduanya dalam menyebarkan beban diatas tanah dasar. Umumnya, penyebaran tekanan beberapa jenis perkerasan ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Sedangkan perkerasan komposit (*compotive pavement*) merupakan gabungan antara perkerasan beton semen portland dan perkerasan aspal.



Gambar 3.1 Perbedaan Penyebaran Tekanan Pada Perkerasan

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3.2 Tipe-Tipe Perkerasan

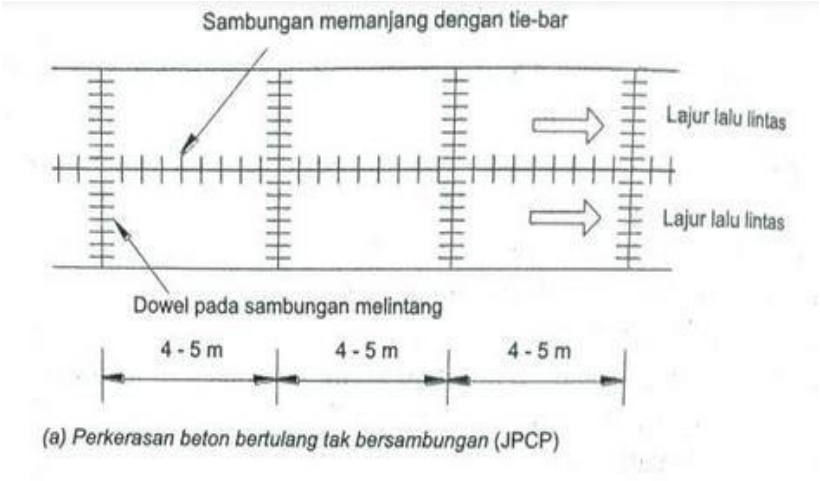
Perkerasan kaku dapat berupa pelat beton tanpa tulangan, diberikan sedikit tulangan secara kontinu, prategang atau beton fiber. Pada perkerasan kaku, lapis pondasi bawah digunakan untuk meminimalkan kemungkinan buruk akibat beban lalu lintas yang akan membuat defleksi kurang dari 1 mm yang akan membuat jalur air lewat sambungan atau retakan. Perkerasan kaku dapat dikategorikan menjadi dengan atau tanpa sambungan yang sering disebut perkerasan beton

konvensional.

1. Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan

Perkerasan beton yang tak bertulang biasanya dibuat bersambungansehingga disebut perkerasan beton tak bertulang bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement*, JPCP). JPCP terdiri dari blok-blok beton dengan ukuran tertentu dengan tebal sekitar 15-30 cm yang diletakkan pada pondasi bawah. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan jarak maksimum sambungan arah memanjang untuk perkerasan beton tak bertulang bersambungan (JPCP) sekitar 3-4 m dan sambungan arah melintang maksimum 25 kali tebal pelat atau maksimum 5 m.

Walaupun namanya perkerasan beton tak bertulang, namun batang baja pengikat (*tie-bar*) yang biasanya digunakan pada sambungan arah memanjang guna mencegah terbukanya sambungan ini. Sedangkan untuk arah melintang menggunakan batang-batang ruji yang disebut *dowel* yang digunakan sebagai alat bantu transfer beban yang juga dipasang pada sambungan melintang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:



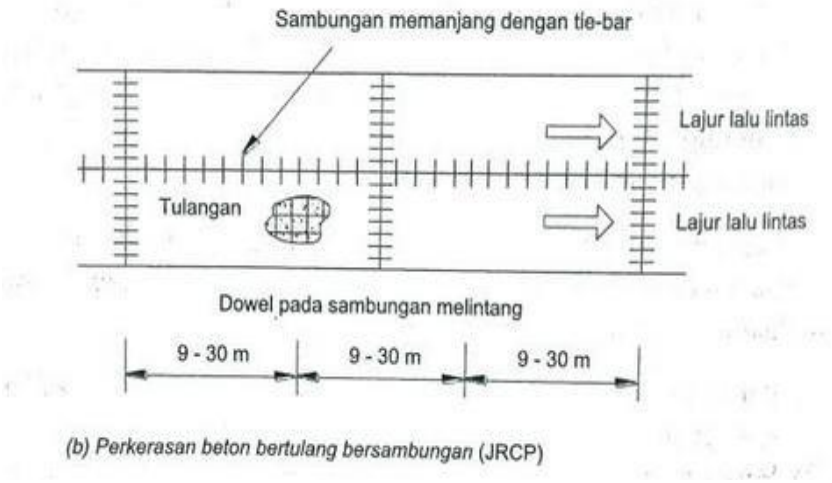
Gambar 3.2 Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan (JPCP)

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

2. Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan

Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan jarak maksimum sambungan arah melintang untuk perkerasan beton bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*, JRCP) berkisar antara 9-30 m dengan

menggunakan *dowel* untuk menyakinkan adanya transfer beban yang baik pada sambungan-sambungan ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut:

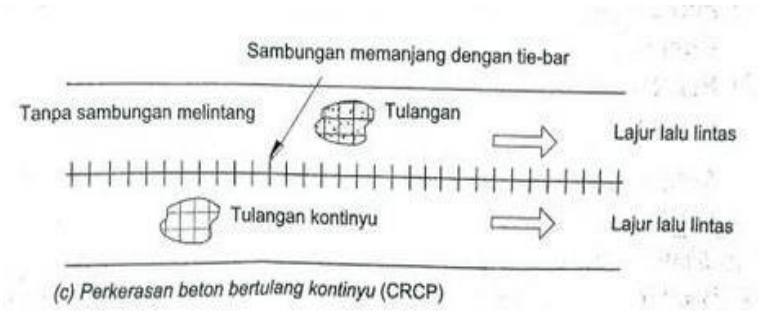


Gambar 3.3 Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan (JRCP)

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3. Perkerasan Beton Bertulang Kontinu

Perkerasan beton bertulang kontinu (*continuous reinforced concrete pavement*,CRCP) merupakan perkerasan beton yang tulangan dan panjang pelatnya dibuat menerus tanpa sambungan. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan panjang pelat lebih besar dari 75 m. Perkerasan Beton CRCP dirancang agar retak melintang berkembang pada jarak yang pendek sekitar 1 m ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut:



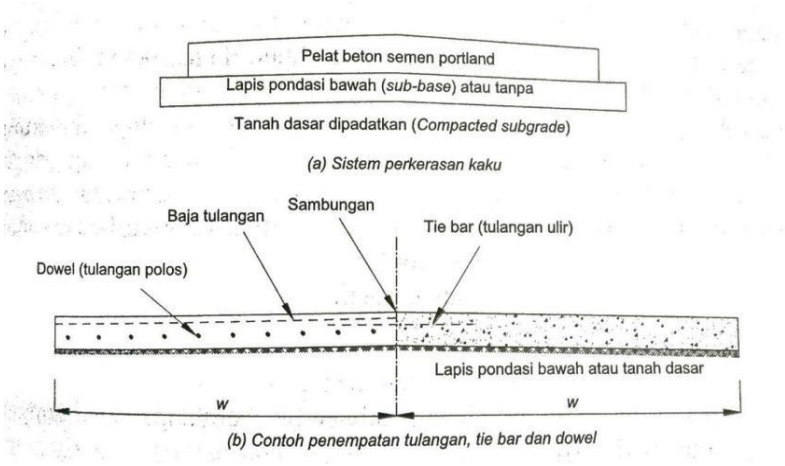
Gambar 3.4 Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu (CRCP)

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3.3 Perkerasan Kaku

Hardiyatmo (2015) menyatakan perkerasan kaku terdiri dari pelat beton semen *portland* yang terletak langsung diatas tanah dasar. Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Pelat beton dapat mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah dasar dengan area yang cukup luas dibandingkan dengan perkerasan lentur. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan kaku diperoleh dari pelat beton sendiri.

Perkerasan kaku terdiri dari beberapa jenis lapis perkerasan yang tersusun seperti Gambar 3.5 berikut:



Gambar 3.5 Lapisan Perkerasan Kaku

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Pada umumnya struktur perkerasan kaku terdiri dari tiga bagian, yaitu lapis perkerasan berupa pelat beton (*concrete slab*), lapis pondasi dan tanah dasar. Lapisan tersebut memiliki fungsi dan karakteristik yang berbeda dalam mendukung beban lalu lintas (Totomihardjo, 2004).

Macam-Macam Perkerasan Kaku

Macam-macam perkerasan dibagi kedalam 5 bagian yakni sebagai berikut:

1. Perkerasan kaku tanpa tulangan dengan sambungan

   Perkerasaan kaku tanpa tulang dengan sambungan disebutkanmampu mengontrol bagian keretakan hal ini disebabkan karena memiliki joint yang dinilai cukup untuk menahan retakan yang ada.
2. Perkerasan kaku bertulang dengan sambungan

   Pada bagian ini, perkerasan kaku bertulang dengan sambungan merupakan perkerasan kaku yang mengandung tulangan baja. Artinya jarak yang terdapat antara *joint* dan tulangan diperlebar guna untuk menahan retakan.
3. Perkerasan kaku bertulang tanpa sambungan

   Perkerasan kaku bertulang tanpa sambungan disebutkan bahwa perkerasaan kaku yang tidak memerlukan sambungan melintang. Perkerasan ini dirancang khusus dengan baja tulangan yang di mana jaraknya sebelumnya telah ditentukan dengan tepat antar celah retakan untuk menahan retakan lainnya.
4. Perkerasan kaku *prestressed*

Perkerasan kaku *prestessed* ini merupakan bentuk perkerasan kaku yang memeiliki kriteria bahwa sambungan yang dipasang antara dua jalur lalu lintas dengan tujuan untuk mencegah terjadinya retakan.

5. Perkerasan kaku bertulang *fiber*

   Jenis perkerasan kaku bertulang *fiber* ini adalah perkerasan kaku yang memiliki kriteria bahwa serat yang digunakan pada proses perkerasan kaku berguna untuk mengisi celah-celah retakan, sehingga retakan tidak terjadi pengembangan.

Jenis Kerusakan Perkerasan Kaku dan Faktor Penyebabnya

Menurut Suryawan, (1993) tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada perkerasan kaku dapat dikelompokkan berdasarkan model kerusakan, yakni dengan identifikasi kerusakaan seperti deformasi, retak, kerusakan pada pengisi sambungan, gompal, selain itu penurunan pada bagian tepi perkerasan, lubang dan lain-lain.

1. *Deformation*

   Deformation diartikan sebagai perubahan permukaan jalan dari profil aslinya yang dapat mempengaruhi kualitas kenyamanan lalu lintas. Perkerasan kaku deformasi dibagi kedalam beberapa tipe diantaranya adalah amblas, patahan, pemompaan dan *rocking*.

2. Retak (*Crack*)

   Retak merupakan bagian yang tidak jarang ditemukan pada perkerasan, tipe-tipe retak dibagi kedalam beberapa bagian yakni retak blok, retak sudut, retak diagonal, retak memanjang, retak tidak beraturan dan retak melintang.

3. Kerusakan Pengisi Sambungan

   Kerusakan pengisi sambungan merupakab kerusakan yang dapat disebabkan karena pengalusan dan pelapukan bahan pengisi, selain itu kerusakan ini juga dapat disebabkan karena kualitas bahan pengisi yang rendah, kurangnya peletakan bahan pengisi didalam sambungan dan dapat mengakibatkan *pumping* dan *rocking*, kemudian dapat juga meningkatkan kebisingan dan mengurangi kenyamanan serta keselamatan saat berkendara.

4. Gompal (*Spaling*)

   Gompal adalah pecah yang umumnya terjadi pada bagian tepi permukaan slab, sambungan, sudut, atau retakan. Kedalaman gompal bervariasi hingga lebih dari 50 mm. Gompal terjadi disebabkan oleh infiltrasi material yang tidak elastis ke dalam sambungan atau retakan, pelemahan pada tepi sambungan akibat pekerjaan secara pedoman, korosi tulangan, kesalahan pemasangan dowel, atau mutu agregat campuran beton yang rendah. Akibat dari terjadinya gompal adalah meluasnya area slab yang mengalami gompal, mengurangi kenyamanan dan keselamatan berkendara, dapat menimbulkan kerusakan yang lebih parah. Solusi penanganan untuk kedalaman > 50 mm yaitu dengan melakukan penambalan, sedangkan untuk kedalaman < 50 mm, penanganannya dengan pelapisan ulang tipis.

5. Penurunan bagian tepi perkerasan (*Edge drop-off*)

   Penurunan ini terjadi pada bahu yang berdekatan dengan slab. Hal ini terjadi karena kesalahan pada saat pelaksanaan, kesalahan geometrik, drainase bahu yang kurang baik, material pada bahu yang tidak stabil. Akibat yang akan ditimbulkan berupa masuknya air ke bawah perkerasan dan akan memperparah kerusakan yang terjadi. Cara penanganan yang tepat untuk penurunan ≥ 15 mm, dengan melakukan pengisian celah sambungan/retak. Sedangkan untuk penurunan > 15 mm, caranya dengan melakukan perataan.

6. Lubang

   Lubang adalah pelepasan mortar dan agregat pada bagian permukaan perkerasan yang membentuk cekungan dengan kedalaman lebih dari 15 mm dan tidak memperlihatkan pecahan-pecahan yang bersudut seperti pada gompal. Kedalamannya dapat berkembang dengan cepat jika adanya air. Terjadinya lubang disebabkan oleh retak setempat, penempatan *dowel* terlalu dekat dengan permukaan perkerasan, dan akibat dari kerusakan atau retakan yang tidak segera ditutup. Akibat yang akan terjadi berupa meluasnya ukuran lubang serta mengurangi kenyamanan serta membahayakan keselamatan berkendara. Cara menanganinya dengan melakukan penambalan.

3.4 Tanah Dasar

Tanah dasar merupakan pondasi yang secara langsung menerima beban lalu lintas dari perkerasan yang berada diatasnya. Dimana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*) atau perkerasan berada, maka intregitas dari struktur perkerasan bergantung pada stabilitas struktur tanah dasar (Hardiyatmo, 2015).

Tanah dasar berfungsi sebagai pondasi jalan yang terdiri dari urugan yang dipadatkan dengan kedalaman tertentu dibawah dasar struktur perkerasan. Semakin kaku perkerasan, maka penyebaran tekanan roda ke tanah dasar semakin mengecil. Oleh sebab itu, kedalaman tanah dasar akan bervariasi dan bergantung pada besarnya beban dan tipe perkerasan ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Kedalaman Tanah Dasar Menurut Look 2007

Aplikasi	**Tipe Beban**	**Tipe Perkerasan**	**Kedalaman Tanah Dasar (m)**
Bandara	Dinamik/Ekstra berat	Lentur Kaku	2,0 1,5
Jalan angkut tambang	Dinamik/Sangat berat	Lentur	1,5
Jalan rel	Dinamik/Sangat berat	Lentur/kaku	1,25
Jalan utama	Dinamik/ berat	Lentur Kaku	1,0 0,75
Bangunan industri	Dinamik/statik/ Berat	Kaku	0,75
Jalan minor	Dinamik/sedang	Lentur Kaku	0,75 0,50
Bangunan komersial dan perumahan	Statik /sedang	Kaku	0,50
Jalan kaki/lintasan sepeda	Statik/ringan	Kaku/lentur	0,25

Sumber : Hardiyatmo (2015)

3.5 Beton

Beton semen portland biasanya digunakan untuk perkerasan kaku. Kekuatan semen portland akan bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Waktu

pengerasan yang diambil untuk penentuan kuat tekan ultimit dalam perancangan umumnya 28 hari setelah pengecoran, walaupun kekuatan 7 hari sering digunakan sebagai indikasi awal dari kekuatan ultimitnya.

3.5.1 Kuat Tekan Beton

Nilai kekuatan dan daya tahan beton bergantung pada banyak faktor, seperti rasio campuran, mutu bahan, metode pelaksanaan, temperatur dan perawatan setelah pengecoran. Kuat tekan beton umur 7 hari biasanya mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85-90% dari kuat tekan beton 28 hari. Kuat tekan beton pada umur 28 hari berkisar antara10-65 Mpa. Pada pengujian kuat tekan beton akan mencapai regangan 0,002. Setelah regangan tersebut, kuat tekan akan menurun sampai benda uji runtuh pada regangan sekitar 0,003-0,005.

3.5.2 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton menggunakan benda uji balok beton (150 mm x 150 mm x500 mm) dengan pembebanan tiga titik yang dibebani hingga runtuh. Kuat lentur beton berumur 28 hari disyaratkan tidak boleh lebih rendah dari 4 Mpa (40kg/cm^2) sesuai peraturan Pd. T-05-2004-B.

3.5.3 Kuat Tarik Beton

Beton mempunyai kuat tarik yang lebih kecil dibandingkan dengan kuat tekannya. Nilai kuat tarik berkisar antara 10-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton sering ditentukan dengan melakukan uji belah silinder beton dengan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm. Untuk menentukan nilai tegangan tarik menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

$$f_t = \frac{2P}{\pi L d} \tag{3.1}$$

dengan :

f_t = Kuat tarik belah (N/mm^2),

P = Beban pada saat runtuh (N),

L = Panjang benda uji (m), dan

d = Diameter benda uji (m).

3.5.4 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton untuk beton berkepadatan normal dengan beratvolume sekitar 2300 kg/m^3 menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (3.2)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa),dan

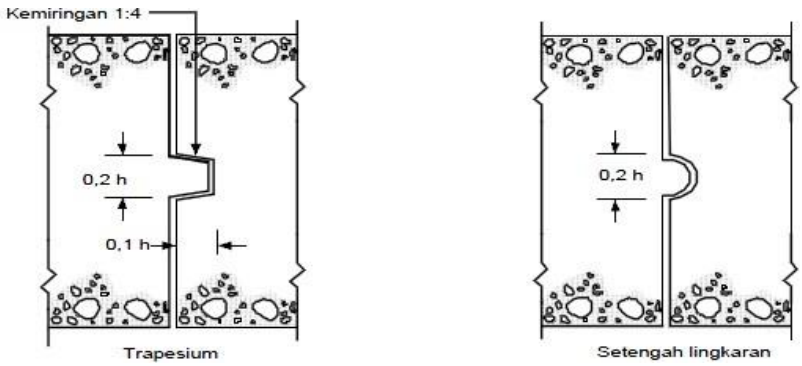
$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa).

3.6 Sambungan

Pada kontruksi perkerasan kaku, perkerasan tidak dibuat menerus memanjang sepanjang jalan seperti halnya yang dilakukan pada perkerasan lentur. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pemuaian yang besar pada permukaan perkerasan sehingga dapat menyebabkan retaknya perkerasan. Selain itu, kontruksi seperti ini juga dilakukan untuk mencegah terjadinya retak menerus pada perkerasan jika terjadi keretakan pada suatu titik pada perkerasan.salah satu mencegah terjadinya hal tersebut adalah dengan cara membuat kontruksi segmen pada perkerasan kaku dengan sistem sambungan (*joint*) untuk menghubungkan tiap segmennya.

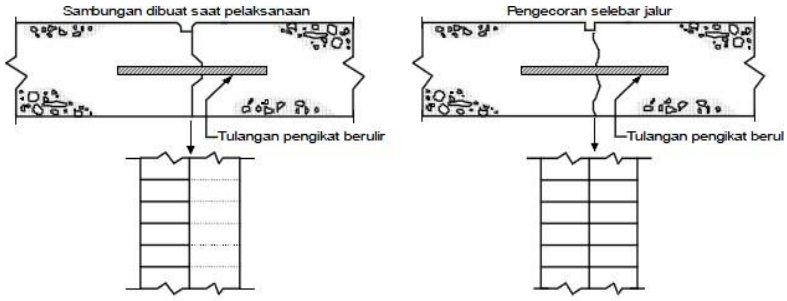
3.6.1 Sambungan Pelaksanaan (*Construction Joint*)

Sambungan yang memisahkan bagian-bagian pelat beton yang dicor pada waktu yang berbeda ialah sambungan pelaksanaan. Sambungan ini dapat diletakkan pada arah melintang maupun memanjang yang letaknya sudah direncanakan sebelumnya. Sambungan memanjang umunya berjarak 3,6 m dengan adanya batas-batas lajur. Bila tidak ada batas lajur, sambungan dipasang setiap jarak 3,6 m dan tidak lebih 4,2 m. Sambungan ini dilengkapi pengunci pada bagian tengahnya dengan ukuran 0,2*D* (dengan D = tebal pelat beton) dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Sambungan Arah Memanjang

(Sumber : Bina Marga, 2003)



Lanjutan Gambar 3.6 Sambungan Arah Memanjang

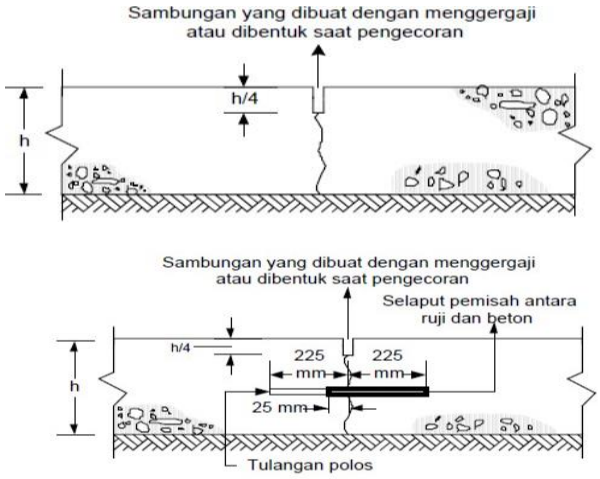
(Sumber : Bina Marga, 2003)

3.6.2 Sambungan Muai (*Expansion Joint*)

Sambungan ini berfungsi untuk memberikan ruang pemuaian pada pelat beton yang cukup diantara pelat-pelat perkerasan untuk mencegah adanya tegangan tekan berlebihan yang dapat mengakibatkan perkerasan beton tertekuk. Lebar celah sambungan 19 mm meskipun dalam kondisi khusus, lebar celah bisa mencapai 25 mm. Karena sambungan muai tidak menyediakan penguncian antar agregat maka diperlukan alat penyalur beban yaitu ruji (*dowel*).

3.6.3 Sambungan Susut (*Contraction Joint*)

Sambungan susut berguna untuk mengendalikan retak susut beton. Sambungan ini membatasi kerusakan akibat susut yang terjadi akibat pengaruh perubahan suhu dan kelembaban yang dimaksudkan untuk membebaskan tegangan tarik akibat susut dan melengkungnya pelat beton. Pada Gambar 3.7 menunjukkan sambungan susut dengan atau tidak menggunakan ruji (*dowel*).

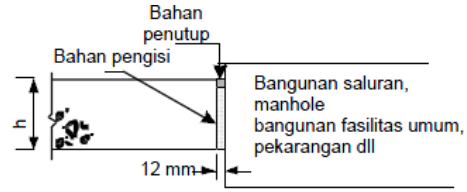


Gambar 3.7 Sambungan susut melintang

(Sumber : Bina Marga, 2003)

3.6.4 Sambungan Isolasi (*Isolation Joint*)

Sambungan isolasi berguna untuk mengurangi tegangan tekan yang dapat menyebabkan keretakan berlebihan pada pelat beton. Sambungan ini harus ditutup dengan penutup sambungan (*joint sealer*) setebal 5-7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*). Pengisi berguna mencegah masuknya kotoran ke dalam celah sambungan. Pada Gambar 3.8 merupakan sambungan isolasi dengan atau tidak ruji (*dowel*).

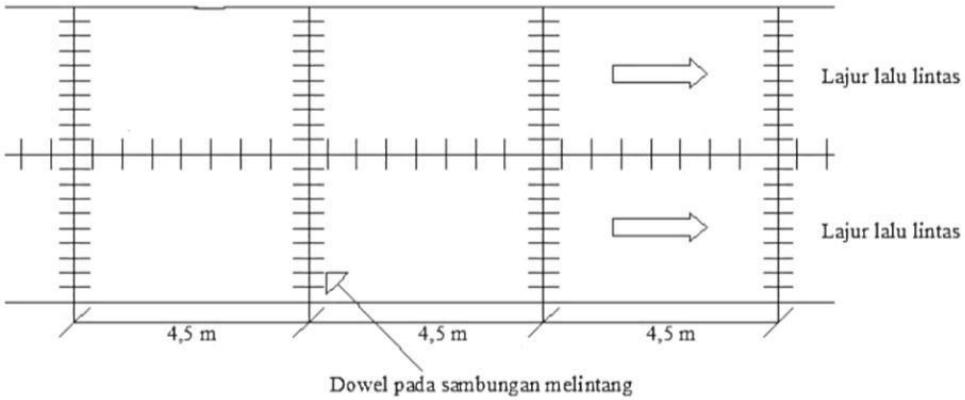


Gambar 3.8 Sambungan Isolasi

(Sumber : Bina Marga, 2003)

3.6.5 Ruji (*Dowel*)

Bina Marga (2002) menyatakan Ruji (*dowel*) adalah sepotong baja polos lurus yang dipasang pada setiap sambungan melintang dengan maksud sebagai penyalur beban,sehingga pelat yang bersebelahan dapat bekerja sama tanpa terjadinya perbedaan penurunan yang berarti. *Dowel* harus dipasang lurus dan sejajar sumbu jalan pada sambungan melintang. Letak dari tulangan *dowel* ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut:



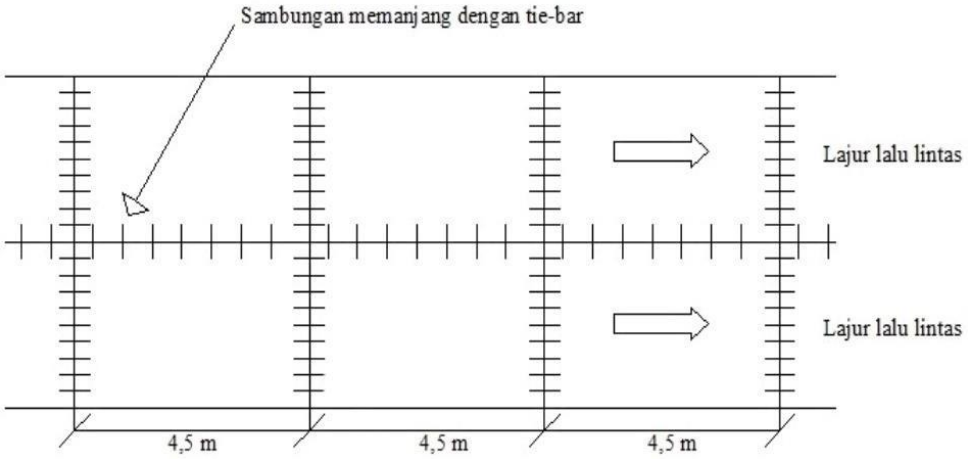
Gambar 3.9 Ruji (*Dowel*) pada Sambungan Melintang

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3.6.6 *Tie-bar*

Jika pada sambungan melintang dipasang *dowel* maka pada sambungan

memanjang harus dipasang *tie-bar*. *Tie-bar* berdiameter lebih kecil dan dipasang pada jarak relatif jauh jika dibandingkan dengan *dowel*. Bina Marga (2002) mensyaratkan jarak antar sambungan sekitar 3-4 m dan sambungan memanjang harus menggunakan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm, apabila menggunakan batang pengikat dari jenis baja lain, maka baja harus dibengkokkan dan diluruskan kembali tanpa mengalami kerusakan. Letak dari tulangan *tie-bar* dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut:



Gambar 3.10 *Tie-bar* pada Sambungan Memanjang

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3.7 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2017

Metode Bina Marga 2017 merujuk pada Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2017 yang dikeluarkan oleh direktorat Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum. Metode ini tetap mengacu pada Pd T-14-2003 yang diterbitkan sebelumnya oleh Departemen Pekerjaan Umum di dalam Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen dan revisi dari Metode Bina Marga 2013 merujuk pada Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2013.

Manual Desain perkerasan Jalan No 02/M/BM/2017 menguraikan langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) sebagai berikut:

3.7.1 Menetukan Umur Rencana

Umur rencana (UR) perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas dan nilai ekonomi jalan. Umur rencana perkerasan jalan baru direncanakan menggunakan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Menentukan Umur Rencana

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Pekerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidakdimungkinkan sering pelapisan ulang (*overlay*),seperti : jalan perkotaan, *underpass*, jembatan dan terowongan	
	Cement Treated Base (CTB)	
Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas,lapis fondasi bawah, lapis beton semen dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

3.7.2 Lalu Lintas

Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan kaku, dinyatakan dalam jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*overload*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu dengan menggunakan data terakhir. Terdapat beberapa parameter yang menjadi dasar untuk analisis lalu lintas sebagai berikut:

1. Volume lalu lintas

   Penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan data lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

2. Arus lalu lintas

   Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) menyatakan jika arus lalu lintas dikonversikan dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang

(smp) menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Ekivalen Mobil Penumpang

No	Jenis Kendaraan	EMP
1.	Sepeda motor (MC)	0,2
2.	Kendaraan ringan (LV)	1,0
3.	Kendaraan berat (HV)	1,3

3. Jenis kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang, tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang diperhitungkan dalam analisis. Golongan dan kelompok jenis kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Golongan dan Kelompok Jenis Kendaraan

Golongan	Kelompok Jenis Kendaraan
1	Sepeda motor,kendaraan roda 3
2	Sedan,jeep dan station wagon
3	Angkutan penumpang sedang
4	Pick up,micro truk dan mobil hantaran
5a	Bus kecil
5b	Bus besar
6a	Truk ringan 2 sumbu
6b	Truk sedang 2 sumbu
7a	Truk 3 sumbu
7b	Truk gandengan
7c	Truk semitrailer
8	Kendaraan tidak bermotor

Sumber : Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) (2004)

4. Pertumbuhan lalu lintas (i)

Pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data-data pertumbuhan *series* (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid. Jika data tidak tersedia maka Tabel 3.5 dapat digunakan pada tahun 2015-2035.

Tabel 3.5 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas(i) Minimum untukDesain

	Jawa	**Sumatera**	**Kalimantan**	**Rata-rata Indonesia**
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektural Rural	3,5	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : Bina Marga (2017)

Jika data lalu lintas tersedia maka dapat menggunakan perhitungan menggunakan persamaan 3.5 yang dihitung berdasarkan LHRT, LHR, serta umur rencana (n).

$$LHRT = LHRo\ (1+i)^{n} \qquad (3.3)$$

dengan :

LHRT = LHR akhir umur rencana,

LHRo = LHR awal umur rencana,

n = umur rencana (tahun), dan

i = angka pertumbuhan

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*cumulative growth factor*):

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

dengan:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

i = Tingkat pertumbuhan tahunan (%), dan

UR = Umur rencana (tahun)

5. Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus). Beban lalu lintas pada lajur dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (D_D) dan factor distribusi lajur kendaraan niaga (D_L). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (D_D) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi dari arah tertentu. Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur ataulebih dalam satu arah ditunjukkan pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah Lajur SetiapArah	Kendaraan Niaga Pada Lajur Desain (% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Bina Marga (2017)

6. Faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*)

Dalam desain perkerasan,beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*).Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Ketentuan untuk cara pengumpulan data beban lalu lintas ditunjukkan pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Pengumpulan Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber : Bina Marga (2017)

Dari Tabel 3.7 diatas pengumpulan data beban lalu lintas diperoleh dari:

1) Jembatan timbang,timbangan statis atau WIM (survei langsung),
2) Survey beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernahdilakukan dan dianggap cukup representatif, dan
3) Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga.

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 3.8 dapat digunakan menghitung ESA. Apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga,dapat digunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut:

Tabel 3.8 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

Jenis Kendaraan		**Uraian**	**Konfigurasi Sumbu**	**Muatan Yang Diangkut**	**Kelompok Sumbu**	**Distribusi Tipikal (%)**		**Faktor Ekivalen**	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan Bermotor Kecuali Sepeda Motor	Vdf 4 Pangkat 4	Vdf 5 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/ Angkot/ *pick up*/ wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,0	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1	1
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu-cargo ringan	1.1	Muatan umum	2	4,6	6,6	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu-ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu-cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu-sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,5	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu-ringan	1.22	Muatan umum	2	3,9	5,6	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu sedang	1.22	Tanah, pasir, besi, semen	2			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu-berat	1.222		2	0,1	0,1	28,9	62,2

Lanjutan Tabel 3.8 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

Jenis Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan Yang Diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi Tipikal (%)	Faktor Ekivalen	Jenis Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan Bermotor Kecuali Sepeda Motor	Vdf 4 Pangkat 4	Vdf 5 Pangkat 5
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,7	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu-trailer	1.2-22		3	0,3	0,5	13,6	24
7c2.1	12	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-22		3	0,7	1	19	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-222		3			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu-trailer	1.22-222		3	0,3	0,5	41,6	94

Data Didasarkan Pada Survei Beban Lalu Lintas

Sumber : Bina Marga (2017)

7. Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *cumulative equivalent single axle load* (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\mathbf{ESA_{TH\text{-}1} = \sum LHR_{JK} \times Kelompok\ Sumbu \times 365 \times D_D \times D_L \times R} \quad \mathbf{(3.5)}$$

dengan:

$ESA_{TH\text{-}}1$	= Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama,
LHRJK	= Lintas harian rata-rata tahunan untuk tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),
Kelompok sumbu	= Kelompok sumbu tiap jenis kendaraan niaga
D_D	= Faktor distibusi arah,
DL	= Faktor distribusi lajur, dan
R	= Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

3.7.3 Drainase Perkerasan

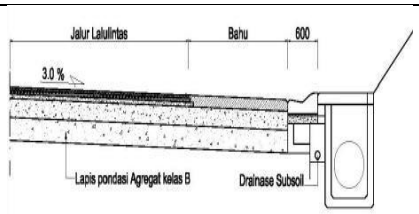
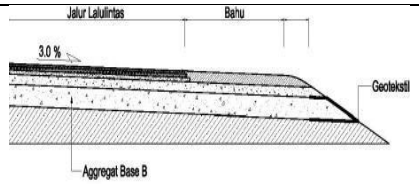
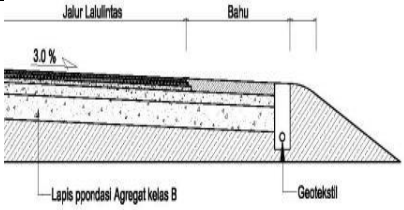
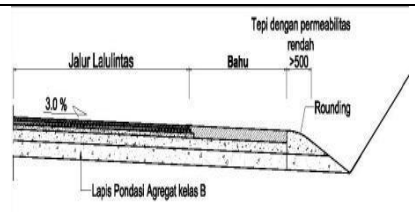
Secara umum perencana harus menerapkan desain yang dapat menghasilkan "factor m" ≥ 1,0 kecuali jika kondisi di la lapangan tidak memungkinkan. Apabiladrainase bawah permukaan tidak dapat disediakan maka tebal lapis fondasi agregat harus disesuaikan dengan menggunakan nilai koefisien drainase "m" sesuai ketentuan AASHTO 1993 atau Pt T-01-2002 B.

Bagan desain yang dalam manual ini ditetapkan dengan asumsi bahwa drainase berfungsi dengan baik. Apabila kondisi drainase menyebabkan nilai "m" lebih kecil dari 1 maka tebal lapis fondasi agregat seperti tercantum dalam bagan desain harus dikoreksi menggunakan persamaan (3.6) berikut:

$$\mathbf{Tebal\ desain\ lapis\ fondasi\ agregat} = \frac{\boldsymbol{Tebal\ hasil\ dari\ bagan\ desain}}{\boldsymbol{m}} \quad \mathbf{(3.6)}$$

Dalam proses desain, penggunaan koefisien *drainase* "*m*" lebih besar dari 1 tidak boleh digunakan kecuali ada kepastian bahwa mutu pelaksanaan yang disyaratkan dapat dipenuhi. Pada Tabel 3.9 merupakan desain drainase yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Tabel 3.9 Koefisien Drainase "*m*" untuk Tebal Lapis Berbutir

Kondisi Lapangan (digunakan untuk pemilihan nilai "*m*" yang sesuai)	Nilai "*m*" untuk desain	Desain Tipikal
Galian dengan drainase bawah permukaan yang ideal (outlet drainase bawah permukaan selaludiatas muka air banjir	1,0	
Timbunan dengan lapis pondasi bawah menerus sampai bahu jalan (tidak terkena banjir)	1,0	
Timbunan dengan tipe permeabilitas rendah danlapis pondasi bawah berbentuk kotak	1,0	
Galian pada permukaan tanah atau timbunan tanpa drainase bawah permukaandan permeabilitas rendah pada pinggir > 500 mm. Gunakan 0,9 jika ≤ 500mm	0,7	
Tanah dasar jenuh air secara permanen selama musim hujan dan tidak teralirkan. Ketentuan lapisan penopang (*cappinglayer*) dapat digunakan.	0,4	

Sumber : Bina Marga (2017)

3.7.4 Menentukan Daya Dukung Efektif Tanah Dasar dan Desain Fondasi Jalan

Faktor yang paling berpengaruh pada desain perkerasan adalah analisis lalu lintas, daya dukung tanah dasar dan perkiraan dampak kadar air. Tanah dasarperkerasan harus memenuhi kriteria berikut:

1. Harus mempunyai nilai CBR rencana minimum,
2. Dibentuk dengan benar, sesuai dengan geometrik jalan,
3. Dipadatkan dengan baik pada ketebalan lapisan sesuai dengan persyaratan,
4. Tidak peka terhadap perubahan kadar air,dan
5. Mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan kontruksi.

Pada Tabel 3.10 menyajikan solusi pondasi jalan minimum selain kasus khusus untuk perkerasan kaku, berikut tabel penejelasannya:

Tabel 3.10 Solusi Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			PerkerasanKaku
			Beban lalu lintas padalajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA 5)			Stabilisasisemen[6]
			<2	2-4	>4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum,Devisi 3- Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak perlu peningkatan			150 mm stabilisasi diatas 150 mm material timbunan pilihan
5	SG5				100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah Ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan diatas tanah lunak[2]	SG1[3]	Lapis penopang (*capping layer*) [4][5]	1000	1100	1200	
		atau lapis penopang dan geogrid[4][5]	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan. Burda untuk perkerasan jalan raya minor (nilai minimumketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir [4][5]	1000	1250	1500	

Sumber : Bina Marga (2017)

Keterangan:

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal,syarat tambahan mungkin berlaku,
(2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
(3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
(4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 juta ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.
(5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkanpada kondisi kering.
(6) Untuk perkerasan kaku, lapis permukaan material tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 - A6) hingga kedalaman 150 mm harus berupa stabilisasi semen.

3.7.5 Penentuan Tebal Pelat Beton

Solusi pekerasan yang banyak dipilih yang didasarkan pada pembebanan dan pertimbangan biaya terkecil diberikan dalam desain perkerasan lentur, desain perkerasan kaku (Tabel 3.24 Perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat), desain perkerasan tanah semen, dan desain perkerasan berbutir dan perkerasan kerikil.

Solusi lain dapat diadopsi untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat tetapi disarankan untuk tetap menggunakan bagan sebagai langkah awal untuk semua desain. Tebal perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat ditunjukkan pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu	<4,3	<8,6	<25,8	<43	<86

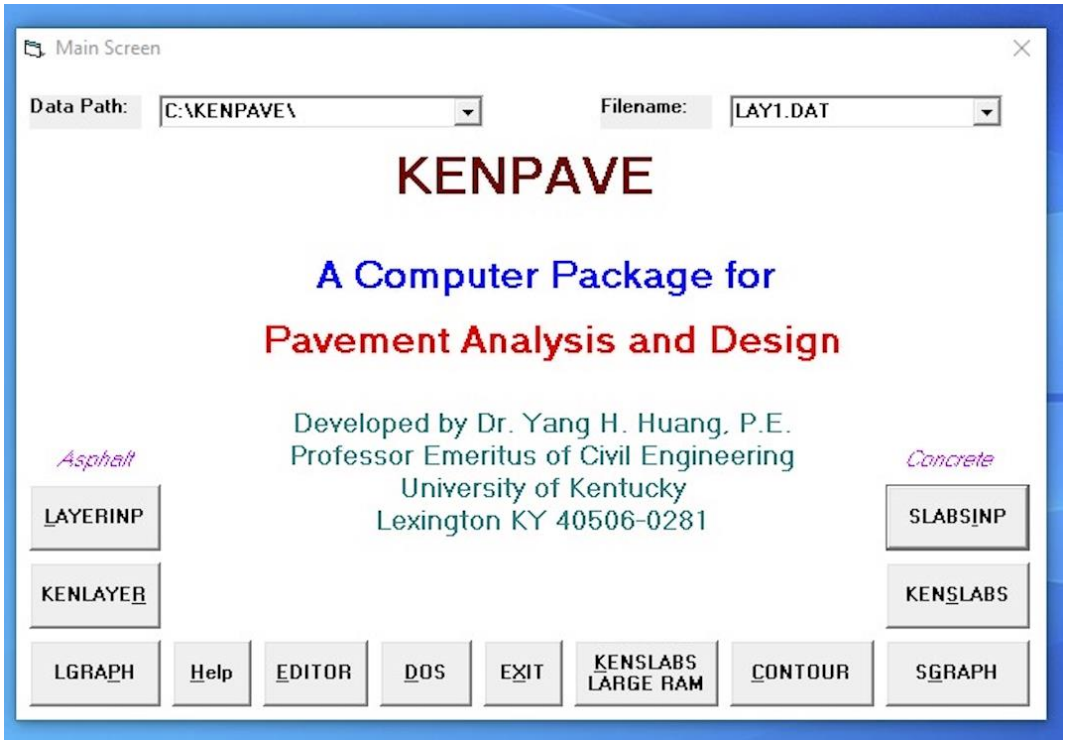
kendaraan berat (*overloaded*) (10^6)					
Dowel dan bahu beton	Ya				
Struktur Perkerasan (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis fondasi LMC	100				
Lapis fondasi agregat kelas A	150				

Sumber : Bina Marga (2017)

3.8 Program *KENPAVE-KENSLAB*

Program *Kenpave* adalah software yang berbasis desain perencanaan perkerasan dengan fungsi untuk menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan lebih mudah dan fleksibel yang dikembangkan oleh Dr. Yang Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. Untuk menjalankan program *Kenpave* dibutuhkan data-data seperti sifat karakteristik perkerasan dan material seperti modulus, *poisson ratio* setiap lapisan, beban roda, tekanan ban dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan. Software ini dibagi menjadi empat program yang terpisah seperti *Layernip*, *Kenlayer*, *Slabinp*, dan *Kenslab*. Pada penelitian ini yang akan digunakan adalah program *Kenslab.*

Dalam penggunaannya, program *Kenpave* memiliki menu-menu utama untuk mendesain dan menganalisis perkerasan. Tampilan Menu yang disediakan oleh Program *Kenpave* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.10 Tampilan Awal Program *KENPAVE*

(Sumber : Huang dalam Fadhlan, 2014)

Program komputer *KENSLABS* (Huang, 1985) merupakan bagian dari perangkat lunak *KENPAVE* yang berbasis pada metode elemen hingga, yang mana pelat/slab beton dibagi menjadi beberapa elemen segi empat dengan banyak titik node. Berdasarkan gambar 3.10 diatas, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa pilihan menu pada tampilan awal program *KENPAVE* yakni sebagai berikut.

1. *Data Path*

   Data *path* merupakan *toolbar* yang berfungsi untik penyimpanan data awal yang umumnya memiliki ciri-ciri penyimpanan data V:|*KENPAVE*\ sesuai dengan peletakan file pada aplikasi.

2. *Filename*

   Filename merupakan toolbar yang menampilkan file baru dari *LAYERINP* dan *SLABINP*.

3. *Help*

   Pada aplikasi juga terdapat tampilan toolbar help, tampilan help merupakan menu yang dibuat untuk menjelaskan bentuk parameter maupun cara penggunaan program *KENVAPE*.

4. *EDITOR*

Menu ini merupakan salah satu menu yang dapat digunakan untuk mengedit, memeriksa dan mencetak data file.

5. *LAYERINP dan SLABINP*

   Pada bagian menu ini *LAYERINP* dan *SLABINP* merupakan menu yang dapat digunakan untuk memasukkan dan membuat data file sebelum dijalankan menu *KENLAYER* atau *KENSLABS.*

6. *KENLAYER dan KENSLABS*

   Menu *KENLAYER* dan *KENSLAB* merupakan menu utama yang terdapat pada aplikasi *KENPAVE*, menu ini digunakan untuk melakukan analisis perkerasan, yang didalamnya dapat berupa perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Ketentuan pada menu ini hanya dapat digunakan setelah user berhasil memasukkan data pada *LAYERINP* ataupun *SLABINP*.

7. *Lgraph atau Sgraph*

   Menu *Lgrapht* dan *Sgraph* merupakan menu yang menampilkan grafik rencana perkerasan yang didalamnya juga terdapat beberapa informasi terkait tentang data input maupun output.

8. *Contour*

   Menu *contour* ini digunakan untuk menampilkan plot kontur tekanan atau momen dalam arah X atau Y dan hanya digunakan pada jenis perkerasan kaku. Penelitian ini menggunakan menu *KENLAB* dan *SLABINP* yakni menu yang digunakan untuk menganalisis perkerasan kaku yakni untuk menentukan efek dari berbagai parameter pada respon perkerasan.

3.8.1 Analisis Menggunakan Program *KENSLAB*

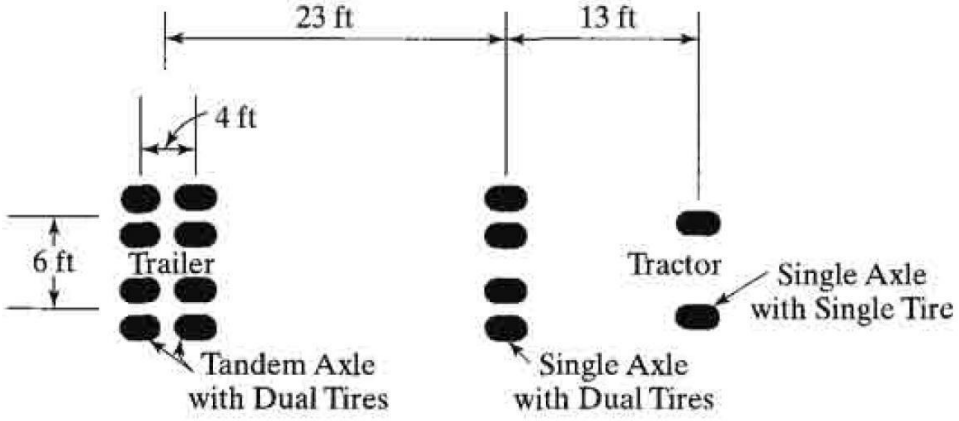
Di dalam subbab ini hasil analisis dari performa perkerasan beton dalam pembebanan lalu lintas dapat ditampilkan. Pembebanan yang terjadi pada perkerasan diasumsikan statis. Performa struktur yang diwakili dengan tegangan dan lendutan pada slab beton adalah hasil kajian dan analisis menggunakan model elemen hingga. Bilangan yang didapat merupakan hasil perhitungan menggunakan cara elemen hingga dari program komputer *KENSLAB*. Analisis sensitivitas yang dilakukan adalah untuk menentukan efek dari berbagai parameter pada respon perkerasan. Seluruh parameter dan respon yang diperoleh dari perhitungan *KENSLAB* menggunakan satuan SI.

3.8.2 Analisis Data Lalu Lintas

Data lalu lintas digunakan untuk menghitung respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Hasil yang diharapkan dalam analisis ini adalah jumlah pengulangan beban sumbu kendaraan pada periode waktu tertentu selama umur rencana perkerasan. Umur perkerasan kaku (beton) diasumsikan selama 20 tahun. Waktu periode tinjauan untuk analisis kerusakan perkerasan yang berupa *output index cracking* ditetapkan dalam periode 1 tahunan. Data LHR untuk tiap tipe kendaraan pada ruas jalan rencana dapat dilihat di dalam Tabel 3.8 pada subbab sebelumnya.

3.8.3 *Detail* Beban Sumbu dan Roda

Dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban dan jarak antar ban untuk roda ganda diperlukan dalam perhitungan metode mekanistik empirik. Dimensi daerah kontak ban yang direkomendasikan untuk digunakan dalam perhitungan terdapat pada tabel 3.8. Pada analisis ini nilai detail beban sumbu dan roda diambil berdasarkan Huang (2004) yang sudah ada di dalam contoh analisis program *KENSLAB*, yang mana nilai tekanan roda satu ban *(tire contact pressure)* yang digunakan adalah 689,5 kPa. Konfigurasi pada setiap sumbu dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.11 ***Axle Configuration***

(Sumber: Huang, 2004)

3.8.4 Analisis Data Material

Data material digunakan untuk menghitung respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Langkah-langkah dalam menganalisis data material untuk proses input program *KENSLAB* adalah sebagai berikut ini.

1. Karakteristik Material Untuk Slab Beton

   Mutu beton sangat berpengaruh terhadap respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Dalam perencanaan ini digunakan Mutu Beton K400. Dari nilai mutubeton akan didapatkan nilai modulus elastisitas beton (E_C), kuat tekan beton (fc'),*poisson ratio portland cement concrete* (*PCC*), dan *modulus of rupture* (S_C) untuk *portland cement concrete* (*PCC*). Proses analisis perhitungan adalah sebagai berikut.

   a. Kuat tekan beton (fc')

      Karakteristik beton semen yang digunakan untuk pelat beton *rigid pavement* Jalan Raya Padjajaran Yogyakarta yaitu mutu beton K400 yang memiliki kuat tekan karakteristik 400 kg/cm^2. Mutu K400 jika dikonversikan menjadi kuat tekan benda uji silinder maka harus dikalikan dengan 0,083 atau setara dengan kuat tekan (fc') sebesar 4.721 psi.

   b. Modulus elastisitas beton (E_C)

      Dalam proses input program *KENSLAB* diperlukan parameter modulus elastisitas beton. Untuk mengetahui modulus elastisitas beton, dapat digunakan persamaan Modulus elastisitas beton dengan mutu K400 yaitu berikut ini.

      $$E_C = 57000\sqrt{4721} = 3.916.460 \text{ psi}$$

   c. *Poisson ratio*

      Nilai *poisson ratio* diperlukan dalam pemodelan untuk perhitungan respon struktur perkerasan walaupun efeknya tidak terlalu besar. Parameter ini jarangdiukur dan biasanya hanya diasumsikan melalui tipe beton yang dipakai. Berdasarkan Huang (2004) tabel *poisson ratios for different material*, nilai *poisson ratio* untuk beton normal nilainya antara 0,15 sampai dengan 0,20 dan untuk analisis ini diasumsikan nilai *poisson ratio* untuk beton adalah sebesar 0,15.

   d. *Modulus of rupture* (S_C)

      Kuat tekan adalah ukuran secara universal dari kualitas dan daya tahan beton.Sebagai informasi yang tersedia tentang kuat tekan, telah banyak studi yang dilakukan untuk korelasi kuat tekan dengan properti lainnya.

Huang (2004) telah memberikan sebuah hubungan antara *modulus of rupture* dan kuat tekanbeton, seperti yang dijelaskan pada persamaan berikut:

$$S_C = 8\sqrt{4721} = 549{,}68 \text{ psi}$$

2. Karakteristik Material Untuk Tanah Dasar *(Subgrade)*

Perencanaan konstruksi perkerasan kaku *(rigid pavement)* menggunakan nilai daya dukung tanah minimum. Tanah dasar dianggap sudah stabil, yaitu persyaratan CBR yang dikehendaki dalam perencanaan perkerasan dipakai nilaiCBR *subgrade* (tanah dasar) lapangan minimum 6%. Proses analisis perhitunganadalah sebagai berikut.

a. *Modulus Young of Subgrade*

Dalam proses input program *KENSLAB* diperlukan parameter *modulus youngof subgade*. Para peneliti mencoba merumuskan korelasi antara modulus elastisitas *(modulus young)* dan parameter tanah lain untuk mempermudah proses analisis dan desain geoteknik. Salah satunya menggunakan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang banyak ditemui pada pekerjaan perkerasan jalan raya. Beberapa peneliti telah melakukan studi untuk mendapatkan hubungan korelasi antara nilai CBR dan modulus elastisitas. Croney (1991) melakukan studi untuk mengetahui hubungan CBR dan modulus elastisitas, yaitu E = 6,6 CBR (Mpa). Modulus elastisitas tanah dasar dengan nilai CBR 6% adalah sebagai berikut.

$$E = 6{,}6 \text{ X } 6 = 39{,}6 \text{ Mpa}$$

b. *Poisson ratio*

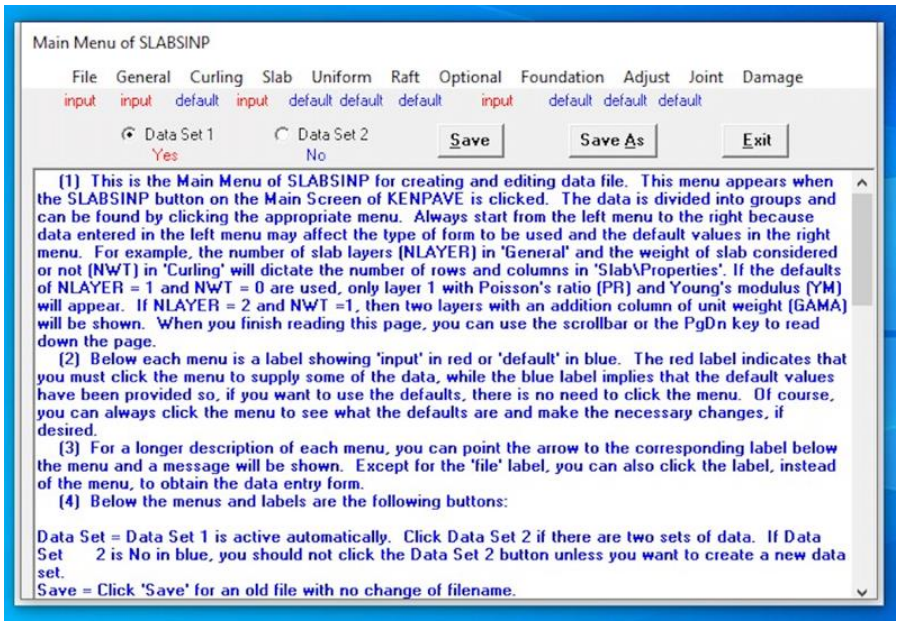
Nilai *poisson ratio* diperlukan dalam pemodelan untuk perhitungan respon struktur perkerasan walaupun efeknya tidak terlalu besar. Parameter ini jarangdiukur dan biasanya hanya diasumsikan melalui tipe material yang dipakai. Berdasarkan Huang (2004) tabel *poisson ratios for different material*, nilai *poisson ratio* untuk *saturated soft clays* antara 0,40 sampai dengan 0,50 dan untuk analisis ini diasumsikan nilai *poisson ratio* untuk tanah dasar adalah sebesar 0,45.

3.8.5 Input *KENSLAB*

Berikut ini data parameter yang digunakan dalam *input* ke program *KENPAVE* khususnya *KENSLAB* untuk menghitung respon perkerasan kaku akibat beban lalu lintas.

1) *SLABSINP*

Ketika akan melakukan input data, klik pada bagian menu *SLABSINP*.



Gambar 3.12 Tampilan Awal *SLABSINP*

Kemudian klik pada menu *File* lalu pilih *New* untuk memulai input data yang baru.

2) *General*

Data untuk *input General* dapat dilihat pada Tabel 3.12 di bawah ini.

Tabel 3.12 *Input General*

		Keterangan
TITLE	*Test*	Diisi nama judul yang diinginkan
NFOUND	1	*Solid Foundation*
NDAMA	1	*PCA Criteria (Design Life)*
NPY	1	Jumlah Periode Per Tahun
NLG	2	Jumlah *Load Group*

NLAYER	1	Jumlah Lapisan Perkerasan
NBOND	0	Antar Lapisan Tidak Terikat
NSLAB	1	Jumlah Slab Beton
NJOINT	0	Jumlah *Joint*
NNCK	1	Mengikuti *KENSLABS*
NPRINT	3	Mengikuti *KENSLABS*
NSX	0	Mengikuti *KENSLABS*
NSY	9	Mengikuti *KENSLABS*
MDPO	0	*Without More Detail Print Out*
NAT1	0	Tidak Ada Lapis Tambah
NAT2	0	Tidak Ada Lapis Tambah
NUNIT	1	Satuan SI (Standar Internasional)

3) *Slab*

Pada *Slab Information* data yang dimasukkan adalah data properti slab beton yang digunakan untuk analisis dan jumlah titik pada koordinat sumbu X dan Y.Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.13, Tabel 3.14, Tabel 3.15, dan Tabel 3.16 di bawah ini:

Tabel 3.13 Jumlah Titik Sumbu X dan Y

Slab No	NX	NY
1	10	9

Tabel 3.14 Koordinat Sumbu X

Sequence	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 3.15 Koordinat Sumbu Y

Sequence	**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

Tabel 3.16 Properti *Slab* Beton

No. *Layer*	**T (cm)**	**PR**	**YM (kPa)**
1(PC)	24,00	0,15	27.003.051,77

4) *Uniform*

Dalam program *KENSLABS* pembebanan perkerasan menggunakan titik koordinat pada *slab* beton. Pada analisis ini digunakan 2 kelompok beban, yaitusumbu tunggal roda ganda *(single axle double tire)* dan sumbu tandem roda ganda *(tandem axle double tire). Loaded area* dan *contact pressures* dapat dilihatpada Tabel 3.17, Tabel 3.18, dan Tabel 3.19 di bawah ini.

Tabel 3.17 *Load Group Area*

Load Grup	**NUDL**
1	4
2	8

Tabel 3.18 ***Loaded Areas for Load Group*** **No. 1**

Load Sequence	**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 3.19 ***Loaded Areas for Load Group*** **No. 2**

Load Sequence	**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	232,239	246,38	689,5

5) *Optional*

Form ini muncul ketika menu *"Node Printout"* pada pilihan *other information* diklik. Jumlah baris atau *node* sama dengan NP yang diisi dalam menu "General". NP (*Nodal number* pada tegangan yang akan dihitung dan dicetak) untuk *damage analysis* digunakan NPRINT = 3. Maka 3 nomor nodal akan dihitung secara otomatis oleh komputer, jika elemen hingga *mesh* ini sama dengan yang ditunjukkan dalam contoh SLA4. Sehingga dalam analisis yang dilakukan mengikuti contoh data *input* yang ada di dalam contoh SLA4. Data *input* untuk *Node Printout* dapat dilihat pada Tabel 3.20 dan Tabel 3.21 di bawah ini.

Tabel 3.20 ***Nodes for Printout***

Sequence	**NP**
1	1
2	19
3	37

Tabel 3.21 ***Nodes Y Symmetry***

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

6) *Foundation*

Form ini muncul saat NFOUND = 1 dan *"Foundation"* pada menu utama *SLABSINP* diklik. Hanya ada dua data masukan di dalam *form* ini. Untuk lebihjelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.22 di bawah ini:

Tabel 3.22 ***Solid Foundation***

Young's modulus of subgrade in kPa (YMS)	39.600
Poisson's ratio of subgrade (PRS)	0,45

7) *Damage*

O9*Association* (PCA, 1984) *criteria.* Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban yang diperbolehkan. Dari hasil analisis akan didapatkan nilai *index cracking* untuk menentukan *design life* perkerasan. *Fatigue properties* dan *volume of traffic* dapat dilihat pada Tabel 3.23 dan Tabel 3.24 di bawah ini.

Tabel 3.23 ***Fatigue Properties***

***Layer* No.**	**PMR (kPa)**
1	3789,90

Tabel 3.24 ***Volume of Traffic***

Load Group	**TNLR**
1	17200
2	1183

Data yang telah dimasukkan pada semua tampilan menu utama SLABSINP, kemudian disimpan lalu kembali ke menu utama program KENPAVE. Data akan dijalankan *(running)* dengan klik menu KENSLABS. Setelah itu kembali ke menu utama KENPAVE untuk melihat hasil *running* dengan memilih menu *Editor* dan buka nama file yang telah disimpan untuk melihat hasilnya.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Jl. Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo, dengan total ruas jalan yang diteliti sepanjang 3 Km, Lokasi jalan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu jalan provinsi yang digunakan untuk lalu lintas kendaraan dari arah Yogyakarta ke Klaten jawa Tengah.

4.2 Sumber Data

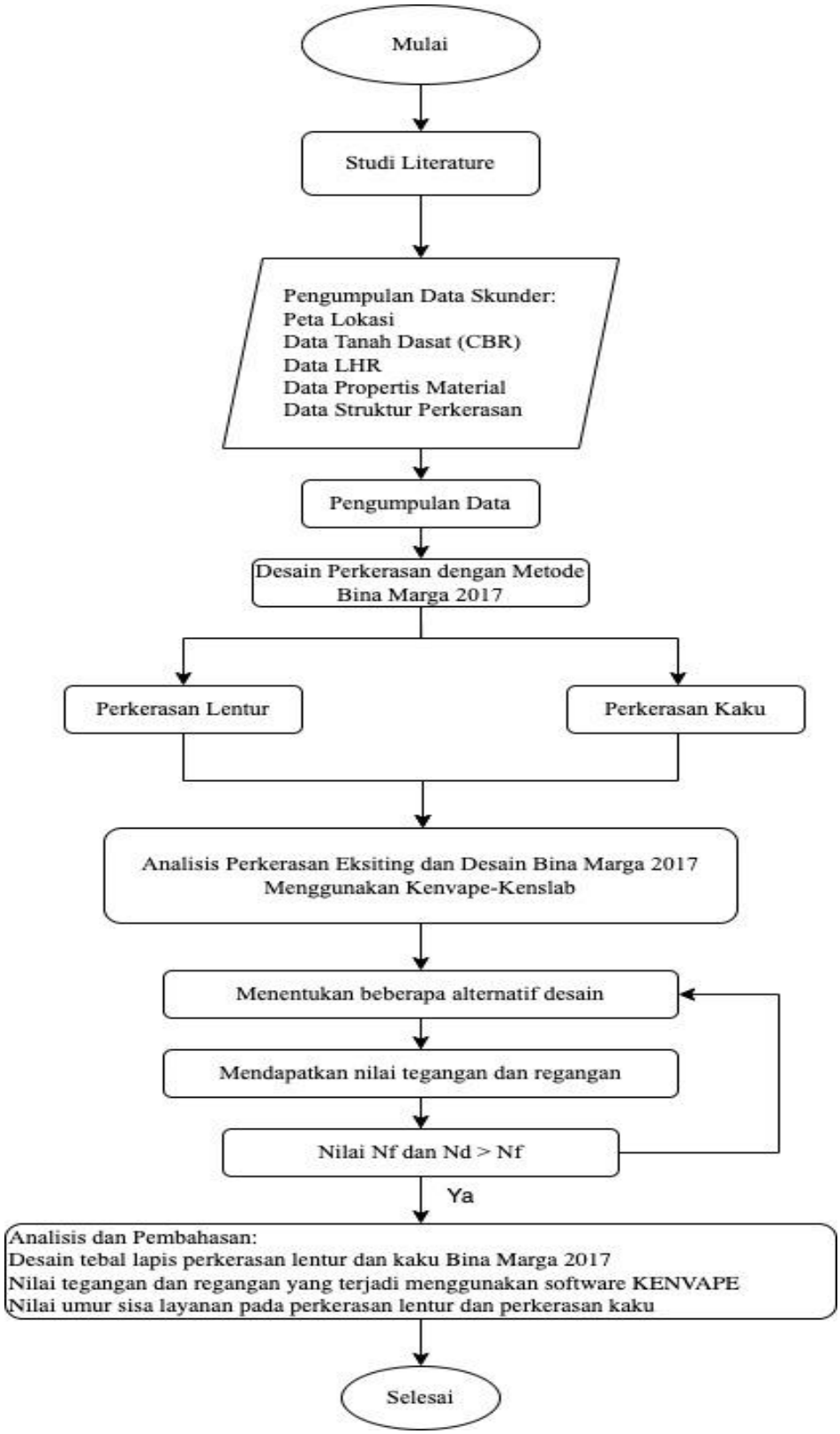
Penelitian ini menggunakan data primer dan data skunder. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dengan melakukan observasi langsung pada jalan yang akan di evaluasi. Adapun data primer digunakan untuk mengetahui kondisi perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan metode *KENPAVE KENSLAB*. Sedangkan untuk data skunder didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Enegeri Sumber Daya Mineral Jawa Tengah, yang kemudian digunakan untuk menghitung sisa umur perkerasan jalan dengan menggunakan metode mekanistik-empiris menggunakan aplikasi *KENPAVE*. Adapun data skunder yang diperoleh adalah data perkerasan jalan tahun 2020-2024.

4.3 Langkah-Langkah Penelitian

Dalam melakukam penelitian ini, terdapat beberapa langkah-langkah yang dapat dijadikan acuan selama proses penelitian berlangsung. Adapaun langkah-langkah tersebut adalahs ebagai berikut:

a. Perumusan masalah
b. Pengumpulan data primer dan skunder
c. Melakukan analisis data dengan menggunakan aplikasi *KENPAVE* untuk memperoleh nilai tegangan dengan regangan pada perkerasan yang dievaluasi.
d. Melakukan analisis data untuk memperoleh umur pelayanan jalan
e. Menyajikan data hasil dari analisis data
f. Melakukan pembahasan dari hasil penelitian
g. Melakukan penarikan kesimpulan dan juga pemberian saran
h. Selesai.

Adapun langkah-;angkah penelitian diatas dapat dilihat pada flowchart berikut ini.



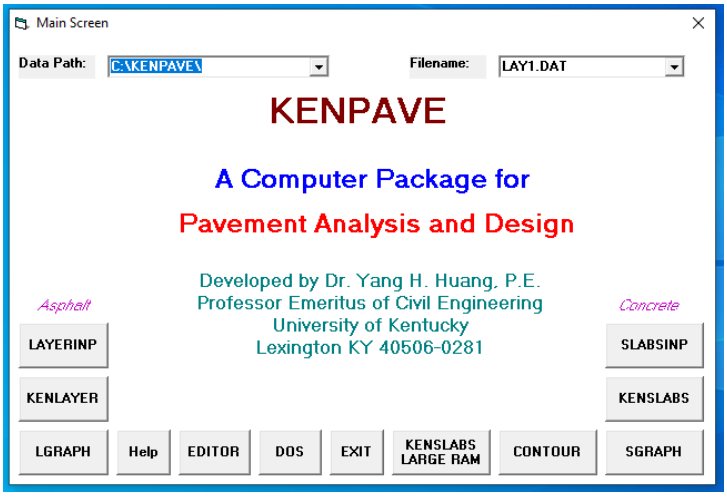
Gambar 4.1 Flowchart Penelitian

4.4 Metode Mekanistik-Empiris dengan Program *KENPAVE*

Metode menggunakan program *KENPAVE* digunakan untuk mengetahui respons tegangan–regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas pada ruas jalan. Hasil respons tegangan dan regangan ini akan nantinya akan dianalisis untuk mengetahui kontrol beban gandar maksimum yang dapat ditahan sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Setelah kita mengetahui kontrol beban gandar standar, maka perhitungan umur layanan jalan dapat dihitung. Analisis untuk perkerasan kaku pada menu *KENSLAB* dengan pemodelan viskoelastik dan analisis beban menggunakan beban gandar. Adapun langkah-langkah proses penggunaan program *KENPAVE* adalah sebegai berikut.

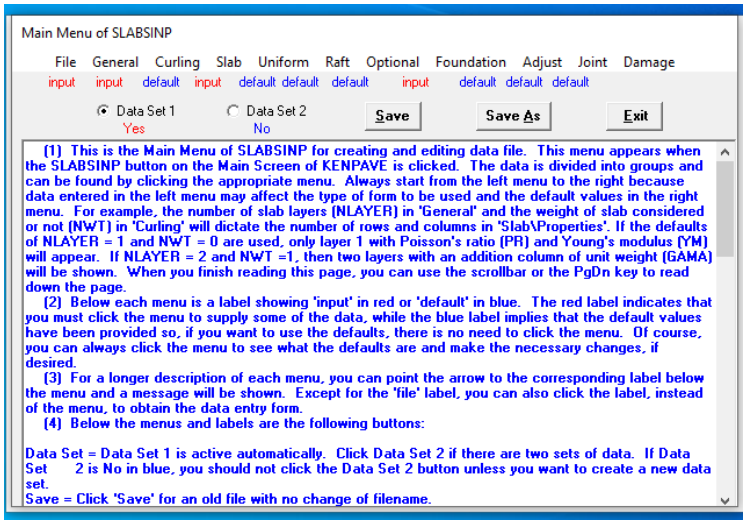
1. Menentukan data properties material untuk pemodelan struktur seperti, tebal lapisan tiap perkerasan, nilai modulus elastisitas tiap lapisan perkerasan, nilai *poisons ratio* tiap lapisan perkerasan dan nilai *creep compliace* sebagai karakteristik material viskoelastik.
2. Membuka program aplikasi *KENPAVE*

   Pada bagian ini user dapat membuka program aplikasi yang telah terisntal pada masing-masing perangkat yang digunakan oleh user.



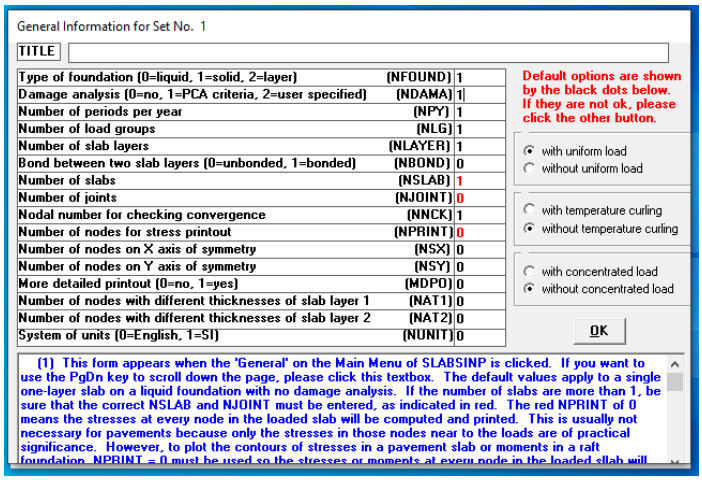
Gambar 4.1 Menu Utama Program *Kenpave*

3. Melakukan input data pada *SLABSINP* sebagai repreentasi perkerasan kaku jalan dengan pemodelan viskoelastik



Gambar 4.2 Input data pada menu *SLABINP*

4. Melakukan analisis data pada menu *KENSLABS* dan mendapatkan output berupa respon tegangan-regangan yang terjadi pada beban lalu lintas.



Gambar 4.3 Analisis *KENSLABS*

Ini adalah Menu Utama *SLABSINP* untuk membuat dan mengedit file data. Menu ini muncul ketika tombol *SLABSINP* pada Layar Utama *KENPAVE* diklik. Data dibagi menjadi beberapa kelompok dan dapat ditemukan dengan mengklik menu yang sesuai. Selalu mulai dari menu kiri ke kanan karena data yang dimasukkan di menu kiri dapat mempengaruhi jenis formulir yang akan digunakan dan nilai default di menu kanan. Misalnya, jumlah lapisan pelat (*NLAYER*) di 'Umum' dan berat pelat yang dipertimbangkan atau tidak (NWT) di 'Curling' akan menentukan jumlah baris dan kolom di 'Slab\Properties'. Jika default *NLAYER* = 1 dan NWT = 0 digunakan, hanya lapisan 1 dengan rasio Poisson (PR) dan modulus Young (YM) yang akan muncul. Jika *NLAYER* = 2

dan NWT =1, maka akan ditampilkan dua lapisan dengan kolom tambahan satuan berat (GAMA). Ketika Anda selesai membaca halaman ini, Anda dapat menggunakan scrollbar atau tombol PgDn untuk membaca halaman tersebut.

Di bawah setiap menu terdapat label yang menunjukkan 'input' dengan warna merah atau 'default' dengan warna biru. Label berwarna merah menunjukkan bahwa Anda harus mengklik menu untuk menyediakan beberapa data, sedangkan label biru menyiratkan bahwa nilai default telah disediakan sehingga jika ingin menggunakan default tidak perlu mengklik menu. Tentu saja, Anda selalu dapat mengklik menu untuk melihat defaultnya dan membuat perubahan yang diperlukan, jika diinginkan.

Di bawah menu dan label terdapat tombol-tombol berikut.

- Kumpulan Data = Kumpulan Data 1 aktif secara otomatis.
- Klik Kumpulan Data 2 jika ada dua kumpulan data.
- Jika Kumpulan Data 2 adalah Tidak yang berwarna biru,
- Tidak boleh mengklik tombol Kumpulan Data 2 kecuali ingin membuat kumpulan data baru.
- *Save* = Klik 'Simpan' untuk file lama tanpa perubahan nama file.
- *Save As* = Klik *'Save As'* untuk mengganti nama file baru '*Untitled*' atau mengubah nama file lama.
- *Exit* = Klik 'Exit' setelah file disimpan dengan mengklik 'Save' atau *'Save As*'.

Di bawah dua tombol kumpulan data terdapat label dengan 'Ya' berwarna merah dan 'Tidak' berwarna biru. Label ya yang berwarna merah menunjukkan bahwa kumpulan data tersebut ada atau harus disediakan oleh pengguna, sedangkan label tidak yang berwarna biru menunjukkan bahwa tidak ada kumpulan data yang keluar. Untuk file baru, label pada Kumpulan Data 2 selalu Tidak dengan warna biru. Jika tombol Kumpulan Data ini diklik, maka akan berubah menjadi Ya dengan warna merah dan semua data di Kumpulan Data 1 akan disalin ke Kumpulan Data 2. Untuk file yang sudah ada, label di bawah kumpulan data 2 mungkin berwarna biru atau merah tergantung pada NPROB ditentukan dalam *file* data. Jika Data Set berwarna biru diklik, maka akan berubah menjadi Yes dengan warna merah dan semua data di Data Set 1

akan disalin ke Data Set 2. Alasan menyalin dari Data Set 1 adalah untuk menghindari input data yang berulang untuk Data Set 2 karena kedua set ini harus berhubungan, jika tidak maka tidak akan dijalankan secara bersamaan.

Untuk menyiapkan file data baru, abaikan nama file pada kotak Nama *File* di Layar Utama *KENPAVE* dan klik tombol *SLABSINP*, sehingga Menu Utama *SLABSINP* akan muncul. Kemudian klik '*File*' dan '*New*' dan nama file *'Untitled'* akan muncul pada label di bawah '*File*'. Anda sekarang dapat melanjutkan untuk memasukkan data yang diperlukan.

Untuk mengedit *file* yang sudah ada, Anda dapat mengklik nama *file* di kotak daftar drop-down untuk menyorotnya di kotak Nama *file* di Layar Utama. Setelah mengklik tombol *SLABSINP* lalu '*File'* dan '*Old*', akan muncul kotak dialog yang menampilkan daftar file data. Nama *file* di Layar Utama *KENPAVE* ditampilkan sebagai default. Jika file default ini adalah file yang ingin Anda edit, klik tombol 'Buka'. Jika Anda ingin menggunakan file lain untuk mengedit, klik nama file dalam daftar lalu Buka. Setelah file dibuka, 'Input' pada label akan diubah menjadi nama file ini, menandakan bahwa file telah dimasukkan. Nama file ini juga akan muncul di kotak Nama File di Layar Utama. Akibatnya, untuk file yang sudah ada Anda dapat mengabaikan nama di kotak Nama File di Layar Utama dan klik tombol 'File' dan 'Lama' untuk memilih file yang Anda inginkan. Faktanya, lebih mudah menemukan nama file di kotak Dialog Terbuka daripada di kotak Nama File di Layar Utama karena file yang terakhir digunakan dicantumkan terlebih dahulu di kotak dialog. Setelah file dimasukkan, Anda tidak dapat memasukkan file lain kecuali file pertama telah keluar dari *SLABSINP*.

Jumlah maksimum kumpulan data adalah 2. Kumpulan data aktif ditandai dengan titik hitam pada tombol opsi. Setelah Data Set 2 diklik, NPROB akan menjadi 2 dan tidak dapat dikurangi menjadi 1 kecuali NPROB pada file data diubah. Hal ini dapat dilakukan dengan menyimpan file, keluar dari *SLABSINP*, dan mengklik tombol EDITOR pada Layar Utama untuk melakukan perubahan.

Setelah masuk ke menu 'Umum' dan mengubah beberapa default, beberapa label dengan '*default*' biru mungkin berubah menjadi 'input' merah,

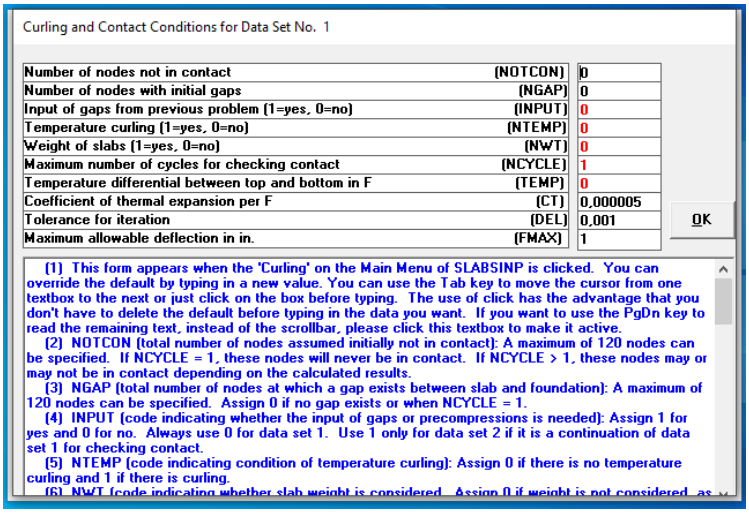
menunjukkan bahwa Anda tidak menggunakan default dan menu ini harus dimasukkan. Misalnya, nilai *default* untuk NDAMA adalah 0 untuk analisis tanpa kerusakan. Jika Anda mengubah NDAMA menjadi 1 atau 2 pada menu 'Umum', label di bawah menu 'Kerusakan' akan berubah secara otomatis dari '*default'* biru menjadi 'input' merah, yang menandakan bahwa Anda harus masuk ke menu 'Kerusakan'. Pengingat ini sangat membantu saat Anda membuat file baru. Saat mengedit file lama, beberapa 'input' merah mungkin berubah menjadi '*default*' biru yang menunjukkan bahwa tidak diperlukan input

Setelah selesai memasukkan data untuk menu tertentu, '*input*' pada label akan diubah menjadi 'selesai'. Perhatian terhadap perubahan ini selama pembuatan file baru akan membantu menghindari hilangnya data yang diperlukan. Jika suatu formulir memiliki layar tambahan, seperti yang ditunjukkan oleh huruf merah 'Klik dua kali .....' di atas layar, formulir tambahan harus dimasukkan agar 'selesai' muncul. Jika 'input' atau 'default' asli masih tetap ada, formulir tambahan yang hilang akan ditunjukkan.

Klik tombol 'Simpan' atau 'Simpan Sebagai' sebelum keluar. Yang pertama adalah menyimpan file tanpa mengubah nama, sedangkan yang kedua adalah menyimpan file dengan nama yang berbeda. Ketika 'Save As' diklik, kotak dialog dengan nama file default akan muncul. Anda dapat mengganti nama file default dengan mengetikkan nama file baru, yang akan muncul secara otomatis di layar utama *KENPAVE* dan digunakan langsung untuk menjalankan *KENSLABS*. Setelah mengklik 'Simpan', kotak pesan yang menunjukkan nama file yang akan disimpan akan muncul.

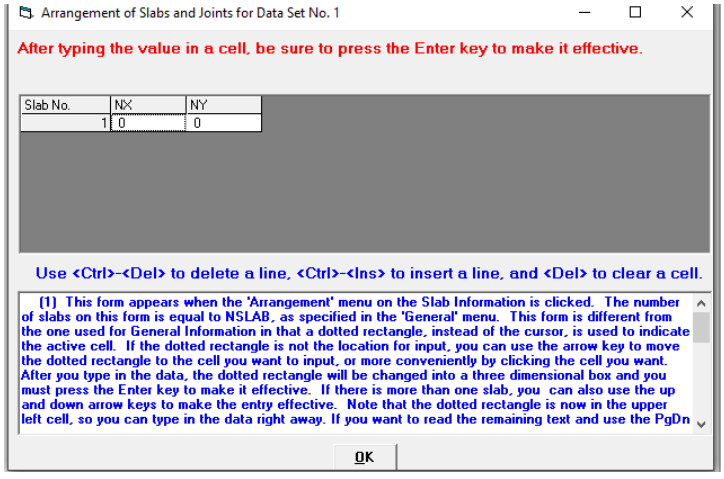
Klik tombol 'Keluar' setelah Anda selesai dan menyimpan file data. Jika Anda lupa menyimpan file sebelum keluar, muncul pesan 'Anda belum menyimpan file. Apakah Anda ingin menyimpan file tersebut?' akan ditampilkan. Jika Anda ingin menyimpan file, klik 'ya' dan file akan disimpan. Jika Anda mengklik 'Tidak', file tidak disimpan dan bagian yang diedit akan ditinggalkan. Jika Anda ingin melakukan beberapa perubahan lagi dan tidak ingin keluar, klik 'Batal.

5. Melakukan perhitungan kontrol beban gandar standar sebelum terjadinya kerusakan *fatigue cracking, rutting* dan *permanent deformation*.



Gambar 4.4 Melakukan prhitungan kontrol beban

Form ini muncul bila menu 'Slab' pada Menu Utama *SLABSINP* diklik. Di bawah setiap menu terdapat label dengan 'input' berwarna merah, yang menunjukkan bahwa tidak ada default dan Anda harus mengklik menu untuk menyediakan beberapa data. Anda dapat mengarahkan panah ke label di bawah setiap menu untuk penjelasan menu yang lebih panjang. Setelah mengisi setiap formulir entri data, kata 'selesai' akan ditampilkan pada label yang sesuai. Setelah mengisi semua formulir pada layar ini, klik OK untuk kembali ke Menu Utama *SLABSINP*.



Gambar 4.5 Analisis data lalu, waktu tinjauan analisis perkerasan dan menganalisis umur perkerasan jalan.

Formulir ini muncul ketika menu 'Pengaturan' pada Informasi Slab diklik. Jumlah pelat pada formulir ini sama dengan NSLAB, sebagaimana

ditentukan dalam menu 'Umum'. Bentuk ini berbeda dari yang digunakan untuk Informasi Umum dimana persegi panjang bertitik, sebagai pengganti kursor, digunakan untuk menunjukkan sel yang aktif. Jika persegi panjang bertitik bukan lokasi input, tombol panah untuk memindahkan persegi panjang bertitik ke sel yang dimasukkan, atau lebih mudahnya dengan mengklik sel yang diinginkan. Setelah mengetikkan data, persegi panjang bertitik akan diubah menjadi kotak tiga dimensi dan user harus menekan tombol Enter agar efektif. Jika terdapat lebih dari satu lempengan, user juga dapat menggunakan tombol panah atas dan bawah agar entri menjadi efektif. Perhatikan bahwa persegi panjang bertitik sekarang berada di sel kiri atas, sehingga user bisa langsung mengetikkan datanya. Jika user ingin membaca sisa teks dan menggunakan tombol PgDn, alih-alih scrollbar, user harus mengklik kotak teks ini untuk mengaktifkannya. Setelah selesai membaca,user harus mengklik sel tersebut sebelum mengetikkan data.

a. NX (jumlah node dalam arah X untuk setiap pelat): Maksimal 15 dapat ditentukan.
b. NY (jumlah node pada arah Y untuk setiap pelat): Maksimum yang dapat ditentukan adalah 15.
c. JONO1 (nomor sambungan di sebelah kiri setiap pelat): Gunakan 0 jika sisi kiri bukan merupakan sambungan melainkan tepi. Kolom ini bersama dengan tiga kolom berikutnya akan hilang jika NSLAB = 1.
d. JONO2 (nomor sambungan di sebelah kanan setiap pelat): Gunakan 0 jika sisi kanannya bukan merupakan sambungan melainkan tepi.
e. JONO3 (nomor sambungan di bagian bawah setiap pelat): Gunakan 0 jika sisi bawahnya bukan sambungan melainkan tepi.
f. JONO4 (nomor sambungan di bagian atas setiap pelat): Gunakan 0 jika sisi atas bukan merupakan sambungan melainkan tepi.
g. Setelah mengetikkan data ke dalam sel, pastikan untuk menekan tombol Enter atau tombol panah agar efektif.
h. Anda dapat menghapus sebuah garis, atau salah satu lempengan, dengan terlebih dahulu mengklik di mana saja pada garis tersebut untuk mengaktifkannya lalu tekan tombol <Ctrl>-<Del>. NSLAB di menu

'Umum' akan berkurang secara otomatis sebesar 1.

i. User dapat menambahkan baris baru, atau satu lempengan lagi, di atas garis mana pun dengan terlebih dahulu mengeklik sel di baris tersebut untuk mengaktifkannya, lalu tekan tombol <Ctrl>-<Ins>. Akan muncul baris kosong bagi user untuk memasukkan data yang diperlukan. NSLAB pada menu 'Umum' akan bertambah secara otomatis sebesar 1. Jika user ingin menambahkan baris setelah baris terakhir, user dapat mengubah NSLAB pada menu 'Umum' dengan menambahkan 1 dan akan muncul baris kosong sebagai baris terakhir. Ingatlah bahwa selalu gunakan tombol <Ctrl>-<Ins> untuk menambahkan baris kecuali baris yang akan ditambahkan adalah baris terakhir. Dengan demikian, user tidak perlu mengetik ulang baris apa pun yang ada

j. Setelah mengisi formulir ini, klik OK untuk kembali ke Informasi Slab.

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perkerasan Kaku Eksisting

5.1.1 Data Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data skunder. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dengan melakukan observasi langsung pada jalan yang akan di evaluasi. Sedangkan untuk data sekunder didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Enegeri Sumber Daya Mineral Jawa Tengah. Adapun data skunder yang diperoleh adalah data perkerasan jalan tahun 2020-2024.

5.1.2 Data Tebal Perkerasan Eksisiting

Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo menurut data yang didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Enegeri Sumber Daya Mineral Jawa Tengah, memuat tebal struktur tebal perkerasan eksisting yang memiliki lapis beton, *LMC* dan *LPA* kelas A. Pada perkerasan ini masih belum memenuhi standar umur rencana 40 tahun sehingga perlunya alternatif perkerasan kaku. Struktur perkerasan eksiting dapat dilihat dalam Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Tebal Lapis Perkerasan Eksisting

Lapis Perkerasan	Tebal Perkerasan
K450	15 cm
LMC	10 cm
LPA kelas A	15 cm

Sumber : PUPR Jawa Tengah

5.1.3 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas harian rata-rata pada Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo dapat dideskripsikan pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo

No.	Gol.	Jenis Kendaraan	LHR
1.	1	Sepeda Motor	978
2.	2	Sedan, Jeep dan Station Wagon	759
3.	4	Pick Up, Mini Truk, dan Mobil Hataran	486
4.	5a	Bus Kecil	127
5.	5b	Bus Besar	105
6.	6a	Truk Ringan 2 Sumbu	467
7.	6b	Truk Berat 2 Sumbu	25
8.	7a	Truk Ringan 3 Sumbu	3
9.	8	Kendaraan Tak Bermotor	97

Sumber : Peneliti

5.2 Perhitungan Tebal Struktur Perkerasan Kaku Alternatif Menggunakan Bina Marga 2017

5.2.1 Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan

Data lalu lintas dapat digunakan untuk menentukan nilai CESA. Selain itu, perolehan nilai CESA juga memerlukan penentuan beberapa faktor berikut.

a. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dinyatakan dengan satuan persen pertahun (%/tahun). Penentuan dari pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan Tabel laju pertumbuhan lalu lintas (i) yang tersedia pada Bina marga 2017, dari tabel tersebut dapat ditentukan lokasi penelitian ini menggunakan 4,80 yang akan dirincikan pada Tabel 5.3 sebagai berikut ini.

Tabel 5.3 Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektural Rural	3,5	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : Bina Marga (2017)

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*cumulative growth factor*) pada Persamaan 3.4 berikut ini.

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

$$R = \frac{(1+0{,}01\ x\ 4{,}80\%)^{40}-1}{0{,}01\ x\ 4{,}80\%}$$

R = 40,377

b. Faktor distribusi lajur (D_L)

Faktor distribusi lajur ditentukan melalui Tabel 3.6, untuk kendaraan niaga dengan jumlah lajur setiap arah yaitu 1 sehingga didapatkan nilainya sebesar 100%.

c. Faktor distribusi arah (D_D)

Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (D_D) pada Bina Marga 2017 umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi dari arah tertentu.

d. Jumlah Kelompok Sumbu

Kelompok sumbu untuk perhitungan perkerasan kaku dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.8, yang berisi nilai VDF untuk setiap jenis kendaraan niaga. Berikut ini adalah kelompok sumbu yang akan digunakan dalam perhitungan. dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Nilai Jumlah Kelompok Sumbu

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

7C	Truk 4 sumbu - trailer	4

Sumber : Bina Marga 2017

Perhitungan perkerasan kaku didasarkan pada jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*Heavy Vehicle Axle Group, HVAG*) dan bukan pada nilai *ESA* sebagai satuan beban lalu lintas pada perkerasan beton. Jumlah *HVAG* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

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

Berikut adalah hasil dari perhitungan *HVAG* menggunakan Persamaan diatas untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perhitungan Nilai *HVAG*

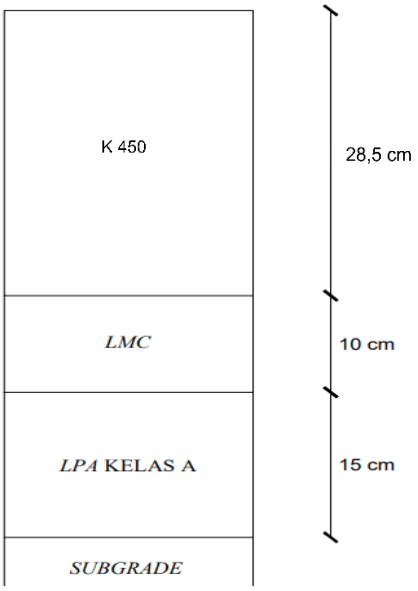
Jenis Kendaraaan	Jumlah Kelompok Sumbu	LHR 2024	Kelompok Sumbu 2024	Jumlah kelompok sumbu
1	2	978	-	-
2,3	2	759	-	-
4	2	486	972	7.162.420,417
5A	2	127	254	1.871.661,302
5B	2	105	210	154.743,51
6A	2	467	934	6.882.408,096
6B	3	25	75	552.655,8964
7A	4	3	12	8.8424,94342
7B	4	2	8	58.949,96228
HVAG 40 Tahun				18.163.957,13
				$18{,}16 \times 10^6$

Perhitungan dalam Tabel 5.4 menghasilkan nilai *HVAG* selama 40 tahun sebesar $18{,}16 \times 10^6$. Berdasarkan hasil tersebut, ketebalan perkerasan kaku dapat ditentukan sesuai dengan Bina Marga 2017, yang mengacu pada bagan di bagian 4. Penentuan ketebalan perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.1.

Tabel 5.6 Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

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

Sumber : Bina Marga (2017)



Gambar 5.1 Tebal Perkerasan Kaku Lalu Lintas berat

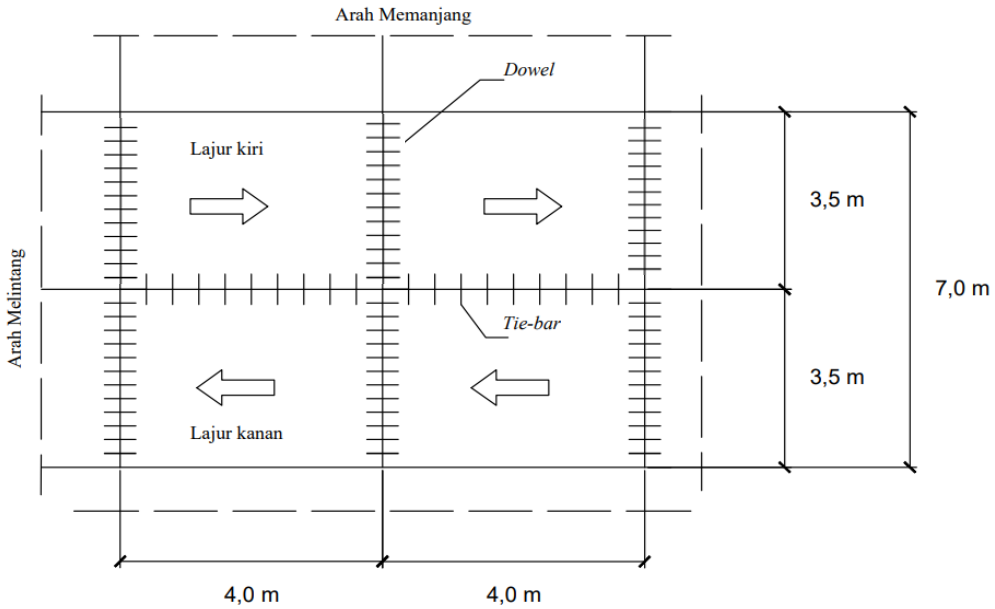
5.2.2 Perhitungan Sambungan dan Tulangan

Analisis penentuan sambungan dan tulangan dapat dilakukan berdasarkan jenis perkerasan kaku yang mengacu pada metode dalam pedoman teknis Departemen Kimpraswil (Pd T-14-2003). Metode ini menggunakan perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) atau *Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)* dengan data sebagai berikut.

- Tebal pelat beton (h) = 28,5 cm = 0,285 m

- Lebar pelat beton = 2 x 3,5 m = 7 m
- Panjang pelat beton = 4 m (Pd T-14-2003)
- Sambungan susut dipasang setiap = 4 m

Informasi tersebut dapat digunakan untuk membentuk geometri pada sambungan memanjang dengan menggunakan tie-bar dan sambungan susut melintang dengan dowel pada perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT/*JPCP*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut.

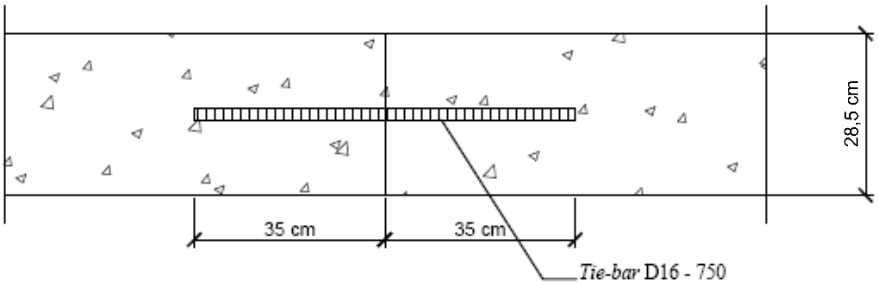


Gambar 5.2 Geometri Sambungan Perkerasan BBTT/*JPCP*

a. Tie-bar (batang pengikat) :

- Diameter = 16 mm baja ulir (mengacu pada Pd T-14-2003)
- Jarak = 75 cm (mengacu pada Pd T-14-2003)
- Panjang = (38,3 x 16) + 75
  = 687,8 mm = 68,78 cm = 70 cm

Hasil analisis menunjukkan bahwa tie-bar (batang pengikat) pada sambungan memanjang dengan baja ulir D16 - 750 memiliki detail yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Detail *Tie-bar* (Batang Pengikat)

b. *Dowel* (ruji) :

- Diameter

Diameter untuk dowel (ruji) cara menentukannya menggunakan Tabel 5.7 yang dapat dilihat berikut ini.

Tabel 5.7 Diameter Ruji

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

Sumber : Pd T-14-2003

Penentuan diameter ruji didasarkan pada ketebalan pelat yang digunakan, yaitu 285 mm. Oleh karena itu, penyesuaiannya mengacu pada nomor 5 dalam Tabel 5.6, sehingga diperoleh diameter 36 mm dengan baja polos yang akan digunakan dalam perkerasan.

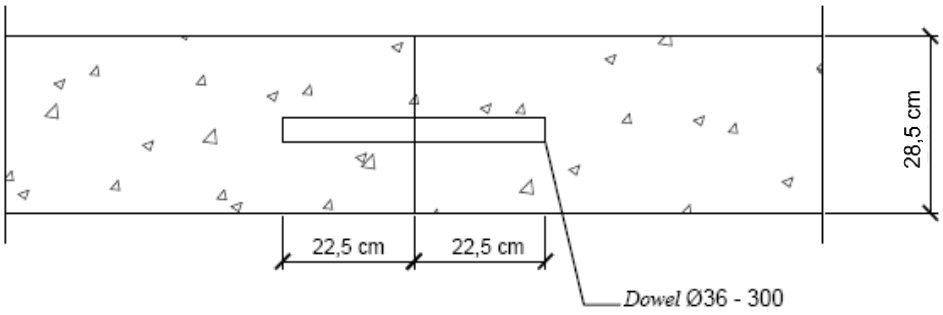
- Jarak

Menurut Pd T-14-2003, jarak antar batang pengikat ditetapkan sebesar 30 cm

- Panjang

Menurut Pd T-14-2003, panjang setiap sambungan memanjang ditetapkan sebesar 45 cm.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dowel (batang ruji) pada sambungan melintang dengan baja polos memiliki detail yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Detail *Dowel* (Batang Ruji)

5.3 Evaluasi Tebal Struktur Perkerasan Kaku dengan *KENPAVE-KENSLABS*

Dalam proses evaluasi dan pemodelan hasil analisis respons sensitivitas terhadap struktur perkerasan kaku, pembebanan lalu lintas dianggap bersifat statis. Analisis ini dilakukan menggunakan *KENPAVE-KENSLABS* dengan pendekatan mekanistik empiris. Program *KENPAVE-KENSLABS* menghasilkan output berupa respons tegangan (*stress*), lendutan (*deflection*), serta *cracking index* (*CI*) dan umur rencana (*design life*). Hasil perhitungan diperoleh setelah menjalankan simulasi pada perangkat lunak tersebut. Mutu beton dan pelat beton menjadi faktor utama yang memengaruhi respons struktur serta umur layan perkerasan. Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan saat memasukkan data untuk analisis mencakup data beban lalu lintas, data material, dan data konstruksi.

5.3.1 Analisis Data Beban Lalu Lintas

Pengaruh data beban lalu lintas digunakan untuk menghitung respons yang dihasilkan akibat beban kendaraan terhadap desain struktur perkerasan. Analisis ini bertujuan untuk menentukan jumlah pengulangan beban sumbu kendaraan dalam periode tertentu selama umur rencana. Pada perkerasan kaku (rigid pavement), umur rencana diasumsikan selama 40 tahun. Output dari analisis kerusakan perkerasan meliputi indeks retak (cracking index/CI), yang dievaluasi dalam periode tahunan.

Data yang digunakan dalam analisis mencakup LHR pada Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo. Selain itu, dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban, serta jarak antar ban untuk roda ganda juga diperhitungkan dalam analisis mekanistik-empiris. Nilai detail beban sumbu dan roda diperoleh dari referensi Huang (2004), sebagaimana tercantum dalam contoh analisis program *KENPAVE-KENSLABS*. Dalam perhitungan ini, tekanan roda per ban yang digunakan adalah 689,5 kPa.

5.3.2 Analisis Data Karakteristik Material

Data material yang dibutuhkan mencakup karakteristik tanah dasar (*subgrade*), seperti nilai CBR, serta mutu beton yang digunakan, karena kedua faktor ini memengaruhi respons perkerasan terhadap beban lalu lintas. Proses input data dalam *software KENPAVE-KENSLABS* melibatkan beberapa tahapan untuk menganalisis data material, yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Karakteristik Material pada Lapisan Perkerasan *Subgrade*

   Lapisan subgrade memerlukan data berupa nilai dukung tanah minimum. Subgrade dianggap stabil jika memenuhi persyaratan dengan nilai CBR minimal 6%. Pada Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo, nilai CBR telah mencapai 7%, sehingga tidak diperlukan stabilisasi tanah dasar. Tahapan perhitungan analisis dilakukan sebagai berikut.

   a. Modulus Young of Subgrade

   Dalam proses input data, diperlukan parameter *modulus young of subgrade.* Salah satu cara untuk merumuskan korelasi antara modulus elastisitas dan parameter tanah lainnya guna mempermudah analisis adalah dengan menggunakan nilai CBR, yang umum digunakan dalam pekerjaan struktur perkerasan jalan. Hubungan antara modulus elastisitas dan CBR dapat dihitung menggunakan rumus E = 6,6 × CBR (MPa)**.** Dengan nilai CBR sebesar 7%, modulus elastisitas tanah dasar dapat dihitung sebagai berikut.

   E = 6,6 x *CBR*

   E = 6,6 x 7 = 46,2 Mpa = 46200 Kpa

   b. Poisson Ratio

Dalam pemodelan ini, *poisson ratio* digunakan untuk menghitung respons struktur perkerasan, meskipun pengaruhnya dalam perhitungan relatif kecil. Berdasarkan data yang didapatkan rentang nilai *poisson ratio* untuk *saturated soft clays* adalah 0,40 hingga 0,50. Sementara itu, *subgrade* dalam analisis ini menggunakan nilai 0,45.

2. Karakteristik Material pada Slab Beton

Karakteristik material pada slab beton yang perlu diinput mencakup mutu beton, karena berpengaruh terhadap respons perkerasan akibat beban lalu lintas. Pada perencanaan alternatif desain struktur perkerasan ini, digunakan mutu beton K450 dengan *portland cement concrete (PCC)***.** Dari mutu beton tersebut, dapat diperoleh beberapa parameter, seperti modulus elastisitas beton (Ec), kuat tekan beton (fc'), *poisson ratio portland cement concrete* (*PCC*), dan *modulus of rupture* (Sc)**.** Tahapan perhitungan untuk menentukan nilai dari parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

a. Kuat tekan beton (fc')

Mutu beton yang digunakan untuk alternatif desain perkerasan kaku pada Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo diasumsikan menggunakan mutu beton K450, dengan kuat tekan karakteristik sebesar 450 kg/cm². Jika mutu beton K450 dikonversi ke kuat tekan benda uji silinder, nilai tersebut dikalikan dengan 0,83, sehingga diperoleh nilai kuat tekan (fc') sebagai berikut.

Fc' = 450 x 0,83

= 373,5 kg/cm² = 37,35 Mpa

1 kg/cm² = 14,22 psi

Fc' = 373,5 x 14,22

= 5.311,17 psi

b. Modulus elastisitas beton (Ec)

Dalam proses input data pada *software KENPAVE-KENSLABS*, diperlukan parameter modulus elastisitas beton. Perhitungan untuk menentukan modulus elastisitas berdasarkan mutu beton K450 dapat dilakukan sebagai berikut.

Ec = $57.000 \sqrt{Fc}$

= $57.000 \sqrt{5311,17}$

= 4.154.033 psi

c. *Poisson ratio*

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

d. *Modulus of rapture* (Sc)

Kuat tekan beton digunakan sebagai ukuran universal untuk menilai kualitas dan daya tahan beton. Menurut Huang (2004), terdapat hubungan antara *modulus of rupture* dan kuat tekan beton, yang dapat dihitung melalui perhitungan berikut.

Sc $= 8\sqrt{Fc}$

$= 8\sqrt{5311{,}17}$

= 583,022 psi

5.3.3 Analisis Data Konstruksi

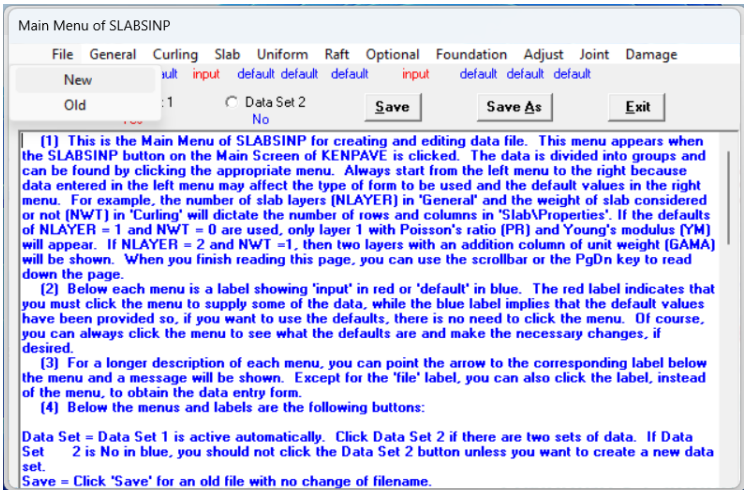
Data konstruksi yang diperlukan mencakup tipe perkerasan kaku dan tebal pelat beton. Input data konstruksi pada Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) digunakan untuk mengevaluasi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dalam analisis umur rencana selama 40 tahun. Pada analisis ini, digunakan mutu beton K450 dengan ketebalan pelat beton hasil perhitungan sebesar 28,5 cm.

5.3.4 Input Data *KENPAVE-KENSLABS*

Beberapa parameter diperlukan untuk memasukkan data ke dalam perangkat lunak *KENPAVE-KENSLABS* guna memperoleh respons pada struktur perkerasan kaku.

1. *SLABSINP*

Langkah awal dalam memasukkan data perkerasan kaku adalah dengan memilih menu *SLABSINP*, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Tampilan pada *Menu SLABSINP*

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

2. *General*

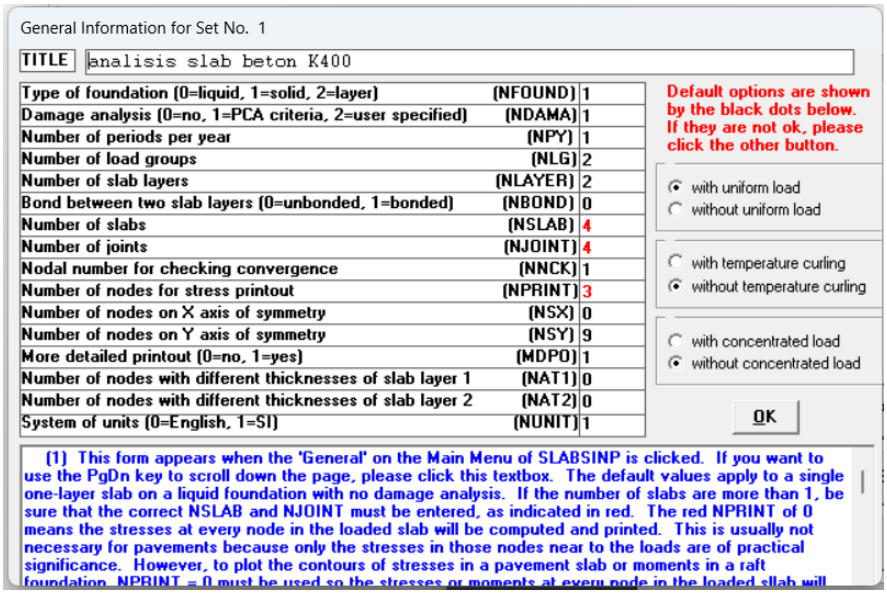
Setelah memilih *New*, langkah selanjutnya adalah memasukkan data pada menu *General*. Pada menu ini, beberapa nilai harus diinput sesuai dengan data yang telah diperoleh. Rincian nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Input Data Menu *General*

Notasi	Nilai	Keterangan
NFOUND	1	*Solid foundation*
NDAMA	1	*PCA criteria (design life)*
NPY	1	Periode per tahun
NLG	2	*Load grup (single and tandem axle)*
NLAYER	1	Lapisan perkerasan
NBOND	0	Antara lapisan tidak terikat
NSLAB	4	Jumlah slab beton 4 slab dengan joint

Lanjutan Tabel 5.8 Input Data Menu *General*

Notasi	Nilai	Keterangan
NJOINT	4	Joint
NNCK	1	Mengikuti KENSLABS
NPRINT	3	Mengikuti KENSLABS
NSX	0	Mengikuti KENSLABS
NSY	9	Mengikuti KENSLABS
MDPO	0	More Detail Print Out (0 = no)
NAT 1	0	Tidak ada lapisan tambahan
NAT 2	0	Tidak ada lapisan tambhan
NUNIT	1	Satuan standar Internasional (SI)



Gambar 5.6 Tampilan Data Input Menu *General*

3. Slab

Slab Information mencakup data pengaturan slab dan joint, karakteristik slab beton yang digunakan untuk analisis, serta jumlah titik pada koordinat

sumbu X dan Y. Data yang diperlukan untuk input dapat dilihat pada Tabel 5.9, Tabel 5.10, Tabel 5.11, dan Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.9 Pengaturan pada *Slab* dan *Joint*

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

Tabel 5.10 Properti *Slab*

Layer No.	T (cm)	PR	YM (psi)	YM (kPA)
1 (PC)	28,50	0,15	4.154.033	28.641.049,322

Tabel 5.11 Jumlah Koordinat Sumbu X dan Y

Slab No	NX	NY
1	10	9

Tabel 5.12 Koordinat Sumbu X dan Y

Sequence	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

Sequence	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 ditentukan berdasarkan titik koordinat pada slab beton. Dalam analisis ini, pembebanan dibagi menjadi dua jenis, yaitu sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). Data input untuk *uniform load* dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, dan Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.13 ***Load Group Area***

Load Grup	***NUDL***
1	4
2	8

Tabel 5.14 ***Loaded Areas for Load Group No. 1***

Load Sequence	***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 5.15 ***Loaded Areas for Load Group No. 2***

Load Sequence	***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	232,239	246,38	689,5

5. Optional

Menu ini akan muncul ketika opsi *"Node Printout"* dalam *"Other Information"* dipilih. Jumlah node yang ditampilkan akan sesuai dengan nilai NP yang diinput dalam menu *"General"***.** *NP* (nomor nodal pada tegangan yang dihitung dan dicetak) untuk analisis kerusakan menggunakan NPRINT = 3, sehingga tiga nomor nodal akan dihitung secara otomatis oleh program. Elemen hingga *mesh* yang digunakan akan sama dengan SLA4**,** karena terdiri dari empat slab beton. Oleh karena itu, analisis yang dilakukan akan mengikuti data pada SLA4, yang menggunakan sambungan (*joint*). Data yang perlu dimasukkan dalam *Node Printout* dapat dilihat pada Tabel 5.16, Tabel 5.17, dan Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.16 ***Elastic Properties of Dowel Bars***

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

Tabel 5.17 ***Nodess for Printout***

Sequence	***NP***
1	1
2	19
3	37

Tabel 5.18 ***Nodes Y Symmetry***

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

6. Foundation

Menu *Foundation* akan muncul jika NFOUND = 1 dan opsi *"Foundation"* dalam menu *SLABSINP* dipilih, kemudian klik *General***.** Data yang dimasukkan dalam menu ini, dengan nilai CBR 7%**,** dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 *Solid Foundation*

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

7. Joint

Menu ini akan tersedia jika nilai NSLAB = 4 dan NJOINT = 4 diinput pada menu *General*. Rincian data yang harus dimasukkan dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 *Joint of Four Slab*

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

8. Damage

Pada *damage analysis*, data input menggunakan kriteria *Portland Cement Association* (*PCA*, 1984)**.** Metode ini bertujuan untuk menentukan jumlah pengulangan beban yang diperbolehkan. Hasil analisis berupa *index cracking*, yang digunakan untuk menentukan *design life* perkerasan kaku. *Fatigue properties* diperoleh berdasarkan mutu beton yang digunakan

dalam analisis, sementara *volume of traffic* dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.21 *Fatigue Properties*

Layer No.	PMR (kPa)
1	4019,93

Tabel 5.22 *Volume of Traffic*

Load Group	TNLR
1	10602
2	3392

Setelah semua data diinput pada menu *SLABSINP*, langkah selanjutnya adalah menyimpan data dan kembali ke menu utama *KENPAVE*. Pemrosesan data dilakukan dengan mengklik *KENSLABS LARGE RAM***.** Untuk melihat hasil evaluasi dari perangkat lunak *KENPAVE-KENSLABS*, kembali ke menu utama *KENPAVE*, lalu pilih menu *editor* dan buka file sesuai dengan nama yang telah diproses di *KENSLABS LARGE RAM*.

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

Analisis perkerasan kaku menggunakan metode dari Bina Marga 2017 didapatkan perhitungan tebal pelat beton sebesar 28,5 cm dengan mutu beton K450, dan umur rencana (*design life*) selama 40 tahun. Setelah dievaluasi dengan *software KENPAVE-KENSLABS* maka didapatkan hasil tebal pelat dari *running software* sebesar 20 cm. Hasil perbandingan tebal pelat dari *running software* dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.23 Perbandingan *Maks. Stress* Tebal Perkerasan Kaku

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	*Maks. Stress* (kPa)		*Index Cracking (%)*	Rencana	Evaluasi *KENSLABS*
			Single Axle	*Tandem Axle*		*Design Life* (thn)	*Design Life* (thn)
Eksisting	K450	150	2928,887	2196,807	12,2	40	6

Alternatif 1	K450	220	1665,447	1695,946	1,8	40	97
Alternatif 2	K450	200	2296,332	1592,729	2,5	40	45

Tabel 5.24 Perbandingan *Maks. Deflection* Tebal Perkerasan Kaku

Metode	**Mutu Beton**	**Tebal (mm)**	***Maks. Deflection* (mm)**		***Index Cracking (%)***	**Rencana**	**Evaluasi *KENSLABS***
			Single Axle	***Tandem Axle***		***Design Life* (thn)**	***Design Life* (thn)**
Eksisting	K450	150	1,927	3,992	12,2	40	6
Alternatif 1	K450	220	0,745	2,193	1,8	40	97
Alternatif 2	K450	200	1,502	3,849	2,5	40	45

Hasil dari *trial and error* pada *software KENPAVE-KENSLAB* menghasilkan tebal yang optimal yaitu dengan ketebalan plat beton 200 mm. *Software KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 2296,332 kPa untuk *single axle* dan 1592,729 kPa untuk *tandem axle*. Hasil untuk nilai lendutan maksimum menunjukkan lendutan sebesar 1,502 mm untuk *single axle* dan 3,849 mm untuk *tandem axle* dengan *index cracking* 2,5% dan *design life* 45 tahun. *Trial and error* tersebut didapatkan perkerasan yang efektif dan optimal yang dapat dijadikan alternatif perkerasan yaitu alternatif perkerasan dengan mutu beton K450 dan dengan tebal 200 mm dikarenakan perkerasan tersebut memenuhi dan optimal dalam standar umur rencana perkerasan kaku yaitu 40 tahun.

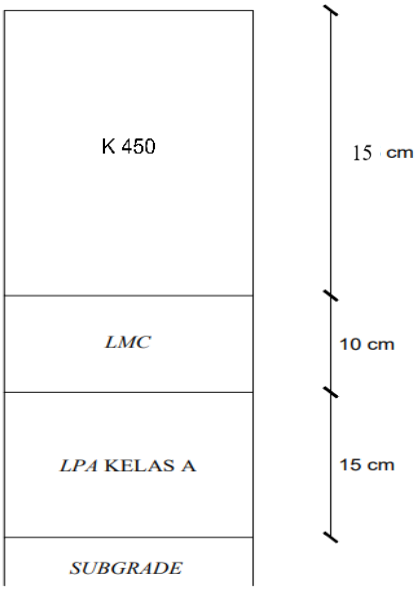
5.4 PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan, terdapat hasil analisis yang akan dijabarkan menjadi beberapa bagian. Pertama, hasil desain struktur perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 pada ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo. Nilai dari tegangan dan lendutan yang dihasilkan

dari beban lalu lintas dengan menggunakan *software KENPAVE*. Terakhir hasil tebal desain alternatif struktur perkerasan kaku yang dievaluasi menggunakan *software KENPAVE*.

5.4.1 Desain Struktur Perkerasan Eksisting pada Ruas Jalan ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo.

Desain struktur perkerasan eksisting berdasarkan data dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Enegeri Sumber Daya Mineral Jawa Tengah. Didapatkan data perkerasan eksisting pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



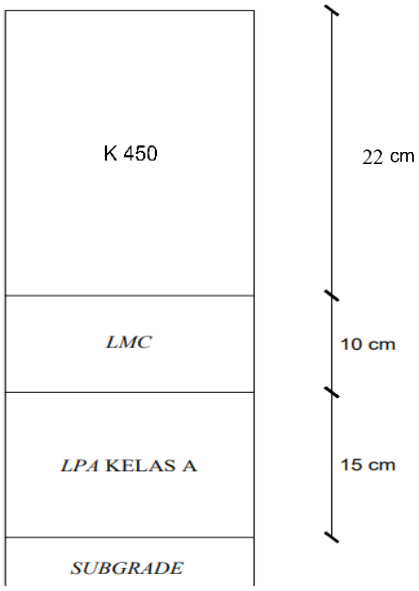
Gambar 5.8 Tebal Desain Perkerasan Kaku Eksisting

Berdasarkan pada hasil *running software KENPAVE-KENSLAB* dapat dilihat bahwa perkerasan eksisting belum mampu untuk menahan beban lalu lintas yang terjadi pada perkerasan eksisting. Pernyataan tersebut dibuktikan dengan hasil yang belum maksimal pada *design life* yang terdapat pada *output* dengan hanya mampu menahan beban lalu lintas sampai dengan umur 6 tahun. Sehingga umur perkerasan eksiting tersebut masih dibawah dari umur rencana perkerasan kaku yaitu 40 tahun. Output lain yang dapat dilihat yaitu index cracking yang masih terlampau besar dengan nilai sebesar 12,2 % mengakibatkan perkerasan itu masih mudah untuk mengalami keretakan. Tebal 15 cm pada perkerasan ini masih mempunyai tebal yang terlalu tipis untuk menopang kendaraan yang melewati Ruas

Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo sehingga dibutuhkan alternatif ;desain perkerasan kaku yang mamppu meanahan beban lalu lintas selama umur rencana 40 tahun.

5.4.2 Alternatif 1 Desain Struktur Perkerasan pada Ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo.

Desain struktur perkerasan kaku alternatif 1 dengan menggunakan metode Bina Marga 2017 berdasarkan data dari Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Enegeri Sumber Daya Mineral Jawa Tengah dan observasi langsung di lapangan. Metode Bina Marga 2017 memerlukan data berupa LHR, faktor distribusi jalur, faktor distribusi arah, CBR, dan niai VDF. Berdasarkan data tersebut didapatkan desain perkerasan kaku dengan beban lalu lintas berat. Hasil tebal perkerasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Tebal Alternatif 1 Desain Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat

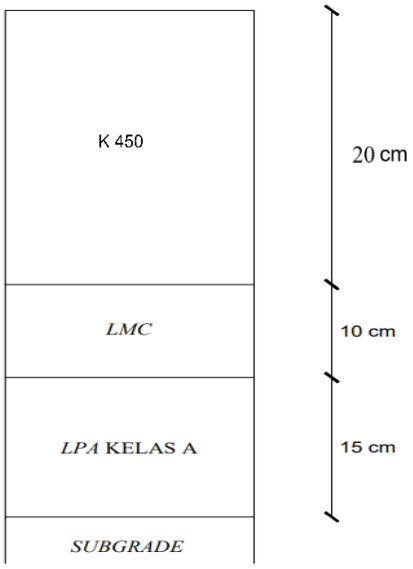
Desain perkerasan kaku alternatif 1 untuk kondisi lalu lintas berat berdasarkan metode Bina Marga 2017 dan sudah menaikan tebalnya menjadi 22 cm dari sebelumnya perkerasan eksisting yang hanya memiliki tebal 15 cm terbukti belum optimal dalam menahan beban lalu lintas dengan nilai *HVAG* sebesar 18,16 × 10^6. Ketidakefisienan ini tercermin dari hasil evaluasi yang dilakukan menggunakan *software KENPAVE-KENSLAB*, di mana umur layan yang dihasilkan

jauh melebihi umur rencana, yakni mencapai lebih dari 97 tahun. Indikasi ini diperkuat oleh nilai rasio antara tegangan maksimum yang terjadi dan *modulus of rupture*, yang bernilai kurang dari 0,45. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur perkerasan bekerja jauh di bawah kapasitas maksimalnya, sehingga material yang digunakan tidak dimanfaatkan secara optimal. Dengan demikian, desain yang ada cenderung bersifat *overdesign* dan dapat menimbulkan pemborosan sumber daya serta kemungkinan pemborosan biaya konstruksi. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif desain perkerasan kaku yang lebih efisien (alternatif 2), dengan ketebalan pelat beton yang disesuaikan agar umur layan mendekati umur rencana, yaitu 40 tahun. Hal ini penting untuk mencapai keseimbangan antara ketahanan struktural, umur pakai, dan efisiensi penggunaan material maupun biaya pembangunan jalan. Ketidakefektifan desain ini juga ditemukan dalam penelitian sebelumnya oleh Qisthi dan Kushari (2019), di mana desain perkerasan kaku berdasarkan PdT-04-2003 menunjukkan umur yang jauh dari umur rencana yaitu 40 tahun dalam evaluasi menggunakan *software KENPAVE-KENSLAB*.

5.4.3 Alternatif 2 Desain Tebal Lapis Perkerasan Optimum Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo

Setelah dilakukan evaluasi menggunakan *software KENPAVE-KENSLABS*, diperoleh hasil berupa tebal perkerasan yang paling optimum untuk ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo. Proses penentuan ketebalan optimum dilakukan melalui metode trial and error, yaitu dengan secara bertahap mengurangi tebal lapisan plat beton, sambil tetap memperhatikan batas ketahanan struktural dan standar teknis yang berlaku (Qisthi dan Kushari, 2019). Evaluasi tersebut menghasilkan output berupa nilai tegangan maksimum (*maksimum stress*) dan lendutan maksimum (*maksimum deflection*). Dari kedua parameter tersebut, dapat ditentukan indeks retak (*index cracking*) serta umur desain (*design life*). Setiap variasi tebal diuji terhadap beban yang disimulasikan hingga ditemukan kombinasi tebal minimum yang masih mampu memenuhi syarat daya dukung dan umur rencana jalan. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan desain perkerasan kaku yang efisien dan aman terhadap beban lalu lintas yang akan melewati ruas jalan tersebut. Dari proses tersebut, akhirnya

diperoleh alternatif desain perkerasan kaku yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga ekonomis untuk diterapkan pada penelitian ini. Struktur dari alternatif perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.10 Tebal Alternatif 2 Desain Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat

Alternatif 2 desain perkerasan kaku dilakukan dengan mengurangi ketebalan pelat beton dari 285 mm sesuai Bina Marga 2017 menjadi 200 mm agar lebih mendekati umur rencana 40 tahun. Hasil analisis menggunakan program *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan bahwa desain ini mengalami kerusakan berupa *cracking* pada umur 45 tahun. Hal ini membuktikan bahwa pengurangan ketebalan efektif dalam menurunkan umur layan, sehingga desain perkerasan dapat mencapai ketebalan yang lebih optimal dan efisien dalam menahan beban lalu lintas sesuai dengan umur rencana.

Pengurangan ketebalan pada perkerasan kaku dilakukan untuk menghindari pemborosan material dan menghasilkan desain yang lebih ekonomis. Pemilihan desain perkerasan yang optimal berdasarkan tebal perkerasan juga dilakukan oleh Qisthi dan Kushari (2019) pada penelitian tersebut membandingkan tebal perkerasan Bina Marga dengan alternatif desain yang tebal pelat betonnya mengalami pengurangan tebal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain alternatif lebih efektif karena kerusakan terjadi mendekati umur rencana, sehingga perkerasan kaku dengan desain alternatif menjadi pilihan yang

lebih baik. Ilpandari (2018) juga melakukan penelitian dengan variasi tebal pelat beton mengakibatkan tegangan masksimum dan lendutan maksimum mengalami peningkatan sehingga umur layan menjadi lebih efektif dan optimal.

5.4.4 Rekapirtulasi Evaluasi dan Pemodelan Struktur Desain Perkerasan Kaku Dengan Program *KENPAVE-KENSLABS*

Desain struktur perkerasan kaku untuk lalu lintas berat berdasarkan Bina Marga 2017 serta alternatif desainnya menghasilkan output berupa nilai tegangan maksimum (*maksimum stress*) dan lendutan maksimum (*maksimum deflection*). Dari kedua parameter tersebut, dapat ditentukan indeks retak (*index cracking*) serta umur desain (*design life*). Rekapitulasi hasil output dari *software KENPAVE-KENSLABS* untuk desain perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Maksimum *Stress* dan Maksimum *Deflection* Desain Bina Marga 2017 dan Alternatif Perkerasan Kaku

Metode	Mutu Beton	Tebal (mm)	*Maks. Stress* (kPa)		*Maks. Deflection* (mm)		*Index Cracking (%)*	Evaluasi *KENSLABS* *Design Life* (thn)
			Single Axle	*Tandem Axle*	*Single Axle*	*Tandem Axle*		
Eksisting	K450	150	2928,887	2196,807	1,927	3,992	12,2	6
Alternatif 1	K450	220	1665,447	1695,946	0,745	2,193	1,8	97
Alternatif 2	K450	200	2296,332	1592,729	1,502	3,849	2,5	45

Berdasarkan hasil analisis, tegangan maksimum yang terjadi pada konfigurasi *single axle* dan *tandem axle* pada perkerasan eksisting dengan tebal 15 cm tercatat sebesar 2928,887 kPa untuk *single axle* dan 2196,807 kPa untuk *tandem axle*. Dengan ketebalan pelat beton 22 cm perkerasan kaku alternatif 1 tercatat sebesar 1665,447 kPa untuk *single axle* dan 1695,946 kPa untuk *tandem axle*. Sementara itu, dengan ketebalan 20 cm pada perkerasan kaku alternatif 2, hasil dari

program *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 2296,332 kPa untuk *single axle* dan 1592,729 kPa untuk *tandem axle*. Hasil untuk nilai lendutan maksimum, pada ketebalan pelat beton 15 cm diperoleh lendutan sebesar 1,927 mm untuk *single axle* dan 3,992 mm untuk *tandem axle*. Pada ketebalan pelat beton 22 cm perkerasan kaku alternatif 1, diperoleh lendutan sebesar 0,745 mm untuk *single axle* dan 2,193 mm untuk *tandem axle*. Sedangkan dengan ketebalan 20 cm perkerasan kaku alternatif 1, hasil running program *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan lendutan sebesar 1,502 mm untuk *single axle* dan 3,849 mm untuk *tandem axle.*

Nilai *index cracking* berdasarkan perkerasan eksisting menunjukkan adanya keretakan yang cukup tinggi dengan nilai 12,2% per tahun karena *design life* yang dihasilkan sebesar 6 tahun, yang dapat dikategorikan belum mampu menahan beban lalu lintas berdasarkan output program. Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan pelat beton K450 dengan ketebalan 15 cm dalam perkerasan eksisting masih terlalu kecil atau tipis, sehingga diperlukan penambahan ketebalan agar desain perkerasan lebih mampu dalam menahan beban lalu lintas. Berbeda dengan perkerasan eksisting, pada desain alternatif 1 dengan ketebalan 22 cm menunjukan umur yang masih 97 tahun dan menunjukan penurunan pada tegangan maksimum (*maximum stress*) dan lendutan maksimum (*maximum deflection*) dengan *index cracking* 1,8% sehingga diperlukannya penurunan tebal hingga mencapai umur rencana dan menjadi perkerasan yang efektif dan optimal. Sementara itu, hasil running program *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan bahwa dengan ketebalan pelat beton 20 cm dan mutu beton K450 pada perkeakaran kaku alternatif 2, nilai *index cracking* mencapai 2,5% per tahun, dengan *design life* selama 45 tahun. Hal ini membuktikan bahwa ketebalan pelat beton mempengaruhi tegangan maksimum (*maximum stress*), lendutan maksimum (*maximum deflection*), *index cracking*, dan *design life*. Oleh karena itu, alternatif 1 desain perkerasan kaku dengan ketebalan 20 cm yang lebih rendah dari desain alternatif 2 dengan tebal 22 cm telah mencapai tingkat efektivitas dan optimalisasi yang lebih baik. Alternatif 1 lebih tinggi ketebalannya daripada perkerasan eksisting yang mempunyai tebal 15 cm telah mencapai umur 45 yang telah melebihi umur rencana perkerasan kaku 40 tahun.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil analisis desain alternatif perkerasan kaku Bina Marga 2017 pada ruas Jalan Raya Trucuk Desa Jatisari – Jl. Raya Trucuk Desa Kalikebo, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Desain alternatif 2 dengan pelat beton 20 cm terbukti lebih efisien untuk umur rencana 40 tahun. Simulasi *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan ketebalan ini masih mampu menahan beban lalu lintas dengan *index cracking* 2,5% per tahun. Desain ini lebih optimal dan ekonomis dibandingkan desain awal, sehingga layak dijadikan acuan di lapangan.
2. Desain perkerasan kaku metode alternatif 1 menghasilkan pelat beton 22 cm untuk menahan beban lalu lintas berat. Namun, evaluasi dengan *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan umur layan melebihi 97 tahun, jauh di atas umur rencana 40 tahun, sehingga desain dianggap terlalu konservatif dan perlu disesuaikan agar lebih efisien.
3. Perbandingan desain alternatif 1 tebal 22 cm menggunakan simulasi *KENPAVE-KENSLABS* menunjukkan bahwa pengurangan ketebalan pelat beton memengaruhi tegangan, lendutan, *index cracking*, dan umur layan. Desain alternatif 1 menghasilkan umur layan sangat tinggi 97 tahun sementara pelat 20 cm pada alternatif 2 dari *KENPAVE-KENSLABS* memberikan hasil seimbang dengan umur layan 45 tahun dan parameter teknis tetap aman. Ini membuktikan bahwa efisiensi desain dapat dicapai tanpa mengurangi kinerja struktur.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan perlunya penerapan metode desain lain sebagai pendekatan tambahan yang dapat digunakan untuk mendukung

dan memperluas hasil analisis dalam penelitian ini dengan menggunakan metode binamarga 2024

2. Perbandingan variasi mutu beton pada perkerasan kaku perlu dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dalam menilai besar tegangan, lendutan, serta estimasi tingkat kerusakan dan umur layan struktur.
3. Evaluasi terhadap estimasi biaya dari alternatif desain perkerasan kaku perlu dilakukan agar analisis ekonomi dapat menjadi pertimbangan tambahan dalam menentukan pilihan desain yang paling efisien dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Ghafri, I. H., dan Javid, M. (2018). Comparative analysis of rigid pavement using Westergaard method and computer program. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, *2*(2), 19-30.

Arianto, R. (2023). *Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-pangandaran (Evaluation Of Pavement Structure Design With Approaches Elastic And Viscoelastic On Cipatujah-kalapagenep-pangandaran Road)* (Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia).

Basuki, A. (2020). Evaluasi Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dengan Metode Bina Marga 2003 (Studi Kasus Peningkatan Jalan Simpang Patung Kuda Simpang Bengkong Seken). *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, *1*(1), 33-44.

Dinata, I. D., Rahmawati, A., dan Setiawan, D. M. (2017). "Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode AASTO 1993 Menggunakan Program Kenpave (Studi Kasus: Jalan Karangmojo Semin Sta 0+000 sampai Sta 4+050)", Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, Vol. 20, No.1, 8-19.

Hadi, M. A., (2023) . Identifikasi Kerentanan Kinerja Perkerasan Jalan Terhadap Aktivitas *Overload* Kendaraan Menggunakan Program Kenpave. Siklus: Jurnal Teknik Sipil, 9(2), 95-104.

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

Hardiyatmo, H.C., (2015), perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Hellyantoro, G., Fauzi, M.F., Kusharjoko. W., (2013), Evaluasi Tebal Perkerasan Lapis Tambah Dengan Menggunakan Program Everseries dan Metode Bina Marga studi Kasus : Jalan Tol Jagorawi ruas Jalan TMII – Cibubur, Jurnal karya Teknik Sipil, 2(2), 1-10.

Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (Vol. 2, pp. 401-409). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

Huang, Y. H. (1993). "Pavement Analysis and Design", 1st Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Ilpandari. (2018). Analisis Desain Struktur Rigid Pavement dengan Metode Empirik, Evaluasi dan Permodelan dengan *Software Kenpave-Kenslabs* (Studi Kasus : Jalan Tol Semarang - Solo, Seksi III Bawen - Salatiga)," no. 1993, p. 14914023.

Jain, S., Joshi, Y. P., dan Goliya, S. S. (2013). Design of rigid and flexible pavements by various methods dan their cost analysis of each method. *International Journal of Engineering Research and Applications*, *3*(5), 119-123.

Juwita, F., Nurafni, D., Subekti, S., Sujatmiko, C., dan Silova, M. A. (2023). Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Pada Jalan Provinsi Berdasarkan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 (Studi Kasus: Ruas Jalan Padang Ratu-Kalirejo). *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, *8*(1), 30-43.

Khan, M. I., Qadeer, M. A., dan Harwalkar, A. B. (2014). Mechanistic Analysis of Rigid Pavement for Temperature Stresses Using Ansys. *IOSR J Mech Civ Eng*, *11*, 90-107.

Pradasari, N. K. (2023). *Evaluasi Rancangan Struktur Perkerasan Untuk Memprediksi Umur Layan Menggunakan Metode Bina Marga 2017, Aashto 1993 dan Metode Mekanistik Empirik Kenpave* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Patel, A., Singh, H., Kumar, S., Shanker, R., dan Kumar, P. (2023). Screening of different varieties against Earias vittella (Fab.) and categorization on the basis of shoot and fruit damage in okra. *Journal of Entomological Research*, *47*(1), 42-47.

Qisthi, M., dan Kushari, B. (2019). Pengaruh Variasi Tebal Dan Mutu Beton Terhadap Respons Struktural Perkerasan Kaku. *Jurnal Transportasi*, *19*(1), 1-10.

Rind, T. A., Memon, N. A., dan Qureshi, A. S. (2017). Analysis and Design of Flexible Pavement Using Empirical-Mechanistic Based Software

(KENPAVE). In *International Conference on Sustainable Development in Civil Engineering*.

Sidabutar, R. A., Saragi, Y. R., Pasaribu, H., Pardede, M., dan Hutabarat, T. (2021). Evaluasi Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan SM Raja Medan Dengan Metode Bina Marga. *Jurnal Visi Eksakta*, *2*(2), 215-224.

Simanjuntak, I. (2014). Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Manual Desain Perkerasan Jalan No. 22.2/KPTS/Db/2012 dengan Menggunakan Program KENPAVE. *Jurnal Teknik Sipil*, *3*(2), 1-10.

Suwanda, A., dan Kushari, B. (2019). "Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pendekatan Viskoelastik Dan Elastik Linier Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem", Kolokium Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

Sukarno, E. W. (2022). Studi Kasus Perbandingan Efisiensi Biaya Antara Pekerjaan Jalan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) dengan Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) di Kabupaten Ngawi. *Jurnal Impresi Indonesia*, *1*(10), 1090-1101.

Tias, S. A. N. (2020). Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dengan Metode Aashto 1993 Dan Metode Bina Marga Pd-T-14-2003 Menggunakan Tulangan Pada Ruas Jalan Sungai Jering–Kari. *Jurnal Perencanaan, Sains Dan Teknologi (Jupersatek)*, *3*(1), 284-290.

Totomihardjo, S. (2004). Bahan dan Struktur Jalan Raya, edisi ketiga. *Biro Penerbit Teknik Sipil UGM, Yogyakarta*.

Widodo, M. N. (2018). Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Tol Colomadu-Karanganyar Dengan Metode Aashto 1993 Dan Metode Bina Marga 2002 (Evaluation Of Rigid Pavement Thickness On The Colomadu-Karanganyar Freeway Using Aashto 1993 Method And Bina Marga 2002 Method).

Zariah, H. A. (2023). Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2017 Pada Ruas Jalan Waibangga, Nusa Tenggara Timur (STA 0+ 000– STA 10+ 000).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Perkerasan Kaku Eksisting

```
INPUT FILE NAME  -C:\KENPAVE\diko15.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -diko15

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))-------------------------=  4019.93
MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 2 (PMR(2))-------------------------=  0

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

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

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

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

LAYER        THICKNESS (T)        POISSON'S          YOUNG'S
 NO.                              RATIO (PR)       MODULUS (YM)
 1            15.00000             0.15000          2.760E+07

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

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

```
FOR LOAD GROUP NO. 2 LOADS ARE APPLIED AS FOLLOWS:
SLAB NO.     X COORDINATES           Y COORDINATES        INTENSITY
   (LS)     (XL1)       (XL2)       (YL1)       (YL2)        (QQ)
    1     0.00000    10.26600     0.00000    14.14100   689.50000
    1     0.00000    10.26600    36.65900    50.80000   689.50000
    1     0.00000    10.26600   195.58000   209.72100   689.50000
    1     0.00000    10.26600   232.23900   246.38000   689.50000
    1   111.65400   132.18600     0.00000    14.14100   689.50000
    1   111.65400   132.18600    36.65900    50.80000   689.50000
    1   111.65400   132.18600   195.58000   209.72100   689.50000
    1   111.65400   132.18600   232.23900   246.38000   689.50000

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

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

FOUNDATION ADJUSTMENT FACTOR (FSAF) FOR EACH PERIOD ARE: 1
YOUNG'S MODULUS OF FOUNDATION (YMS) =  46200
POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) =  0.45

YOUNG MODULUS OF DOWEL BAR (YMSB)   = 2.000E+08
POISSON RATIO OF DOWEL BAR (PRSB)   =   0.30000

JOINT  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   75.000   0.500  0.00000    0
  2 0.000E+00 0.000E+00 2.713E+05   3.600   30.000   0.500  0.00000    0
  3 0.000E+00 0.000E+00 2.713E+05   1.600   75.000   0.500  0.00000    0
  4 0.000E+00 0.000E+00 2.713E+05   3.600   30.000   0.500  0.00000    0

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

JOINT NO.     EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)
    1                      3.649E+00
    2                      3.924E+01
    3                      3.649E+00
    4                      3.924E+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	335.280	0.000	65	335.280	25.400	66	335.280	50.800
67	335.280	99.060	68	335.280	147.320	69	335.280	195.580
70	335.280	246.380	71	335.280	304.800	72	335.280	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	335.280	360.000	155	335.280	385.400	156	335.280	410.800
157	335.280	459.060	158	335.280	507.320	159	335.280	555.580
160	335.280	606.380	161	335.280	664.800	162	335.280	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

```
241   743.840   246.380  242   743.840   304.800  243   743.840   360.000
244   835.280     0.000  245   835.280    25.400  246   835.280    50.800
247   835.280    99.060  248   835.280   147.320  249   835.280   195.580
250   835.280   246.380  251   835.280   304.800  252   835.280   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   835.280   360.000  335   835.280   385.400  336   835.280   410.800
337   835.280   459.060  338   835.280   507.320  339   835.280   555.580
340   835.280   606.380  341   835.280   664.800  342   835.280   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
```

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

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

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

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
    82      0.0      0.0    83      0.0      0.0    84      0.0      0.0
    85      0.0      0.0    86      0.0      0.0    87      0.0      0.0
    88      0.0      0.0    89      0.0      0.0    90      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
   82       0.0   83       0.0   84       0.0   85       0.0   86       0.0
   87       0.0   88       0.0   89       0.0   90       0.0

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
    82      0.0      0.0    83      0.0      0.0    84      0.0      0.0
    85      0.0      0.0    86      0.0      0.0    87      0.0      0.0
    88      0.0      0.0    89      0.0      0.0    90      0.0      0.0

NODE LAYER STRESS X   STRESS Y  STRESS XY  MAX.SHEAR     MAJOR      MINOR
  1    1  -2928.887      0.000      0.000   1464.444      0.000  -2928.887
 19    1     39.657      0.000      0.000     19.828     39.657      0.000
 37    1    432.817      0.000      0.000    216.409    432.817      0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1  IS   -2928.887 ( NODE 1 )
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS  .12235E+02
```

```
PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
     9     -0.1      0.0    18     -0.3      0.0    27     -0.3      0.0
    36     -0.3      0.0    45     -0.4      0.0    54     -0.2      0.0
    63      0.1      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      -0.5   18      -0.7   27      -0.7   36      -0.7   45      -0.6
   54      -0.3   63       0.1   72       0.2   81       0.1

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
     9     -0.2     -0.2    18     -0.3     -0.3    27     -0.4     -0.4
    36     -0.3     -0.3    45     -0.3     -0.3    54     -0.1     -0.1
    63      0.0      0.0    72      0.1      0.1    81      0.1      0.1

FOR JOINT NO. 2 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
   172     -0.1      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       0.0  198       0.0  207       0.0  216       0.0  225       0.0
```

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

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

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
    82      0.1      0.0    83      0.1      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      0.0

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       0.1

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  -2086.540      0.000      0.000   1043.270      0.000  -2086.540
 19    1    388.800      0.000      0.000    194.400    388.800      0.000
 37    1  -2196.807      0.000      0.000   1098.404      0.000  -2196.807

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1  IS   -2196.807 ( NODE 37 )
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS  .14661E-01

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) =    .12259E+02
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS =                       6.08
```

Lampiran 2. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Alternatif 1 Perkerasan Kaku Lalu Lintas Berat

```
INPUT FILE NAME  -C:\KENPAVE\diko22.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -diko23

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))-------------------------=  4019.93
MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 2 (PMR(2))-------------------------=  0

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

FOR SLAB NO. 2 COORDINATES OF FINITE ELEMENT GRID ARE:
X =  0  30.48  60.96  91.44  121.92  182.88  243.84  335.28  456.72  500
Y =  0  25.4  50.8  99.6  147.32  195.58  246.38  304.8  360

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

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

LAYER        THICKNESS (T)        POISSON'S          YOUNG'S
 NO.                              RATIO (PR)       MODULUS (YM)
 1            28.50000             0.15000          2.760E+07

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

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

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

SLAB NO. (LS)	X COORDINATES (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	246.38000	689.50000

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

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

FOUNDATION ADJUSTMENT FACTOR (FSAF) FOR EACH PERIOD ARE: 1
YOUNG'S MODULUS OF FOUNDATION (YMS) = 46200
POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) = 0.45

YOUNG MODULUS OF DOWEL BAR (YMSB) = 2.000E+08
POISSON RATIO OF DOWEL BAR (PRSB) = 0.30000

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

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

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

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	335.280	0.000	65	335.280	25.400	66	335.280	50.800
67	335.280	99.060	68	335.280	147.320	69	335.280	195.580
70	335.280	246.380	71	335.280	304.800	72	335.280	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	459.600	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	459.600	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	459.600	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	459.600	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	459.600	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	459.600	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	459.600	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	335.280	360.000	155	335.280	385.400	156	335.280	410.800
157	335.280	459.600	158	335.280	507.320	159	335.280	555.580
160	335.280	606.380	161	335.280	664.800	162	335.280	720.000
163	456.720	360.000	164	456.720	385.400	165	456.720	410.800
166	456.720	459.600	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	459.600	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   835.280     0.000  245   835.280    25.400  246   835.280    50.800
247   835.280    99.060  248   835.280   147.320  249   835.280   195.580
250   835.280   246.380  251   835.280   304.800  252   835.280   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   835.280   360.000  335   835.280   385.400  336   835.280   410.800
337   835.280   459.060  338   835.280   507.320  339   835.280   555.580
340   835.280   606.380  341   835.280   664.800  342   835.280   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      0.0      0.0    18      0.0      0.0    27      0.0      0.0
    36      0.0      0.0    45      0.0      0.0    54      0.0      0.0
    63      0.0      0.0    72      0.0      0.0    81      0.0      0.0

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

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

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

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

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

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

```
FOR JOINT NO. 3 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
  189       0.1  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       0.1   85       0.0   86       0.0
   87       0.0   88       0.0   89       0.1   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  -1704.016      0.000      0.000    852.008      0.000  -1704.016
 19    1   -265.388      0.000      0.000    132.694      0.000   -265.388
 37    1    139.719      0.000      0.000     69.859    139.719      0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1  IS   -1665.474 ( NODE 1 )
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS  .17830E+00

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
     9     -0.3      0.0    18     -0.7      0.0    27     -0.7      0.0
    36     -0.7      0.0    45     -0.9      0.0    54     -0.7      0.0
    63     -0.3      0.0    72      0.3      0.0    81      0.3      0.0
```

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

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

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

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

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

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

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

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
    82      0.0      0.0    83      0.0      0.0    84      0.0      0.0
    85      0.0      0.0    86      0.0      0.0    87      0.0      0.0
    88      0.0      0.0    89      0.1      0.0    90      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      0.1      0.1   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       0.1   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  -1441.420      0.000      0.000    720.710      0.000  -1441.420
 19    1   -315.266      0.000      0.000    157.633      0.000   -315.266
 37    1  -1322.746      0.000      0.000    661.373      0.000  -1322.746

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1  IS   -1695.946 ( NODE 1 )
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS  .18630E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) =    .18149E+00
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS =                    97.17
```

Lampiran 3. Hasil Analisis *KENPAVE-KENSLABS* pada Perkerasan Alternatif 2 Kaku Lalu Lintas Berat

```
INPUT FILE NAME  -C:\KENPAVE\diko20.TXT

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED =  1

TITLE -diko19

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))-------------------------=  4019
MODULUS OF RUPTURE OF LAYER 2 (PMR(2))-------------------------=  0

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

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

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

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

LAYER        THICKNESS (T)        POISSON'S          YOUNG'S
 NO.                              RATIO (PR)       MODULUS (YM)
 1            19.00000             0.15000          2.760E+07

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

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

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

SLAB NO. (LS)	X COORDINATES (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	246.28000	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	146.38000	689.50000

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

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

FOUNDATION ADJUSTMENT FACTOR (FSAF) FOR EACH PERIOD ARE: 1
YOUNG'S MODULUS OF FOUNDATION (YMS) = 46200
POISSON'S RATIO OF FOUNDATION (PRS) = 0.45

YOUNG MODULUS OF DOWEL BAR (YMSB) = 2.000E+08
POISSON RATIO OF DOWEL BAR (PRSB) = 0.30000

JOINT NO.	SPRING CONSTANT SHEAR (SPCON1)	MOMENT (SPCON2)	MODULUS OF DOWEL SUP. (SCKV)	DOWEL DIA. (BD)	DOWEL SPACING (BS)	JOINT WIDTH (WJ)	GAP DOWEL (GDC)	NODE JOINT (NNAJ)
1	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	75.000	0.500	0.00000	0
2	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.600	30.000	0.500	0.00000	0
3	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	1.600	75.000	0.500	0.00000	0
4	0.000E+00	0.000E+00	2.713E+05	3.600	30.000	0.500	0.00000	0

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

JOINT NO.	EQUIVALENT SPRING CONSTANT (SPCON)
1	3.649E+00
2	3.924E+01
3	3.649E+00
4	3.924E+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	335.280	0.000	65	335.280	25.400	66	335.280	50.800
67	335.280	99.060	68	335.280	147.320	69	335.280	195.580
70	335.280	246.380	71	335.280	304.800	72	335.280	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	335.280	360.000	155	335.280	385.400	156	335.280	410.800
157	335.280	459.060	158	335.280	507.320	159	335.280	555.580
160	335.280	606.380	161	335.280	664.800	162	335.280	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	835.280	0.000	245	835.280	25.400	246	835.280	50.800
247	835.280	99.060	248	835.280	147.320	249	835.280	195.580
250	835.280	246.380	251	835.280	304.800	252	835.280	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	835.280	360.000	335	835.280	385.400	336	835.280	410.800
337	835.280	459.060	338	835.280	507.320	339	835.280	555.580
340	835.280	606.380	341	835.280	664.800	342	835.280	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     -0.1      0.0    18     -0.3      0.0    27     -0.3      0.0
    36     -0.2      0.0    45     -0.2      0.0    54      0.0      0.0
    63      0.1      0.0    72      0.1      0.0    81      0.0      0.0

FOR JOINT NO. 1 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
    9      -0.6   18      -0.7   27      -0.6   36      -0.5   45      -0.3
   54       0.0   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     -0.3     -0.3    18     -0.3     -0.3    27     -0.3     -0.3
    36     -0.2     -0.2    45     -0.1     -0.1    54      0.0      0.0
    63      0.1      0.1    72      0.0      0.0    81      0.0      0.0

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

FOR JOINT NO. 2 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
  172      -0.1  173       0.0  174       0.0  175       0.0  176       0.0
  177       0.0  178       0.0  179       0.0  180       0.0

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

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

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

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

FOR JOINT NO. 4 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
    82      0.0      0.0    83      0.0      0.0    84      0.0      0.0
    85      0.0      0.0    86      0.0      0.0    87      0.0      0.0
    88      0.0      0.0    89      0.0      0.0    90      0.1      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       0.0   86       0.0
   87       0.0   88       0.0   89       0.0   90       0.1

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  -2180.898      0.000      0.000   1090.449      0.000  -2180.898
 19    1   -172.322      0.000      0.000     86.161      0.000   -172.322
 37    1    268.060      0.000      0.000    134.030    268.060      0.000

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1  IS   -2296.323 ( NODE 1 )
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 1 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS  .25674E-01

PERIOD 1 LOAD GROUP 2 AND CYCLE NO. 1

FOR JOINT NO. 1 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
     9      0.0      0.0    18      0.0      0.0    27      0.1      0.0
    36      0.2      0.0    45      0.4      0.0    54      0.6      0.0
    63      0.4      0.0    72      0.0      0.0    81     -0.1      0.0
```

```
FOR JOINT NO. 1 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
    9       0.0   18       0.1   27       0.3   36       0.5   45       0.7
   54       0.7   63       0.4   72       0.0   81      -0.2

FOR JOINT NO. 1 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
     9      0.0      0.0    18      0.0      0.0    27      0.1      0.1
    36      0.2      0.2    45      0.3      0.3    54      0.3      0.4
    63      0.2      0.2    72      0.0      0.0    81     -0.1     -0.1

FOR JOINT NO. 2 SHEAR (FAJ1) AND MOMENT (FAJ2) AT THE NODES ARE:
   172      0.1      0.0   173      0.1      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       0.2  173       0.1  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      -0.1  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     -0.3      0.0    83     -0.2      0.0    84      0.0      0.0
    85      0.1      0.0    86      0.1      0.0    87      0.1      0.0
    88      0.0      0.0    89     -0.1      0.0    90     -0.2      0.0

FOR JOINT NO. 4 SHEAR IN ONE DOWEL BAR (FAJPD) AT THE NODES IS:
   82      -0.6   83      -0.3   84       0.0   85       0.1   86       0.1
   87       0.0   88       0.0   89       0.0   90      -0.3

FOR JOINT NO. 4 BEARING STRESS (BEARS) OF CONCRETE AND SHEAR STRESS
(SHEARS) OF DOWELS AT THE NODES ARE:
    82     -0.1     -0.1    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  -1554.694      0.000      0.000    777.347      0.000  -1554.694
 19    1    112.966      0.000      0.000     56.483    112.966      0.000
 37    1  -1390.768      0.000      0.000    695.384      0.000  -1390.768

MAXIMUM STRESS (SMAX) IN LAYER 1  IS   -1554.694 ( NODE 1 )
FOR PERIOD 1 LOAD GROUP 2 CRACKING INDEX (CI) FOR LAYER 1 IS  .00000E+00

FOR LAYER 1 SUM OF CRACKING INDEX (SUMCI) =    .25674E-01
DESIGN LIFE (DL) IN YEARS =                      45.26
```