

Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Berdasarkan Mdp 2024 Dan Kenpave Pada Ruas Jalan Semarang-Boja Dan Ungaran-Cangkiran

Farhan Hakim¹, Untoro Nugroho²

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
e-mail: farhanhakim@students.unnes.ac.id

Abstrak

Perkerasan kaku banyak digunakan pada ruas jalan dengan volume kendaraan berat karena memiliki kekuatan struktural tinggi dan umur layan panjang, sehingga ketepatan desain tebal pelat menjadi kunci agar perkerasan mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Penelitian ini bertujuan memperoleh desain tebal perkerasan kaku pada Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024, mengevaluasi respons mekanis strukturnya dengan software KENPAVE-KENSLABS, serta membandingkan hasil kedua pendekatan tersebut. Data primer berupa nilai California Bearing Ratio (CBR) tanah dasar hasil uji DCP dan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) hasil survei selama 42 jam digunakan bersama data sekunder identitas jalan dan peta lokasi. Analisis tebal perkerasan mengikuti prosedur MDP 2024, sedangkan evaluasi struktur menggunakan KENPAVE-KENSLABS untuk memperoleh tegangan maksimum, lendutan maksimum, dan indeks retak. Hasil penelitian menunjukkan kedua ruas jalan menghasilkan struktur Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) dengan tebal pelat masing-masing 235 mm pada Semarang-Boja dan 230 mm pada Ungaran-Cangkiran. Nilai fatigue pada kedua ruas sebesar 0,00%, sedangkan nilai erosi sebesar 94,10% pada Semarang-Boja dan 89,77% pada Ungaran-Cangkiran, keduanya masih di bawah batas 100% yang disyaratkan MDP 2024. Evaluasi KENPAVE-KENSLABS memperlihatkan tegangan dan lendutan pelat masih berada pada batas aman dengan indeks retak 0,00% untuk umur rencana lebih dari 40 tahun. Meskipun karakteristik lalu lintas dan kondisi tanah dasar kedua ruas berbeda, keduanya menghasilkan desain yang mampu memberikan kinerja struktural yang baik, dan kombinasi metode MDP 2024 dengan KENPAVE terbukti memberikan evaluasi yang lebih komprehensif karena menggabungkan pendekatan mekanistik-empiris dengan analisis respons mekanis struktur perkerasan.

Kata Kunci: Perkerasan Kaku; MDP 2024; KENPAVE-KENSLABS; JPCP; Erosi Dan Fatigue

Abstract

Rigid pavement is widely used on roads with heavy vehicle volumes because of its high structural strength and long service life, so accurate slab-thickness design is essential for the pavement to withstand traffic loads throughout its design life. This study aimed to obtain the rigid pavement thickness design for the Semarang-Boja and Ungaran-Cangkiran road sections using the 2024 Road Pavement Design Manual (MDP), to evaluate the mechanical response of the structure using KENPAVE-KENSLABS software, and to compare the results of both approaches. Primary data consisted of subgrade California Bearing Ratio (CBR) values obtained from DCP tests and Average Daily Traffic (LHR) collected through a 42-hour traffic survey, combined with secondary data on road identity and location maps. Thickness analysis followed the 2024 MDP procedure, while structural evaluation used KENPAVE-KENSLABS to obtain maximum stress, maximum deflection, and cracking index. The results show that both road sections require a Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) structure, with slab thicknesses of 235 mm for Semarang-Boja and 230 mm for Ungaran-Cangkiran. The fatigue values on both sections were 0.00%, while the erosion values were 94.10% for Semarang-Boja and 89.77% for Ungaran-Cangkiran, both remaining below the 100% limit required by the 2024 MDP. The KENPAVE-KENSLABS evaluation indicates that the stress and deflection remain within safe limits, with a cracking index of 0.00% for a design life exceeding 40 years. Although the traffic characteristics and subgrade conditions of the two sections differ, both designs are able to deliver good structural performance, and the combination of the 2024 MDP method with KENPAVE provides a more comprehensive evaluation by integrating a mechanistic-empirical approach with an analysis of the mechanical response of the pavement structure.

Keywords: Rigid pavement; 2024 MDP; KENPAVE-KENSLABS; JPCP; erosion and fatigue

LATAR BELAKANG

Transportasi darat merupakan salah satu faktor penting yang mendukung perkembangan ekonomi, sosial, dan mobilitas masyarakat. Jalan raya sebagai prasarana transportasi darat berfungsi menghubungkan satu daerah dengan daerah lain sehingga kelancaran arus barang dan jasa dapat terjamin. Perencanaan perkerasan jalan yang andal penting untuk menjamin umur rencana dan kinerja struktural, terutama pada ruas jalan dengan volume lalu lintas tinggi (Wibawa dkk., 2025).

Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ruas Jalan Cangkiran-Ungaran merupakan ruas jalan Provinsi Jawa Tengah di Kota Semarang yang menghubungkan pusat Kota Semarang dengan Kecamatan Boja dan Kecamatan Ungaran melalui Kecamatan Mijen dan Kecamatan Gunung Pati, koridor yang di tengahnya berkembang kawasan BSB City sebagai simpul kegiatan ekonomi, permukiman, dan komersial. Data Badan Pusat Statistik Kota Semarang mencatat panjang jalan dengan permukaan beton di Kota Semarang pada tahun 2025 mencapai 311,37

km (BPS Kota Semarang, 2025), sehingga kedua ruas tersebut representatif sebagai studi kasus evaluasi kinerja desain perkerasan kaku dengan dua pendekatan yang berbeda.

Perancangan perkerasan kaku umumnya menggunakan pendekatan empiris yang mendasarkan taksiran umur jalan pada respon perkerasan yang terjadi tanpa menimbang pengaruh mekanis secara eksplisit (Febriyanti, 2023), sehingga digunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 karena lebih sederhana dan praktis. Seiring perkembangan ilmu rekayasa jalan, pendekatan Mekanistik-Empiris mulai diperkenalkan karena dianggap lebih akurat dalam memprediksi kinerja perkerasan dengan mempertimbangkan respon mekanis struktur terhadap beban lalu lintas, yaitu tegangan, regangan, dan lendutan yang dikombinasikan dengan data empiris hasil pengamatan lapangan sehingga hasil desain diharapkan lebih mendekati kondisi aktual (Gabriela & Nataadmadja, 2021).

Penelitian ini menggunakan pendekatan mekanistik-empiris dengan pendekatan empiris sebagai pembanding untuk mengetahui hasil desain dan parameter input yang tersedia pada MDP 2024 menggunakan program KENPAVE yang dikembangkan oleh Yang H. Huang, Professor Emeritus of Civil Engineering, University of Kentucky (Huang, 2004). Program KENPAVE digunakan untuk mengetahui nilai tegangan, regangan, dan lendutan yang terjadi akibat beban lalu lintas guna mengevaluasi load transfer efficiency dan keutuhan sambungan. Program ini terdiri atas modul LAYERINP-KENLAYER untuk perkerasan lentur berdasarkan teori sistem berlapis banyak, serta SLABSINP-KENSLABS untuk perkerasan kaku berdasarkan metode elemen hingga, dan memiliki keunggulan mampu menganalisis perkerasan hingga 19 lapisan dengan antarmuka yang relatif mudah digunakan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan tebal perkerasan kaku yang diperoleh dari MDP 2024 dengan hasil evaluasi program KENPAVE pada Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran, mencakup desain tebal lapis perkerasan optimal, nilai tegangan dan regangan maksimum akibat beban lalu lintas, serta perbandingan kedua metode dari sisi konsep, parameter input, prosedur, dan hasil tebal lapisnya. Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran mengenai perbedaan hasil desain dari kedua pendekatan serta implikasinya terhadap kinerja perkerasan dan efisiensi biaya konstruksi, sekaligus menjadi masukan bagi instansi pengelola jalan nasional dalam merumuskan pola penanganan pemeliharaan jalan di Kota Semarang.

Beberapa penelitian terdahulu telah membandingkan hasil desain perkerasan kaku antar metode pada berbagai ruas jalan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Fatanizam & Amrozi (2025) membandingkan MDPJ 2024 dan AASHTO 1993 pada akses Jalan Tol Jakarta-Cikampek dan memperoleh tebal pelat 350 mm menurut MDPJ 2024 dan 360 mm menurut AASHTO 1993. Jatiko (2024) mengevaluasi kinerja struktur perkerasan menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran, sedangkan Aji & Susilo (2023) membandingkan perkerasan kaku dan lentur pada Ruas Jalan Desko-Tempel dan menyimpulkan perkerasan kaku lebih ekonomis dari sisi pemeliharaan jangka panjang. Ramadhani (2025) menganalisis tebal perkerasan kaku dengan metode AASHTO 1993 dan MDPJ 2024 pada proyek jalan tol dan menemukan bahwa AASHTO 1993 menghasilkan tebal pelat lebih besar namun biaya konstruksi lebih rendah dibandingkan

MDPJ 2024. Perbedaan-perbedaan tersebut menegaskan perlunya evaluasi tebal perkerasan pada tiap ruas jalan secara spesifik, termasuk pada Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ungaran-Cangkiran yang menjadi objek penelitian ini.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu tentang Desain Perkerasan Kaku

Peneliti	Metode	Hasil Utama
Fatanizam & Amrozi (2025)	MDPJ 2024 dan AASHTO 1993	Tebal pelat 350 mm (MDPJ 2024) dan 360 mm (AASHTO 1993)
Jatiko (2024)	Bina Marga 2017 dan KENPAVE	Alternatif desain dengan umur sisa layan berbeda pada rutting dan permanent deformation
Aji & Susilo (2023)	Bina Marga 2017	Perkerasan kaku lebih ekonomis untuk pemeliharaan jangka panjang dibanding lentur
Wahyudi, Pramesti & Setyawan (2024)	Bina Marga 2017 dan KENPAVE	Tebal pelat 25 cm memenuhi kriteria, alternatif tanpa tulangan lebih ekonomis
Ramadhani (2025)	AASHTO 1993 dan MDPJ 2024	AASHTO 1993 lebih murah, MDPJ 2024 lebih tebal

Perkerasan kaku secara struktural terdiri atas pelat beton semen yang bersambung tanpa tulangan (Jointed Plain Concrete Pavement/JPCP), bersambung dengan tulangan (Jointed Reinforced Concrete Pavement/JRCP), atau menerus dengan tulangan (Continuously Reinforced Concrete Pavement/CRCP), yang terletak di atas lapis fondasi bawah atau tanah dasar dengan atau tanpa lapis permukaan beraspal (Kementerian PUPR, 2024). Kelebihan perkerasan kaku antara lain pelaksanaan konstruksi dan pengendalian mutu yang lebih mudah serta biaya pemeliharaan yang relatif rendah apabila mutu pelaksanaan baik, sedangkan kekurangannya adalah biaya konstruksi awal yang lebih mahal untuk lalu lintas rendah, kerentanan terhadap retak apabila dilaksanakan di atas tanah lunak tanpa daya dukung memadai, serta tingkat kenyamanan berkendara yang umumnya lebih rendah dibandingkan perkerasan lentur. Karakteristik tersebut menjadikan ketepatan desain tebal pelat dan sambungan sebagai faktor penentu utama keberhasilan kinerja perkerasan kaku selama umur rencana.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada dua lokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah, sebagaimana disajikan pada Tabel di bawah ini. Kinerja perkerasan kaku beton semen pada kedua ruas dievaluasi melalui analisis desain berdasarkan pedoman MDP 2024 dan simulasi menggunakan software KENPAVE-KENSLABS, mencakup nilai tegangan pelat (load stress), lendutan (deflection), load transfer efficiency, dan retak lelah (fatigue cracking).

Tabel Kondisi Ruas Jalan Lokasi Penelitian

Klasifikasi Ruas Jalan	Semarang-Boja	Cangkiran-Ungaran
Status jalan	Jalan kolektor	Jalan kolektor
Tipe perkerasan eksisting	Perkerasan kaku	Perkerasan kaku
Panjang ruas yang diteliti	3,1 km	500 m
Lebar jalan	7 m	7 m
Distribusi kendaraan (lajur/arah)	4/2D	2/2D

Pemodelan pada software KENPAVE-KENSLABS dilakukan melalui menu SLABSINP dengan tahapan input data pada beberapa sub-menu. Menu General digunakan untuk menetapkan parameter umum seperti jenis fondasi (solid foundation), kriteria kerusakan (PCA criteria), jumlah periode per tahun, jumlah kelompok beban, jumlah lapisan perkerasan, serta jumlah slab beton beserta sambungannya (empat slab dengan joint). Menu Slab digunakan untuk memasukkan data pengaturan slab dan joint, properti material slab beton (tebal, poisson ratio, dan modulus elastisitas), serta jumlah dan koordinat node pada sumbu X dan Y. Menu Uniform digunakan untuk memasukkan data pembebanan pada titik koordinat slab beton yang dibagi menjadi kelompok beban sumbu tunggal roda ganda dan sumbu tandem roda ganda dengan tekanan kontak 689,5 kPa. Menu Foundation digunakan untuk memasukkan modulus elastisitas dan poisson ratio tanah dasar, sedangkan menu Damage digunakan untuk memasukkan fatigue properties material slab dan volume lalu lintas (volume of traffic) tiap kelompok beban sebagai dasar perhitungan indeks retak.

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi nilai CBR tanah dasar yang diperoleh melalui uji Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dan data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) yang diperoleh melalui survei traffic counting selama 2 x 21 jam pada akhir pekan dan hari kerja di kedua lokasi, yang selanjutnya dianalisis menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Data sekunder meliputi identitas jalan, peta lokasi penelitian, dan data pertumbuhan lalu lintas dari Badan Pusat Statistik Kota Semarang.

Analisis tebal perkerasan kaku dengan MDP 2024 dilakukan melalui tahapan: menentukan jenis perkerasan beton semen; menetapkan jenis dan tebal fondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana; menentukan CBR efektif; menetapkan mutu beton berdasarkan kuat tarik lentur (flexural strength) pada umur 28 hari; memilih faktor keamanan beban (FKB); menaksir tebal pelat

beton; menghitung tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) untuk setiap kelompok sumbu (STRT, STRG, STdRT, STdRG); menghitung repetisi beban rencana dan repetisi ijin untuk fatigue dan erosi; serta mengulang perhitungan hingga diperoleh tebal pelat tertipis dengan total kerusakan akibat fatigue dan/atau erosi tidak melebihi 100%.

Perhitungan fatigue dan erosi pada MDP 2024 didasarkan pada dua indikator kerusakan utama. Rasio tegangan (S_r) dihitung dari tegangan ekuivalen beton (S_e) terhadap kuat lentur karakteristik beton (f_{cf}) yang telah disesuaikan dengan faktor keamanan beban (LSF), menggunakan persamaan $S_r = S_e / (0,944 f_{cf}) \times (P.LSF / 4,4F1)^{0,94}$, yang selanjutnya menentukan jumlah repetisi beban yang diizinkan (N_f) untuk fatigue. Faktor erosi (F_3) digunakan untuk menghitung repetisi beban yang diizinkan akibat erosi (N_e) melalui persamaan $\log_{10}(F_2.N_e) = 14,524 - 6,777[\max(0 \text{ atau } (P.LSF/4,45F4)^2 \times 10^{F3/41,35} - 9,0)]^{0,103}$. Kedua koefisien S_e dan F_3 diperoleh dari tabel koefisien prediksi MDP 2024 berdasarkan tebal pelat (D) dan modulus tanah dasar efektif (E_f), sehingga persentase kerusakan fatigue dan erosi diperoleh dari perbandingan repetisi beban rencana terhadap repetisi beban yang diizinkan, dikalikan 100%, dan dijumlahkan untuk seluruh kelompok sumbu kendaraan niaga.

Perencanaan sambungan mengacu pada pedoman teknis Departemen Kimpraswil (Pd T-14-2003) untuk tipe perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT/JPCP). Sambungan memanjang direncanakan menggunakan batang pengikat (tie bar) baja ulir dengan luas penampang tulangan dihitung menggunakan persamaan $A_t = 204 \times b \times h$, sedangkan panjang batang pengikat dihitung dengan persamaan $l = (38,3 \times \emptyset) + 70$. Sambungan melintang (susut) direncanakan menggunakan ruji (dowel) berupa baja tulangan polos dengan diameter yang ditentukan berdasarkan tebal pelat beton rencana mengikuti Tabel 3.12 MDP 2024, dengan jarak antar sambungan susut sekitar 5 m.

Evaluasi struktur menggunakan KENPAVE-KENSLABS dilakukan dengan menetapkan data material (tebal lapisan, modulus elastisitas, dan poisson ratio setiap lapis perkerasan), memodelkan struktur perkerasan kaku dalam 4 slab beton dengan joint, memasukkan data tipe pondasi (solid foundation), jumlah periode analisis per tahun, jumlah kelompok beban (single dan tandem axle), serta jumlah node pada koordinat sumbu X dan Y. Modulus elastisitas tanah dasar (subgrade) diperoleh dari korelasi Croney (1991), yaitu $E = 6,6 \times \text{CBR}$ (MPa), sedangkan modulus elastisitas beton (E_c) dan modulus of rupture (S_c) dihitung dari kuat tekan beton (f'_c) menggunakan persamaan $E_c = 57.000\sqrt{f'_c}$ dan $S_c = 8\sqrt{f'_c}$ (Huang, 2004). Data beban lalu lintas dan tekanan kontak roda selanjutnya dimasukkan ke dalam menu Uniform, dan data properti material fondasi serta tanah dasar dimasukkan pada menu Foundation. Analisis dijalankan menggunakan kriteria Portland Cement Association (PCA, 1984) untuk memperoleh tegangan maksimum, lendutan maksimum, indeks retak (cracking index), dan design life struktur perkerasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis lalu lintas pada Ruas Jalan Semarang-Boja menghasilkan JSKN rencana sebesar 12.102.391 (setara 1×10^7) dengan faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif $R_{40} = 84,55$ pada

laju pertumbuhan 3,50%/tahun, sedangkan Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran menghasilkan JSKN rencana sebesar 13.276.338 dengan laju pertumbuhan yang sama (Tabel 2). Perbedaan JSKN rencana pada kedua ruas terutama dipengaruhi oleh perbedaan faktor distribusi lajur (DL), yaitu 0,8 pada Semarang-Boja dengan konfigurasi 4/2D dan 0,1 pada Ungaran-Cangkiran dengan konfigurasi 2/2D, meskipun volume lalu lintas harian Ungaran-Cangkiran secara nominal lebih rendah. Proporsi kelompok sumbu STRT dan STRG mendominasi pada kedua ruas, masing-masing di atas 30%, yang mengindikasikan proporsi kendaraan niaga golongan truk 2 sumbu cukup signifikan pada kedua koridor tersebut.

Tabel 2. Rekapitulasi Data dan Hasil Analisis Lalu Lintas

Parameter Lalu Lintas	Semarang-Boja	Ungaran-Cangkiran
JSKN harian (kend/hari)	980	860
Faktor distribusi arah (DD)	0,5	0,5
Faktor distribusi lajur (DL)	0,8	0,1
Faktor pertumbuhan kumulatif (R_{40})	84,55	84,55
JSKN rencana (40 tahun)	12.102.391	13.276.338
Proporsi STRT / STRG / STdRT / STdRG (%)	39,60 / 31,49 / 16,52 / 12,39	36,05 / 35,70 / 18,83 / 9,41

Nilai CBR tanah dasar pada persentil ke-10 diperoleh sebesar 7,27% untuk Semarang-Boja dan 9,22% untuk Ungaran-Cangkiran, sehingga diperoleh nilai CBR ekuivalen masing-masing 18,7% dan 20,7% setelah memperhitungkan lapis fondasi agregat kelas A (CBR 90%) setebal 200 mm dan timbunan pilihan berbutir kasar (CBR 30%) setebal 200 mm. Nilai CBR tanah dasar yang lebih tinggi pada Ungaran-Cangkiran turut memberikan daya dukung fondasi yang lebih baik, sejalan dengan tebal pelat rencana pada ruas tersebut yang sedikit lebih tipis dibandingkan Semarang-Boja.

Berdasarkan prosedur MDP 2024, kedua ruas direncanakan menggunakan struktur beton semen bersambung tanpa tulangan (Jointed Plain Concrete Pavement/JPCP) dengan mutu beton K-450 (kuat tarik lentur 4,5 MPa) dan faktor keamanan beban 1,2. Iterasi tebal pelat menunjukkan bahwa pada Ruas Jalan Semarang-Boja, peningkatan tebal pelat dari 200 mm menjadi 235 mm menurunkan nilai fatigue dari 1,89% menjadi 0,00% dan nilai erosi dari 451,20% menjadi 94,10%. Pola serupa terjadi pada Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran, yaitu peningkatan tebal pelat dari 200 mm menjadi 230 mm menurunkan fatigue dari 1,46% menjadi 0,00% dan erosi dari 390,57% menjadi 89,77%. Kedua nilai erosi akhir tersebut masih berada di bawah batas maksimum 100% yang disyaratkan MDP 2024, sehingga tebal 235 mm dan 230 mm dinyatakan sebagai tebal rencana yang layak (Tabel 1).

Mutu beton semen yang digunakan pada kedua ruas dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strength) sebesar 4,5 MPa pada umur 28 hari sesuai hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78), yang setara dengan mutu beton K-450 apabila dikonversi ke kuat tekan benda uji silinder ($f_c' = 450 \times 0,83 = 373,5 \text{ kg/cm}^2$ atau 36,62 MPa). Faktor keamanan beban (Load Safety Factor/LSF) yang digunakan pada kedua ruas adalah 1,2, sesuai dengan klasifikasi jalan kolektor pada MDP 2024 yang mensyaratkan faktor keamanan beban 1,2 pada tingkat kepercayaan 90%. Penetapan faktor keamanan beban ini menjadi pengali pada setiap beban sumbu rencana sebelum dibandingkan dengan repetisi yang diizinkan untuk fatigue maupun erosi, sehingga secara langsung memengaruhi ketebalan pelat beton akhir yang diperoleh.

Tabel 1. Hasil Desain Tebal Perkerasan Kaku Metode MDP 2024

Parameter	Semarang-Boja	Ungaran-Cangkiran
Status/tipe jalan	Kolektor, 4/2D	Kolektor, 2/2D
Panjang ruas	3.100 m	500 m
CBR tanah dasar (persentil ke-10)	7,27 %	9,22 %
JSKN rencana	12.102.391	13.276.338
Mutu beton	K-450 (fcf 4,5 MPa)	K-450 (fcf 4,5 MPa)
Tebal pelat beton (JPCP)	235 mm	230 mm
Total fatigue	0,00 %	0,00 %
Total erosi	94,10 %	89,77 %

Tabel 5. Susunan Tebal Lapis Material Struktur Perkerasan Kaku

Lapis Material	Semarang-Boja (mm)	Ungaran-Cangkiran (mm)
Beton semen (Fs 4,5 MPa)	235	230
Fondasi bawah, beton kurus (lean concrete)	150	150
LFA Kelas A (CBR 90%)	200	200
Timbunan pilihan berbutir kasar (CBR 30%)	200	200

Perhitungan sambungan memanjang (tie bar) pada Ruas Jalan Semarang-Boja dengan tebal pelat 235 mm menghasilkan luas penampang tulangan per meter panjang sambungan

(At) sebesar 167,79 mm², sehingga dengan batang ulir Ø16 mm (luas 201,06 mm²) dibutuhkan sekitar 8 batang untuk setiap panjang perkerasan 5 m, dengan panjang tie bar 700 mm sesuai persamaan $l = (38,3 \times \varnothing) + 70$. Pada Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran dengan tebal pelat 230 mm diperoleh At sebesar 164,22 mm² dengan kebutuhan tulangan yang serupa, yaitu 8 batang Ø16 mm setiap 5 m. Untuk sambungan melintang (dowel), kedua ruas menggunakan diameter ruji Ø36 mm sesuai Tabel 3.12 MDP 2024 karena tebal pelat keduanya berada pada rentang $220 \text{ mm} < h \leq 250 \text{ mm}$, dengan jarak antar dowel 300 mm. Kesamaan spesifikasi sambungan pada kedua ruas menunjukkan bahwa selisih tebal pelat 5 mm antara kedua ruas belum cukup signifikan untuk mengubah kategori diameter ruji yang disarankan.

Hasil ini konsisten dengan temuan bahwa metode MDP 2024 yang mengusung pendekatan mekanistik-empiris terintegrasi memperhitungkan faktor fatigue dan erosi pada sambungan antar pelat secara lebih realistis dibandingkan metode empiris murni (Wibawa dkk., 2025). Penambahan tebal pelat secara signifikan menekan nilai erosi karena erosi pada MDP 2024 didefinisikan sebagai kerusakan akibat terlepasnya partikel halus di bawah pelat pada area sekitar sambungan, sehingga pelat yang lebih tebal menurunkan tegangan kontak pada tepi sambungan.

Evaluasi menggunakan software KENPAVE-KENSLABS dilakukan dengan memodelkan empat slab beton, umur rencana 40 tahun, mutu beton K-450, modulus elastisitas beton 4.153.966 psi, serta modulus tanah dasar hasil korelasi CBR ($E = 6,6 \times \text{CBR}$) sebesar 48.001,8 kPa untuk Semarang-Boja dan 60.800 kPa untuk Ungaran-Cangkiran, dengan tekanan roda 689,5 kPa untuk setiap kelompok beban. Hasil running program pada Ruas Jalan Semarang-Boja dengan tebal pelat 235 mm menunjukkan tegangan maksimum 1.654,046 kPa dan lendutan maksimum 0,941 mm (sumbu tunggal) serta 3,21 mm (sumbu tandem), dengan indeks retak 0,00%. Pada Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran dengan tebal pelat 230 mm diperoleh tegangan maksimum 1.611,046 kPa dan lendutan maksimum 0,848 mm (sumbu tunggal) serta 2,62 mm (sumbu tandem), dengan indeks retak yang juga 0,00% (Tabel 2). Nilai indeks retak 0,00% pada kedua ruas menunjukkan bahwa struktur perkerasan mampu melayani beban lalu lintas selama lebih dari 40 tahun umur rencana.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Struktur dengan Software KENPAVE-KENSLABS

Parameter KENPAVE-KENSLABS	Semarang-Boja	Ungaran-Cangkiran
Tegangan maksimum (sumbu tunggal)	1.654,046 kPa	1.611,046 kPa
Lendutan maksimum (sumbu tunggal)	0,941 mm	0,848 mm
Lendutan maksimum (sumbu tandem)	3,21 mm	2,62 mm
Indeks retak (cracking index)	0,00 %	0,00 %
Umur layan (design life)	> 40 tahun	> 40 tahun

Parameter sambungan dan material slab beton yang digunakan sebagai input pemodelan KENPAVE-KENSLABS pada kedua ruas disajikan pada Tabel 4. Perbedaan utama terletak pada nilai modulus tanah dasar (subgrade) yang lebih tinggi pada Ungaran-Cangkiran (60.800 kPa) dibandingkan Semarang-Boja (48.001,8 kPa), sejalan dengan nilai CBR tanah dasar yang lebih besar pada ruas tersebut. Modulus elastisitas beton dan poisson ratio pada kedua ruas relatif sama karena keduanya direncanakan menggunakan mutu beton K-450 yang setara, sehingga perbedaan respons struktur pada Tabel 3 lebih dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar dan sedikit perbedaan tebal pelat dibandingkan oleh perbedaan mutu material itu sendiri.

Tabel 4. Parameter Sambungan dan Material Input KENPAVE-KENSLABS

Parameter Sambungan dan Material Slab	Semarang-Boja	Ungaran-Cangkiran
Tie bar (sambungan memanjang)	Ø16 mm, panjang 700 mm, jarak 700 mm	Ø16 mm, panjang 700 mm, jarak 700 mm
Dowel (sambungan melintang)	Ø36 mm	Ø36 mm
Modulus elastisitas beton (Ec)	4.153.966 psi (28.639.318 kPa)	4.153.966 psi (28.638.305 kPa)
Modulus tanah dasar (subgrade, YMS)	48.001,8 kPa	60.800 kPa
Poisson ratio subgrade	0,45	0,45
Poisson ratio beton	0,15	0,15

Perbandingan antara kedua ruas menunjukkan bahwa meskipun karakteristik geometrik, nilai CBR tanah dasar, dan volume lalu lintas berbeda, keduanya menghasilkan nilai fatigue sebesar 0,00% serta nilai erosi yang masih berada di bawah batas 100%, sehingga desain perkerasan pada kedua ruas dinyatakan memenuhi persyaratan MDP 2024. Perbedaan nilai tegangan, lendutan, dan erosi antar ruas lebih dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar, konfigurasi geometrik jalan, serta besarnya beban lalu lintas pada masing-masing ruas dibandingkan oleh perbedaan tebal pelat itu sendiri, mengingat selisih tebal pelat kedua ruas hanya 5 mm. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang membandingkan hasil desain perkerasan kaku antar metode dan menunjukkan bahwa kombinasi analisis fatigue-erosi berbasis empiris dengan evaluasi respons mekanis berbasis elemen hingga memberikan gambaran kinerja struktur yang lebih menyeluruh dibandingkan penggunaan salah satu metode saja (Aji & Susilo, 2023; Jatiko, 2024).

Dari sisi implikasi praktis, kesamaan hasil tebal pelat pada kedua ruas (selisih hanya 5 mm) menunjukkan bahwa efisiensi biaya konstruksi antara Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran tidak berbeda signifikan meskipun kedua ruas memiliki klasifikasi geometrik dan volume lalu lintas yang berbeda. Hal ini sejalan dengan temuan

Ramadhani (2025) dan Fatanizam & Amrozi (2025) yang menunjukkan bahwa metode MDP/MDPJ 2024 cenderung menghasilkan desain yang relatif konservatif dibandingkan AASHTO 1993 karena memperhitungkan faktor keamanan beban dan kombinasi kerusakan fatigue-erosi secara simultan. Bagi instansi pengelola jalan, seperti Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Provinsi Jawa Tengah, hasil ini dapat menjadi acuan bahwa penanganan pemeliharaan pada kedua ruas dapat menggunakan spesifikasi material dan sambungan yang relatif seragam, sehingga mempermudah perencanaan pengadaan material dan penjadwalan pekerjaan konstruksi maupun pemeliharaan berkala.

Secara keseluruhan, penggunaan MDP 2024 untuk menentukan tebal perkerasan berdasarkan analisis fatigue dan erosi yang dipadukan dengan evaluasi KENPAVE-KENSLABS untuk memperoleh respons struktur berupa tegangan, lendutan, dan indeks retak, memberikan hasil yang saling melengkapi. Kombinasi kedua metode ini dapat dijadikan dasar evaluasi desain perkerasan kaku yang lebih komprehensif, khususnya pada ruas jalan kolektor dengan proporsi kendaraan berat yang signifikan seperti Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ruas Jalan Ungaran-Cangkiran.

SIMPULAN

Desain perkerasan kaku pada Ruas Jalan Semarang-Boja dan Ungaran-Cangkiran berdasarkan MDP 2024 menghasilkan tebal pelat JPCP 235 mm dan 230 mm dengan fatigue 0,00% dan erosi di bawah 100% pada kedua ruas. Evaluasi KENPAVE-KENSLABS menunjukkan tegangan dan lendutan yang aman dengan indeks retak 0,00% untuk umur layan lebih dari 40 tahun. Meskipun kondisi tanah dasar dan lalu lintas kedua ruas berbeda, keduanya memenuhi kriteria MDP 2024. Disarankan penelitian lanjutan menggunakan lebih banyak ruas jalan, durasi survei lalu lintas yang lebih panjang, serta analisis load transfer efficiency untuk melengkapi evaluasi kinerja struktur perkerasan kaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, serta kepada Bapak Untoro Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan selama penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, Z. A. & Susilo, B. H. 2023. Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Program Software Kenpave. e-Journal Trisakti.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.: AASHTO.
- ASTM International. 2022. ASTM C78/C78M-22: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. 2025. Panjang Jalan Menurut Jenis Permukaan Jalan di Kota Semarang. <https://semarangkota.bps.go.id> (diakses 2 Juni 2026).

- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Jakarta: Ditjen Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2023. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Fatanizam, M. A. & Amrozi, M. R. F. 2025. Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Pada Akses Jalan Tol Jakarta-Cikampek Km 42 Menuju Stasiun Kereta Cepat Karawang Dengan Metode MDPJ 2024 dan AASHTO 1993. Yogyakarta: Repository UGM.
- Febriyanti, A. D. 2023. Perbandingan Desain Perkerasan Kaku Dengan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 Pada Jalan Tol Ruas Solo-Yogyakarta-NYIA KulonProgo Seksi 1 Menggunakan Software Kenpave. Surabaya: Repository ITS.
- Gabriela, S. & Nataadmadja, A. D. 2021. Rigid Pavement Optimization by Using Empirical Mechanistic Method and Kenpave Software. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Huang, Y. H. 2004. Pavement Analysis and Design. Edisi Kedua. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Jatiko, H. 2024. Evaluasi dan Usulan Alternatif Desain Struktur Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Juwita, F., Nurafni, D., Subekti, S., Sujatmiko, C. & Silova, M. A. 2023. Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Pada Jalan Provinsi Berdasarkan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 (Studi Kasus: Ruas Jalan Padang Ratu-Kalirejo). SINTA Journal.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga. 2024. Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. 2023. Peraturan Menteri PUPR Nomor 5 Tahun 2023 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Pemerintah Pusat. 2006. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Pemerintah Pusat. 2009. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Portland Cement Association (PCA). 1984. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Skokie, Illinois: Portland Cement Association.
- Ramadhani, A. Z. 2025. Analisis Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993 dan MDPJ 2024 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Seksi IIB. Depok: Repository PNJ.
- Wahyudi, D., Pramesti, R. & Setyawan, A. 2024. Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Ruas Jalan Suwaloh-Margomulyo Kecamatan Balen Kabupaten Bojonegoro. Jurnal Teknik Sipil.
- Wibawa, I. P. C. A. I. M. A. & Wibawa, W. P. K. 2025. Analisis Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993, Pd T-14-2003, dan MDP 2024. Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management, 118-132.