

Perencanaan Ulang Lapis Perkerasan Pada Jalan Lingkungan Sekolah

Finsensius Lalo^{*1}, Eddy Wibowo²,

^{*1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Cahaya Surya, Kediri, Indonesia.

Email: ^{*1}finsensiuslalo@gmail.com, ²eddywibowo.eng@gmail.com

Abstrak—Jalan kompleks sekolah merupakan infrastruktur internal yang berperan penting dalam mendukung mobilitas warga sekolah dan kelancaran kegiatan operasional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi serta merencanakan ulang desain perkerasan jalan pada kawasan Surya Inspirasi School menggunakan perkerasan kaku berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024. Kondisi eksisting menggunakan perkerasan komposit yang terdiri atas pelat beton bertulang setebal 150 mm dan lapisan aspal 40 mm dengan mutu beton f'_c 25 MPa, sedangkan tanah dasar memiliki nilai CBR sebesar 6%. Pada perencanaan ulang digunakan perkerasan beton bertulang dengan mutu beton f'_c 20 MPa dan mutu baja tulangan f_y 240 MPa untuk memperoleh desain yang lebih sesuai dengan kebutuhan jalan lingkungan sekolah. Hasil analisis menunjukkan bahwa tebal pelat beton yang memenuhi persyaratan desain adalah 170 mm. Perencanaan tulangan menghasilkan kebutuhan tulangan memanjang berupa baja polos D12 dengan jarak 80 mm, sedangkan tulangan melintang menggunakan baja polos D12 dengan jarak 500 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain ulang berdasarkan MDPJ 2024 mampu menghasilkan struktur perkerasan kaku yang memenuhi ketentuan perencanaan dengan spesifikasi material yang lebih ekonomis dan sesuai untuk karakteristik lalu lintas pada lingkungan sekolah.

Kata Kunci—Jalan, Kompleks, Perkerasan, Tebal, Diameter, Beton, Tulangan, Manual, Desain

I. PENDAHULUAN

JALAN kompleks sekolah merupakan suatu akses jalan internal yang berada di dalam kawasan atau lingkungan sekolah yang berfungsi untuk mendukung mobilitas warga sekolah serta menunjang kegiatan operasional sehari-hari [1]. Selain berfungsi sebagai jalur lalu lintas kendaraan bermotor, jalan di lingkungan pendidikan juga harus mampu melayani pergerakan pejalan kaki secara aman, nyaman, dan tertib [1], [2]. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan struktur perkerasan yang sesuai menjadi salah satu faktor penting dalam menjamin kinerja jalan selama umur layan yang direncanakan.

Lapisan perkerasan yang digunakan pada jalan lingkungan Surya Inspirasi School merupakan perkerasan komposit, yaitu kombinasi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur, dimana lapisan bawah menggunakan beton bertulang sedangkan lapisan atas menggunakan lapisan aspal [2]. Berdasarkan data hasil observasi lapangan, struktur perkerasan eksisting terdiri atas pelat beton bertulang dengan tebal 150 mm, lapisan aspal setebal 40

mm, serta menggunakan tulangan *wiremesh* M8 *single layer*. Selain itu, mutu beton yang digunakan sebesar $f'_c = 25$ MPa dan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) tanah dasar sebesar 6%.

Meskipun jalan tersebut masih tergolong baru dan telah memenuhi kebutuhan operasional saat ini, hingga penelitian ini dilakukan belum ditemukan kajian yang secara khusus mengevaluasi alternatif desain struktur perkerasan pada jalan di lingkungan Surya Inspirasi School. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan perencanaan ulang struktur perkerasan dengan menggunakan mutu beton sebesar $f'_c = 20$ MPa dan mutu baja tulangan sebesar $f_y = 240$ MPa sesuai ketentuan yang direkomendasikan dalam *Manual Desain Perkerasan Jalan* (MDPJ) 2024 [3]. Perencanaan ulang ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah spesifikasi material yang lebih ekonomis masih mampu memenuhi kebutuhan kinerja struktur perkerasan pada jalan lingkungan sekolah.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas perencanaan struktur perkerasan kaku menggunakan berbagai metode maupun pedoman desain. Norapika dan Lizar [4] melakukan perencanaan tebal perkerasan kaku menggunakan metode *Manual Desain Perkerasan Jalan* dan menunjukkan bahwa metode tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan tebal perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana. Pradana *et al.* [5] mengevaluasi perencanaan perkerasan beton bertulang menerus (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*) menggunakan metode AASHTO 1993 melalui analisis ketebalan pelat dan potensi retak pada struktur perkerasan. Penelitian oleh Tanjung *et al.* [6] serta Sulaiman dan Wasano [7] menunjukkan bahwa penggunaan tulangan *wiremesh* pada perkerasan kaku mampu memenuhi kebutuhan tulangan dan memberikan kinerja struktur yang baik pada berbagai kondisi jalan. Selain itu, Rayid *et al.* [8] menerapkan *Manual Desain Perkerasan Jalan* 2024 dalam perencanaan struktur perkerasan dan menunjukkan bahwa pedoman tersebut masih relevan sebagai acuan dalam menentukan desain perkerasan sesuai karakteristik lalu lintas dan kondisi tanah dasar.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan ulang struktur perkerasan pada jalan lingkungan Surya Inspirasi School menggunakan metode *Manual Desain Perkerasan Jalan* 2024. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif desain perkerasan yang lebih efisien dari sisi spesifikasi

material, namun tetap memenuhi persyaratan teknis dan kinerja struktur untuk jalan lingkungan sekolah [3].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi:

- 1) Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
- 2) Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
- 3) Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

B. Lapisan atau Komponen Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit merupakan gabungan dari konstruksi perkerasan kaku dan konstruksi perkerasan lentur, yang mana kedua konstruksi ini akan bekerja sama dalam menahan beban kendaraan yang dilewati diatas konstruksi lapisan perkerasan komposit. Lapisan atau komponen perkerasan komposit yang paling umum digunakan biasanya perkerasan kaku berada di lapisan paling bawah sedangkan untuk lapisan perkerasan lenturnya berada diatas perkerasan kakunya

C. Lapisan atau Komponen Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku merupakan suatu lapisan konstruksi perkerasan jalan yang mana menggunakan plat beton atau plat beton bertulang yang berada diatas lapisan pondasi yang berada diatas tanah dasar atau plat beton atau beton bertulang langsung berada diatas tanah dasar [2].

D. Klasifikasi Jalan Berdasarkan Fungsinya

Berdasarkan PP nomor 34 tahun 2006, klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya dibagi menjadi 4 jenis jalan yaitu:

- 1) Jalan Arteri
- 2) Jalan Kolektor
- 3) Jalan Lokal
- 4) Jalan Lingkungan

E. Macam-macam jalan berdasarkan kewenangan dan penggunaan

Macam-macam jalan berdasarkan kewenangan dan penggunaan maka dapat dibedakan menjadi 2 kategori yaitu Jalan Umum dan Jalan Khusus, dimana jalan umum digunakan untuk masyarakat umum sedangkan jalan khusus digunakan untuk kepentingan tertentu misalnya jalan pertambangan, jalan perkebunan, jalan pelabuhan, jalan bandara, jalan kompleks perumahan, dan jalan kompleks sekolah.

III. METODOLOGI

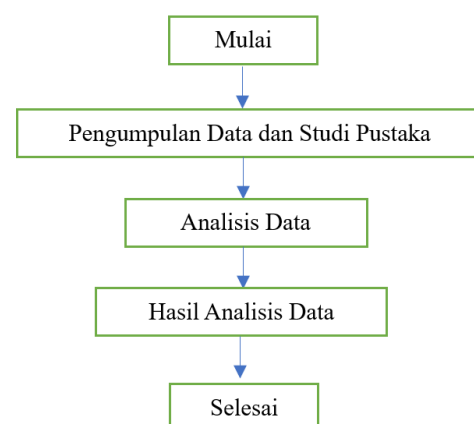
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu penentuan topik penelitian, studi literatur, pengumpulan data, analisis data, serta penyusunan kesimpulan. Topik penelitian difokuskan pada perencanaan ulang struktur perkerasan jalan di lingkungan Surya Inspirasi School.

Tahap studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori, metode perencanaan, serta ketentuan teknis yang digunakan dalam analisis. Selanjutnya, pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lokasi penelitian. Data yang diperoleh meliputi gambar konstruksi eksisting dan spesifikasi material yang digunakan pada proyek pembangunan jalan di lingkungan Surya Inspirasi School. Data tersebut diperoleh dari pelaksana pekerjaan di lapangan sebagai acuan dalam penyusunan kondisi eksisting perkerasan.

Selain data hasil observasi, penelitian ini juga menggunakan beberapa data rencana yang ditetapkan berdasarkan kondisi lapangan dan karakteristik jalan lingkungan sekolah. Data tersebut meliputi mutu beton, mutu baja tulangan, serta jenis dan volume lalu lintas rencana yang diperkirakan akan melintasi jalan selama umur rencana. Penentuan data rencana dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi jalan sebagai jalan lingkungan sekolah dan karakteristik kendaraan yang berpotensi menggunakan jalan tersebut.

Tahap berikutnya adalah analisis data berupa perencanaan ulang struktur perkerasan menggunakan metode yang mengacu pada *Manual Desain Perkerasan Jalan* (MDPJ) 2024 [3]. Analisis dilakukan untuk memperoleh alternatif desain yang meliputi tebal perkerasan, mutu beton, mutu baja tulangan, serta dimensi tulangan yang memenuhi persyaratan teknis sesuai pedoman yang digunakan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut selanjutnya disusun kesimpulan penelitian serta rekomendasi untuk penelitian selanjutnya. Alur pelaksanaan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk bagan alir sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data teknis yang diperlukan dalam perencanaan perkerasan kaku ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mutu beton rencana $f_c' = 20$ Mpa (Mutu Beton Awal $f_c' = 25$ Mpa)
- 2) Mutu baja rencana $f_y = 240$ Mpa
- 3) Umur rencana (UR)=20 Tahun
- 4) Fungsi jalan sebagai jalan Lingkungan
- 5) CBR=6% (Sesuai dengan desain di lokasi sekolah Surya Inspirasi School)
- 6) Nilai pertumbuhan lalu lintas jalan desa / jalan lingkungan (i)=1% (Kutipan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024)
- 7) Faktor distribusi arah (DD)=0,5 (Jalan 2 arah)
- 8) Faktor distribusi lajur (DL)=1
- 9) Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (R)

$$R = \frac{(1 + 0.01i)^{UR} - 1}{0.01i} \quad (1)$$

$$= \frac{(1 + (0.01 \times 1\%))^20 - 1}{0.01 \times 1\%} \quad (2)$$

$$= \frac{(1 + 0.0001)^20 - 1}{0.0001} \quad (3)$$

$$= 20.019 \quad (4)$$

- 10) Lalu lintas Harian Rata-rata Rencana (LHR Rencana) berdasarkan Jenis Kendaraan dan kelompok sambunya

TABLE I
LALU LINTAS HARIAN RATA-RATA RENCANA (LHR RENCANA)
BERDASARKAN JENIS KENDARAAN DAN KELOMPOK SUMBU

No	Jenis kendaraan rencana	Kelompok Sumbu	LHR Rencana
1	Sepeda motor (0,5 ton)	-	300
2	Mobil pribadi kendaraan ringan (3 ton)	2	500
3	Mobil <i>pick up</i> (4 ton)	2	20
4	Bus sekolah kecil (10 ton)	2	6
5	Bus sekolah besar (18 ton)	2	4
6	Truk 2 sumbu-truk ringan (8 ton)	2	2
7	Truk 2 sumbu-truk sedang (20 ton)	2	2
8	Truk 3 sumbu-berat (25 ton)	2	2
9	Truk 4 sumbu-berat (40 ton)	3	1

Berdasarkan Tabel I, nilai Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) rencana untuk setiap jenis kendaraan ditetapkan berdasarkan karakteristik jalan di lingkungan Surya Inspirasi School. Penentuan LHR rencana dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi jalan sebagai jalan lingkungan sekolah, jumlah peserta didik pada jenjang TB, TK, SD, SMP, dan SMA, serta jumlah guru dan karyawan yang beraktivitas di lingkungan sekolah. Selain itu, jenis kendaraan yang diperkirakan akan melintasi ruas jalan tersebut juga dijadikan dasar dalam menentukan komposisi dan volume lalu lintas rencana.

- 11) Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana (CESAL)

$$CESAL = \left(\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK} \right) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (5)$$

dimana:

- CESAL : Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana.
- LHR_{JK} : Lalu lintas Harian Rata-rata tiap jenis kendaraan niaga.
- VDF_{JK} : Faktor ekuivalen beban tiap jenis kendaraan niaga.
- DD : Faktor Distribusi Arah.
- DL : Faktor Distribusi Lajur.
- R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

Nilai VDF_{JK} diperoleh dari buku *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*.

TABLE II
PERHITUNGAN BEBAN SUMBU STANDAR EKUIVALEN SELAMA UMUR RENCANA

No	Jenis Kendaraan	Kelompok Sumbu	LHR Rencana	VDF _{JK}		LHR _{JK} × VDF _{JK}
				STRT	STRG	
1	Sepeda Motor (0,5 Ton)	-	300			
2	Mobil Pribadi Kendaraan Ringan (3 Ton)	2	500	0,1426		71,3
3	Mobil Pick Up (4 Ton)	2	20	0,4507		9,014
4	Bus Sekolah Kecil (10 Ton)	2	6	17,606		105,636
5	Bus Sekolah Besar (18 Ton)	2	4		28,42	113,68
6	Truk 2 Sumbu-Truk Ringan (8 Ton)	2	2	7,211		14,422
7	Truk 2 Sumbu-Truk Sedang (20 Ton)	2	2		43,84	87,68
8	Truk 3 Sumbu-Berat (25 Ton)	2	2		109,83	219,83
9	Truk 4 Sumbu-Berat (40 Ton)	3	1		101,51	101,51
$\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}$						723,072

$$\begin{aligned}
 CESAL &= \left(\sum LHA_{JK} \times VDF_{JK} \right) \\
 &\times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= 723,072 \times 365 \times 0,5 \\
 &\times 1 \times 20,019 \\
 &= 2.641.720,05216 \\
 &\approx 2.641.721
 \end{aligned} \quad (6)$$

- 12) Menentukan tebal plat beton Berdasarkan *Manual Desain Perkerasan Jalan* (2024), ketebalan beton minimum untuk perkerasan kaku ditentukan

berdasarkan nilai kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana (CESAL/JSKN), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel III. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana 20 tahun (CESAL/JSKN) sebesar 2.641.721 kendaraan. Nilai tersebut berada pada rentang $1 \times 10^6 \leq \text{JSKN} < 1 \times 10^7$. Oleh karena itu, mengacu pada ketentuan dalam *Manual Desain Perkerasan Jalan* (2024) dan dengan mempertimbangkan bahwa jenis perkerasan kaku yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Continuously Reinforced Concrete Pavement* (CRCP), maka ketebalan pelat beton minimum yang direkomendasikan adalah 150 mm. Namun demikian, untuk memberikan faktor keamanan yang lebih baik serta meningkatkan umur layan perkerasan, pada perencanaan ini dipilih ketebalan pelat beton sebesar 170 mm atau 17 cm.

TABLE III
KETEBALAN BETON MINIMUM BERDASARKAN BUKU *MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2024*

Jenis Perkerasan	Lalu Lintas Rencana		
	$1 \times 10^6 \leq \text{JSKN} < 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq \text{JSKN} < 5 \times 10^7$	$\text{JSKN} \geq 5 \times 10^7$
JPCP	150 mm	200 mm	250 mm
JRCP	150 mm	180 mm	230 mm
CRCP	150 mm	180 mm	230 mm

- 13) Desain Ketebalan Beton Menurut buku *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024* dalam mendesain ketebalan beton pada perkerasan kaku ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu retak lelah pada perkerasan dan erosi tanah dasar.

1) *Retak Lelah*: diketahui:

- $f'_c = 20$ MPa
- $f_{cf} = K \times (f'_c)^{0,5}$, dimana $K =$ konstanta 0,75 (agregat pecah)

$$f_{cf} = 0,75 \times (20 \text{ MPa})^{0,5} = 3,35 \text{ MPa}$$

- $LSF = 1,1$ (lalu lintas rendah)
- $D = 170$ mm
- $E_f = \text{CBR Tanah Dasar Efektif} = 6\%$
- $F_1 = 9$ (Sumbu Tunggal Roda Tunggal – STRT)
- $F_1 = 18$ (Sumbu Tunggal Roda Ganda – STRG)

Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen yang diperoleh dari buku *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024* dapat dilihat pada Tabel IV.

$$S_e = a + \frac{b}{D} + c \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e [\ln(E_f)]^2 + \frac{f \ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h [\ln(E_f)]^3 + \frac{i [\ln(E_f)]^2}{D} + \frac{j \ln(E_f)}{D^2} \quad (7)$$

TABLE IV
NILAI KOEFISIEN BERDASARKAN BUKU *MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2024*

Nilai	STRT	STRG
a	-0,051	0,330
b	26,0000	206,5
c	0,0899	-0,4684
d	35,774	28,661
e	-0,0376	0,1650
f	14,57	2,82
g	-861,548	-686,510
h	0,0031	-0,0186
i	1,3098	-1,9606
j	-4,009	-2,717

Keterangan:

STRT : Sumbu Tunggal Roda Tunggal

STRG : Sumbu Tunggal Roda Ganda

Perhitungan nilai Tegangan Ekuivalen dengan konfigurasi Sumbu Tunggal Roda Tunggal (S_e STRT):

$$S_{e,\text{STRT}} = a + \frac{b}{D} + c \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e [\ln(E_f)]^2 + \frac{f \ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h [\ln(E_f)]^3 + \frac{i [\ln(E_f)]^2}{D} + \frac{j \ln(E_f)}{D^2} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_{e,\text{STRT}} &= (-0,051) + \frac{26,0}{170} + 0,0899 \ln(6) + \frac{35,774}{170^2} \\ &\quad - 0,0376 [\ln(6)]^2 + \frac{14,57 \ln(6)}{170} - \frac{861,548}{170^3} \\ &\quad + 0,0031 [\ln(6)]^3 + \frac{1,3098 [\ln(6)]^2}{170} \\ &\quad - \frac{4,009 \ln(6)}{170^2} \\ &= 0,33925 \end{aligned} \quad (9)$$

Perhitungan nilai Tegangan Ekuivalen dengan konfigurasi Sumbu Tunggal Roda Ganda (S_e STRG):

$$S_{e,\text{STRG}} = a + \frac{b}{D} + c \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e [\ln(E_f)]^2 + \frac{f \ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h [\ln(E_f)]^3 + \frac{i [\ln(E_f)]^2}{D} + \frac{j \ln(E_f)}{D^2} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
S_{e,STRG} &= 0,33 + \frac{206,5}{170} - 0,4684 \ln(6) + \frac{28,661}{170^2} \\
&+ 0,1650 [\ln(6)]^2 + \frac{2,82 \ln(6)}{170} - \frac{686,510}{170^3} \\
&- 0,0186 [\ln(6)]^3 - \frac{1,9606 [\ln(6)]^2}{170} \\
&- \frac{2,727 \ln(6)}{170^2} \\
&= 1,12155
\end{aligned} \tag{11}$$

Perhitungan nilai Rasio Tegangan dengan konfigurasi Sumbu Tunggal Roda Tunggal 10 Ton (S_r STRT 10 Ton):

$$S_{r,STRT \ 10 \ Ton} = \frac{S_e}{0,944 f_{cf}} \left(\frac{P \times LSF}{4,45 \times F_1} \right)^{0,94} \tag{12}$$

$$S_{r,STRT \ 10 \ Ton} = \frac{0,33925}{0,944 \times 3,35} \left(\frac{10 \times 1,1}{4,45 \times 9} \right)^{0,94} \tag{13}$$

$$S_{r,STRT \ 10 \ Ton} = 0,03183 \tag{14}$$

Perhitungan nilai Rasio Tegangan dengan konfigurasi Sumbu Tunggal Roda Ganda 40 Ton (S_r STRG 40 Ton):

$$S_{r,STRG \ 40 \ Ton} = \frac{S_e}{0,944 f_{cf}} \left(\frac{P \times LSF}{4,45 \times F_1} \right)^{0,94} \tag{15}$$

$$S_{r,STRG \ 40 \ Ton} = \frac{1,12155}{0,944 \times 3,35} \left(\frac{40 \times 1,1}{4,45 \times 18} \right)^{0,94} \tag{16}$$

$$S_{r,STRG \ 40 \ Ton} = 0,20194 \tag{17}$$

Untuk perhitungan nilai Rasio Tegangan (S_r) pada kelompok sumbu yang lain dapat dilihat hasilnya pada Tabel V.

$$S_r \leq 0,45$$

TABLE V
PERHITUNGAN NILAI RASIO TEGANGAN (S_r) PADA SETIAP KELOMPOK SUMBU

Kelompok Sumbu	P	S_r	N_f	Kerusakan
STRT-3 Ton	3	0,010267527	Tak Terbatas	0
STRT-4 Ton	4	0,013455761	Tak Terbatas	0
STRT-8 Ton	8	0,025815258	Tak Terbatas	0
STRT-10 Ton	10	0,031839913	Tak Terbatas	0
STRG-18 Ton	18	0,095335056	Tak Terbatas	0
STRG-20 Ton	20	0,105260315	Tak Terbatas	0
STRG-25 Ton	25	0,129825522	Tak Terbatas	0
STRG-40 Ton	40	0,201944887	Tak Terbatas	0

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Rasio Tegangan (S_r) pada setiap kelompok sumbu di atas, diperoleh hasil perhitungan, misalnya untuk kelompok Sumbu Tunggal Roda Tunggal 10 Ton (STRT-10 Ton) diperoleh nilai rasio tegangannya (S_r) sebesar 0,031839913 ($S_r \leq 0,45$), sedangkan untuk kelompok Sumbu Tunggal Roda Ganda 40 Ton (STRG-40 Ton) diperoleh nilai rasio tegangannya (S_r) sebesar 0,201944887 ($S_r \leq 0,45$). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kedua nilai rasio tegangan memenuhi persyaratan karena nilainya lebih kecil dari 0,45. Rangkuman hasil perhitungan nilai Rasio Tegangan (S_r) pada setiap kelompok sumbu dapat dilihat pada Tabel V. Berdasarkan hasil perhitungan untuk setiap kelompok sumbu kendaraan, diperoleh bahwa seluruh nilai Rasio Tegangan (S_r) memenuhi persyaratan, yaitu $S_r \leq 0,45$. Dengan demikian, secara prinsip kerusakan *fatigue* atau retak lelah sangat kecil sehingga tidak perlu dilakukan analisis *fatigue* (N_f). Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa tidak akan terjadi kerusakan pada perkerasan jalan yang direncanakan apabila jalan dilalui oleh kendaraan sesuai dengan kelompok sumbu kendaraan, yaitu STRT-3 Ton, STRT-4 Ton, STRT-8 Ton, STRT-10 Ton, serta STRG-18 Ton, STRG-20 Ton, STRG-25 Ton, dan STRG-40 Ton.

2) *Kerusakan Erosi*: dimana:

- $F_2 = 0,06$ (untuk plat dengan bahu bukan beton)
- $F_3 = S_e = 0,33925$ (Sumbu Tunggal Roda Tunggal – STRT)
- $F_3 = S_e = 1,12155$ (Sumbu Tunggal Roda Ganda – STRG)
- $F_4 = 9$ (Sumbu Tunggal Roda Tunggal – STRT)
- $F_4 = 18$ (Sumbu Tunggal Roda Ganda – STRG)
- $LSF = 1,1$ (lalu lintas rendah)
- $UR = 20$ Tahun (Umur Rencana)

Rumus Jumlah Repetisi Beban Sumbu yang diijinkan (N_e):

$$\begin{aligned}
\log_{10}(F_2 N_e) &= 14,524 - 6,777 \left[\max \left(0, \left(\left(\frac{P \times LSF}{4,45 \times F_4} \right)^2 \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. \times \frac{10^{F_3}}{41,35} - 9,0 \right) \right) \right]^{0,103}
\end{aligned} \tag{18}$$

atau dapat dituliskan menjadi:

$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14,524 - 6,777 [\max(0, k)]^{0,103} \tag{19}$$

dengan:

$$k = \left(\frac{P \times LSF}{4,45 \times F_4} \right)^2 \times \frac{10^{F_3}}{41,35} - 9,0 \tag{20}$$

Sehingga,

$$X = 14,524 - 6,777 [\max(0, k)]^{0,103} \tag{21}$$

Jika nilai $k < 0$ maka nilai $\max = 0$, sedangkan jika nilai $k > 0$ maka nilai $\max = k$.

$$\log_{10}(F_2 N_e) = X \quad (22)$$

$$F_2 N_e = 10^X \quad (23)$$

$$N_e = \frac{10^X}{F_2} \quad (24)$$

dimana:

- P = Beban kelompok sumbu (kN)
- LSF = Faktor *load safety*
- F_2 = Penyesuaian untuk efek pada sisi plat
- F_3 = Faktor erosi
- F_4 = Penyesuaian beban untuk erosi karena kelompok sumbu
- N_e = Jumlah beban sumbu kumulatif yang diijinkan

Perhitungan nilai jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e) STRT 10 Ton, maka

$$P = 10 \text{ Ton} = 10 \times 9,81 = 98,1 \text{ kN}$$

$$k = \left(\frac{P \times LSF}{4,45 \times F_4} \right)^2 \times \frac{10^{F_3}}{41,35} - 9,0 \quad (25)$$

$$k = \left(\frac{98,1 \times 1,1}{4,45 \times 9} \right)^2 \times \frac{10^{0,33925}}{41,35} - 9,0 \quad (26)$$

$$k = -8,61656 \quad (27)$$

Karena nilai $k = -8,61656 < 0$, maka nilai $\max = 0$.

$$X = 14,524 - 6,777 [\max(0, k)]^{0,103} \quad (28)$$

$$X = 14,524 - 6,777(0)^{0,103} \quad (29)$$

$$X = 14,524 \quad (30)$$

Maka nilai jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e) STRT 10 Ton adalah:

$$N_e = \frac{10^{14,524}}{0,06} = 5,56992 \times 10^{15} \quad (31)$$

Perhitungan nilai jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e) STRG 40 Ton, maka

$$P = 40 \text{ Ton} = 40 \times 9,81 = 392,4 \text{ kN}$$

$$k = \left(\frac{P \times LSF}{4,45 \times F_4} \right)^2 \times \frac{10^{F_3}}{41,35} - 9,0 \quad (32)$$

$$k = \left(\frac{392,4 \times 1,1}{4,45 \times 18} \right)^2 \times \frac{10^{1,12155}}{41,35} - 9,0 \quad (33)$$

$$k = -2,86502 \quad (34)$$

Karena nilai $k = -2,86502 < 0$, maka nilai $\max = 0$.

$$X = 14,524 - 6,777 [\max(0, k)]^{0,103} \quad (35)$$

$$X = 14,524 - 6,777(0)^{0,103} \quad (36)$$

$$X = 14,524 \quad (37)$$

Maka nilai jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e) STRG 40 Ton adalah:

$$N_e = \frac{10^{14,524}}{0,06} = 5,56992 \times 10^{15} \quad (38)$$

Untuk perhitungan nilai jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e) pada kelompok sumbu yang lain dapat dilihat pada Tabel VI.

TABLE VI
PERHITUNGAN NILAI JUMLAH REPETISI BEBAN SUMBU YANG DIJINKAN (N_e)

Kelompok Sumbu	P (kN)	k	Nilai max	X	N_e
STRT-3 Ton	29,43	-8,9996 4141	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRT-4 Ton	39,24	-8,9993 6250	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRT-8 Ton	78,48	-8,9974 5000	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRT-10 Ton	98,10	-8,9960 1563	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRG-18 Ton	176,56	-8,9804 5030	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRG-20 Ton	196,20	-8,9758 6457	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRG-25 Ton	245,25	-8,9622 8839	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$
STRG-40 Ton	392,40	-8,9034 5829	0	14,524	$5,56992 \times 10^{15}$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e) pada setiap kelompok sumbu pada Tabel VI, diperoleh bahwa untuk kelompok *Sumbu Tunggal Roda Tunggal* 10 Ton (STRT-10 Ton) nilai k sebesar $-8,99601563$. Karena nilai $k < 0$, maka nilai maksimum ($\max$) ditetapkan sebesar 0. Selanjutnya diperoleh nilai $X = 14,524$, yang kemudian digunakan untuk menghitung jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_e). Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai N_e sebesar $5,56992 \times 10^{15}$. Berdasarkan Tabel VI dapat diketahui bahwa seluruh kelompok sumbu kendaraan memiliki nilai $k < 0$, sehingga nilai maksimum ($\max$) untuk seluruh kelompok sumbu adalah 0. Akibatnya, nilai X yang diperoleh juga sama, yaitu 14,524, sehingga nilai jumlah repetisi beban sumbu

yang diijinkan (N_e) untuk seluruh kelompok sumbu kendaraan bernilai sama, yaitu sebesar $5,56992 \times 10^{15}$.

Kerusakan erosi dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$ED = \sum \frac{n_i}{N_{ei}} \quad (39)$$

dengan jumlah pengulangan beban aktual dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$n_i = LHR_{rencana} \times 365 \times UR \quad (40)$$

Desain dinyatakan memenuhi persyaratan apabila nilai $ED \leq 1,0$ atau total kerusakan erosi tidak melebihi 100%.

Keterangan:

ED Equivalent Damage atau nilai kerusakan kumulatif.

n_i Jumlah pengulangan beban aktual pada kelompok sumbu ke- i selama umur rencana.

N_{ei} Jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan pada kelompok sumbu ke- i .

$LHR_{rencana}$ Lalu lintas harian rata-rata rencana.

UR Umur rencana (tahun).

Berdasarkan Persamaan, jumlah pengulangan beban aktual (n_i) untuk kelompok STRT-10 Ton dihitung sebagai berikut.

$$n_i = LHR_{rencana} \times 365 \times UR \quad (41)$$

$$n_i = 4 \times 365 \times 20 = 29\,200 \quad (42)$$

Sedangkan untuk kelompok STRG-40 Ton diperoleh:

$$n_i = LHR_{rencana} \times 365 \times UR \quad (43)$$

$$n_i = 1 \times 365 \times 20 = 7\,300 \quad (44)$$

Selanjutnya nilai kerusakan erosi (ED) dihitung dengan membandingkan jumlah pengulangan beban aktual terhadap jumlah repetisi beban sumbu yang diijinkan (N_{ei}).

Untuk kelompok STRT-10 Ton diperoleh:

$$ED = \frac{n_i}{N_{ei}} = \frac{29\,200}{5,56992 \times 10^{15}} = 5,24245 \times 10^{-12} \quad (45)$$

Sedangkan untuk kelompok STRG-40 Ton diperoleh:

$$ED = \frac{n_i}{N_{ei}} = \frac{7\,300}{5,56992 \times 10^{15}} = 1,31061 \times 10^{-12} \quad (46)$$

Perhitungan nilai kerusakan kumulatif (ED) untuk kelompok sumbu kendaraan lainnya disajikan pada Tabel VII.

TABLE VII
PERHITUNGAN NILAI KERUSAKAN KUMULATIF (ED)

No	Kelompok Sumbu	LHRJK Rencana	n_i	N_{ei}	ED
1	Sepeda Motor (0,5 Ton)	300	—	—	—
2	STRT 3 Ton	500	3650000	$5,56992 \times 10^{15}$	$6,55306 \times 10^{-10}$
3	STRT 4 Ton	20	146000	$5,56992 \times 10^{15}$	$2,62122 \times 10^{-11}$
4	STRT 8 Ton	6	43800	$5,56992 \times 10^{15}$	$7,86367 \times 10^{-12}$
5	STRT 10 Ton	4	29200	$5,56992 \times 10^{15}$	$5,24245 \times 10^{-12}$
6	STRG 18 Ton	2	14600	$5,56992 \times 10^{15}$	$2,62122 \times 10^{-12}$
7	STRG 20 Ton	2	14600	$5,56992 \times 10^{15}$	$2,62122 \times 10^{-12}$
8	STRG 25 Ton	2	14600	$5,56992 \times 10^{15}$	$2,62122 \times 10^{-12}$
9	STRG 40 Ton	1	7300	$5,56992 \times 10^{15}$	$1,31061 \times 10^{-12}$
$\sum ED$					$7,03799 \times 10^{-10}$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kerusakan kumulatif (ED) untuk setiap kelompok sumbu kendaraan, yaitu STRT-3 Ton, STRT-4 Ton, STRT-8 Ton, STRT-10 Ton, serta STRG-18 Ton, STRG-20 Ton, STRG-25 Ton, dan STRG-40 Ton pada Tabel VII, diperoleh total nilai kerusakan kumulatif sebesar $\sum ED = 7,03799 \times 10^{-10}$.

Untuk mengevaluasi apakah desain ketebalan pelat memenuhi persyaratan, nilai kerusakan kumulatif dibandingkan dengan batas yang diijinkan, yaitu $ED \leq 1,0$. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh

$$\sum ED = 7,03799 \times 10^{-10} < 1,0. \quad (47)$$

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa desain ketebalan pelat memenuhi persyaratan terhadap kerusakan erosi, sehingga struktur perkerasan dinyatakan aman untuk menahan beban lalu lintas selama umur rencana.

14) Perencanaan Tulangan

a) Tulangan Memanjang

Perencanaan tulangan pada perkerasan kaku beton menerus dengan tulangan dapat meng-

gunakan rumus:

$$P_s = \frac{100 \times f_{ct} \times (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - (n \times f_{ct})} \quad (48)$$

dimana :

- P_s Persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%).
- f_{ct} Kuat tarik langsung beton, yaitu $0,4-0,5 f_{cf}$ (kg/cm²).
- f_{cf} Kuat tarik lentur beton umur 28 hari (kg/cm²), yaitu $K(f'_c)^{0,5}$.
- K Konstanta sebesar 0,75 untuk agregat pecah.
- n Koefisien gesekan antara pelat beton dan lapisan di bawahnya.

diketahui :

$$f'_c = 20 \text{ MPa} = 203,944 \text{ kg/cm}^2, \quad (49)$$

$$f_{cf} = 3,35 \text{ MPa}, \quad (50)$$

$$f_{ct} = 0,5 f_{cf} = 0,5 \times 3,35 \text{ MPa} = 1,675 \text{ MPa} \\ = 1,675 \times 10,1972 = 17,08 \text{ kg/cm}^2, \quad (51)$$

$$n = 10, \quad (52)$$

$$\mu = 1, \quad (53)$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} = 2447,328 \text{ kg/cm}^2, \quad (54)$$

$$h = 170 \text{ mm}, \quad (55)$$

$$b = 4000 \text{ mm}. \quad (56)$$

$$P_s = \frac{100 \times f_{ct} \times (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - (n \times f_{ct})} \quad (57)$$

$$P_s = \frac{100 \times 17,08 \text{ kg/cm}^2 \times (1,3 - (0,2 \times 1))}{2447,328 \text{ kg/cm}^2 - (10 \times 17,08 \text{ kg/cm}^2)} \quad (58)$$

$$P_s = \frac{1878,8 \text{ kg/cm}^2}{2276,528 \text{ kg/cm}^2} = 0,8253\% = 0,008253 \quad (59)$$

Luas Penampang Beton (A_c) :

$$A_c = b \times h = 4000 \text{ mm} \times 170 \text{ mm} = 680.000 \text{ mm}^2 \quad (60)$$

Luas Tulangan yang Dibutuhkan (A_s) :

$$A_s = P_s \times A_c \\ = 0,008253 \times 680.000 \text{ mm}^2 \\ = 5.612,04 \text{ mm}^2 \quad (61)$$

Desain tulangan memanjang menggunakan tulangan D12 (A_{D12}) :

$$A_{D12} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2 \quad (62)$$

Jumlah tulangan memanjang yang diperlukan (n) :

$$n = \frac{A_s}{A_{D12}} = \frac{5.612,04 \text{ mm}^2}{113,097 \text{ mm}^2} = 49,62 = 50 \text{ batang} \quad (63)$$

Spasi atau jarak tulangan memanjang (s) :

$$S = \frac{b}{n} = \frac{4000 \text{ mm}}{50} = 80 \text{ mm} = 8 \text{ cm} \quad (64)$$

Jadi untuk tulangan memanjang dipakai tulangan D12-80 mm.

Perhitungan jarak teoritis antara retakan (L_{cr}) :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \times p^2 \times u \times f_b \times (\varepsilon_s \times E_c - f_{ct})} \quad (65)$$

dimana :

- L_{cr} Jarak teoritis antara retakan (cm).
- p Perbandingan luas tulangan memanjang terhadap luas penampang beton.
- u Perbandingan keliling terhadap luas tulangan, yaitu

$$u = \frac{4}{d}$$

f_b Tegangan lekat antara tulangan dan beton, yaitu

$$f_b = \frac{1,97 \sqrt{f'_c}}{d} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

ε_s Koefisien susut beton, yaitu $0,4-0,5 f_{cf}$ (kg/cm²).

n Angka ekuivalensi antara baja dan beton, yaitu

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

E_c Modulus elastisitas beton, yaitu

$$E_c = 14.850 \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

E_s Modulus elastisitas baja, yaitu

$$E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

diketahui :

$$f'_c = 20 \text{ MPa} = 203,943 \text{ kg/cm}^2 \quad (66)$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} \quad (67)$$

$$\begin{aligned} E_c &= 14.850 \sqrt{f'_c} \\ &= 14.850 \times \sqrt{203,943} \\ &= 212.070,79 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \quad (68)$$

$$E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad (69)$$

$$f_{cf} = 3,35 \text{ MPa} = 34,16049 \text{ kg/cm}^2 \quad (70)$$

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{1,97 \sqrt{f'_c}}{d} \\ &= \frac{1,97 \times \sqrt{203,943}}{1,2} \\ &= 23,44 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \quad (71)$$

$$\begin{aligned} f_{ct} &= 0,5 f_{cf} \\ &= 0,5 \times 34,16049 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 17,08 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \quad (72)$$

$$\varepsilon_s = 400 \times 10^{-6} \quad (73)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2}{212.070,79 \text{ kg/cm}^2} = 9,902 \quad (74)$$

$$u = \frac{4}{d} = \frac{4}{1,2} = 3,333 \quad (75)$$

$$p = 0,008253 \quad (76)$$

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \times p^2 \times u \times f_b \times (\varepsilon_s \times E_c - f_{ct})} \quad (77)$$

$$\begin{aligned} L_{cr} &= \frac{(17,08)^2}{9,902(0,008253)^2(3,333)(23,44)} \\ &\times \frac{1}{(400 \times 10^{-6})(212.070,79) - 17,08} \end{aligned} \quad (78)$$

$$L_{cr} = \frac{291,7264 \text{ kg}^2/\text{cm}^2}{3,569 \text{ kg}^2/\text{cm}^3} = 81,7389 \text{ cm} \quad (79)$$

b) Tulangan melintang

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (80)$$

dimana :

A_s Luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat).

f_s Kuat tarik ijin tulangan (MPa), umumnya sebesar 0,6 kali tegangan leleh.

M Berat per satuan volume pelat (kg/m^3).

g Percepatan gravitasi (m/detik^2).

h Tebal pelat beton (m).

L Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m).

diketahui :

$$f_y = 240 \text{ MPa} \quad (81)$$

$$\begin{aligned} f_s &= 0,6 f_y \\ &= 0,6 \times 240 \text{ MPa} \\ &= 144 \text{ MPa} \\ &= 144 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (82)$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (83)$$

$$h = 170 \text{ mm} = 0,17 \text{ m} \quad (84)$$

$$b = 4000 \text{ mm} \quad (85)$$

$$L = 81,7848 \text{ cm} = 0,817848 \text{ m} \quad (86)$$

$$M = 2400 \text{ kg/m}^3 \quad (87)$$

$$\mu = 1$$

(berdasarkan Tabel 8.2 pada

Manual Desain Perkerasan) (88)

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (89)$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1 \times 0,817848 \times 2400 \times 9,81 \times 0,17}{2 \times 144} \\ &= 11,36 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (90)$$

$$A_s = \frac{3.273,42 \text{ N/m}}{288 \text{ N/mm}^2} = 11,366 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (91)$$

Karena luas tulangan (A_s) melintang yang diperlukan berdasarkan perhitungan di atas nilainya sangat kecil, maka untuk menghitung kebutuhan luas tulangan (A_s) melintang dapat dihitung menggunakan presentase dari luas tulangan memanjang, dimana kebutuhan luas tulangan melintang nilainya dapat diambil persentasenya sebesar 10%-20% dari kebutuhan luas tulangan memanjang ($A_t = 0,1A_s - 0,2A_s$), maka berdasarkan syarat di atas dalam perhitungan ini penulis memilih kebutuhan luas tulangan melintang adalah sebesar 0,15 dari luas tulangan memanjang (A_s).

$$A_t = 0,15A_s \quad (92)$$

dimana nilai $A_s = 5.612,04 \text{ mm}^2$

$$A_t = 0,15 \times 5.612,04 \text{ mm}^2 = 841,806 \text{ mm}^2 \quad (93)$$

Desain tulangan melintang menggunakan tulangan D12, maka luas tulangan D12 adalah :

$$A_{D12} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2 \quad (94)$$

Jumlah tulangan melintang yang diperlukan (n) :

$$n = \frac{A_t}{A_{D12}} = \frac{841,806 \text{ mm}^2}{113,097 \text{ mm}^2} = 7,44 = 8 \text{ batang} \quad (95)$$

Spasi atau jarak tulangan melintang (S) :

$$S = \frac{b}{n} = \frac{4000 \text{ mm}}{8} = 500 \text{ mm} = 50 \text{ cm} \quad (96)$$

Jadi untuk tulangan melintang dipakai tulangan D12-500 mm.

V. KESIMPULAN

Jadi berdasarkan hasil perhitungan tebal plat tipe perkerasan kaku (Beton Bertulang), tulangan memanjang, dan tulangan melintang dengan menggunakan pedoman ataupun metode dari buku *Manual Desain Perkerasan Jalan* 2024, maka diperoleh detail jalan perkerasan kaku yang dapat digunakan dalam lingkungan sekolah Surya Inspirasi School adalah sebagai berikut, yaitu tebal plat 170 mm dengan mutu betonnya (f'_c) sebesar 20 MPa, sedangkan untuk tulangan memanjang menggunakan tulangan D12-80 mm, dan tulangan melintang menggunakan tulangan D12-500 mm dengan mutu baja tulangannya (f_y) sebesar 240 MPa.

Saran dari penulis, hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan ulang lapis perkerasan jalan adalah memastikan jenis dan jumlah kendaraan yang melewati jalan di lingkungan sekolah Surya Inspirasi School karena hal ini akan mempengaruhi kita sebagai perencana dalam menentukan mutu material atau bahan serta tipe perkerasan yang akan kita gunakan dalam perencanaan ulang lapis perkerasan jalan. Hal ini juga akan berdampak pada ketebalan perkerasan beton bertulang serta detail penulangan untuk lapis perkerasan jalan setelah kita berhasil melakukan analisis perhitungan lapisan perkerasan jalan dengan menggunakan data-data tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. K. Nur, Mahyudin, E. Bachtiar, M. Tumpu, M. I. Mukrim, Irianto, Y. Kadir, T. S. P. Arifin, S. N. Ahmad, Masdiana, H. Halim, and Syukriah, *Perancangan Perkerasan Jalan*. Yayasan Kita Menulis, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/372310847_Perancangan_Perkerasan_Jalan.

- [2] M. R. F. Wibowo, Lindawati MZ, and B. F. Said, *Konstruksi Perkerasan Jalan: Standar, Material, dan Teknik Lapangan*. PT Media Penerbit Indonesia, 2025. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/955852246/Konstruksi-Perkerasan-Jalan-Standar-Material-Dan-Teknik-Lapangan-copy>.
- [3] N. Kusnianti, Y. H. Pandjiriawan, N. Suaryana, Nono, D. Fahmi, E. C. Anwar, A. P. Syahfani, M. R. Ramadhan, T. Kurniawati, and B. A. Putra, *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024. [Online]. Available: <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/03mbm2024-manual-desain-perkerasan-jalan-2024>.
- [4] Norapika and Lizar, "Perancangan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi September 2017," *KERN: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 10, no. 2, Oct. 2024. [Online]. Available: <https://kern.upnjatim.ac.id/index.php/kern/article/download/75/54/193>.
- [5] M. F. Pradana, R. T. Bethary, and S. H. Rohmah, "Perencanaan Kembali Tebal Perkerasan Jalan Beton Bertulang Menerus Dengan Metode AASHTO 1993 dan Evaluasi Crack (Studi Kasus Ruas Jalan Tol Balaraja Km. 34+500-36+300)," *Jurnal Konstruksia*, vol. 11, no. 1, Dec. 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/338630951_PERENCANAAN_KEMBALI_TEBAL_PERKERASAN_JALAN_BETON_BERTULANG_MENERUS_DENGAN_METODE_AASHTO_1993_DAN_EVALUASI_CRACK_STUDI_KASUS_RUAS_JALAN_TOL_BALARAJA_KM_34500_-36300.
- [6] D. Tanjung, J. Sarifah, M. Lubis, and H. Hidayat, "Perencanaan Perkerasan Kaku Tulangan Wiremesh (Rigid Pavement) Jalan Perumahan Properti Cikarang Bekasi Jawa Barat," *Buletin Utama Teknik*, vol. 20, no. 3, May 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/download/11470/7813>.
- [7] K. P. Sulaiman and S. B. Wasano, "Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dengan Menggunakan Wiremesh Pada Ruas Jalan HOS. Cokroaminoto dan Jalan Moch. Yamin (Tuban)," *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 2, no. 2, Sep. 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/336172861_Perencanaan_Perkerasan_Kaku_Rigid_Pavement_Dengan_Menggunakan_Wiremesh_Pada_Ruas_Jalan_HOS_Cokroaminoto_Dan_Jalan_Moch_Yamin_Tuban.
- [8] D. M. A. Rayid, A. Rokhmawati, and A. I. S. Ingsih, "Studi Alternatif Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Kembang-Paka-Nceang Kecamatan Borong, Manggarai Timur Dengan Metode MDPJ 2024," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 15, no. 1, Feb. 2025. [Online]. Available: <https://jim.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/26801/20234>.

BIOGRAFI PENULIS

Finsensius Lalo merupakan dosen/peneliti di Universitas Cahaya Surya, Indonesia. Lulusan terakhir dari Universitas Atma Jaya Yogyakarta pada bidang Struktur. Fokus penelitian meliputi struktur gedung, Jalan dan Jembatan.

Eddy Wibowo bekerja sebagai dosen/peneliti di Universitas Cahaya Surya, Indonesia. Menyelesaikan studi Magister Teknik Sipil di Universitas Brawijaya dalam bidang Rekayasa Geoteknik. Minat penelitiannya mencakup fondasi dan soil improvement.