

ANALISIS PERENCANAAN LAPIS TAMBAH PERKERASAN JALAN KAIYA-MAELANG PROVINSI SULAWESI UTARA

Muhammad Aidil¹, Andi Sulfanita²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare

Email: *aidil121107@gmail.com*

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare

Email: *andisulfanita@gmail.com*

Masuk: **11-03-2026**, revisi: **11-04-2026**, diterima untuk diterbitkan: **30-04-2026**

ABSTRAK

Peningkatan volume lalu lintas, khususnya kendaraan berat, dapat menyebabkan penurunan kinerja struktural perkerasan jalan sehingga diperlukan penanganan yang tepat untuk mempertahankan tingkat pelayanan jalan. Ruas Jalan Kaiya–Maelang di Provinsi Sulawesi Utara merupakan bagian dari jalur utama Trans Sulawesi yang memiliki peranan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi barang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) pada ruas Jalan Kaiya–Maelang guna mempertahankan kinerja struktural perkerasan selama umur rencana. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data lendutan balik perkerasan hasil pengujian *Benkelman Beam* pada Sta. 7+000 hingga Sta. 9+000 serta data lalu lintas harian rata-rata (LHR). Analisis tebal lapis tambah dilakukan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 dengan mempertimbangkan nilai lendutan maksimum, lengkung lendutan, dan beban lalu lintas rencana dalam bentuk *Cumulative Equivalent Standard Axle* (CESA). Hasil analisis menunjukkan bahwa volume lalu lintas sebesar 13.982 kendaraan per hari dengan laju pertumbuhan 4,75% menghasilkan nilai CESA sebesar 8,11 juta untuk umur rencana 10 tahun. Nilai lendutan maksimum yang diperoleh sebesar 0,817 mm dan nilai lendutan hasil penyesuaian *Falling Weight Deflectometer* (FWD) sebesar 0,488 mm. Berdasarkan evaluasi kinerja struktural, tidak ditemukan indikasi deformasi permanen, namun analisis retak lelah menunjukkan perlunya penanganan berupa lapis tambah. Oleh karena itu, diperoleh kebutuhan *overlay* total setebal 150 mm yang terdiri atas lapis *Asphalt Concrete–Wearing Course* (AC-WC) setebal 70 mm dan *Asphalt Concrete–Binder Course* (AC-BC) setebal 80 mm. Ketebalan tersebut dinilai mampu memenuhi kebutuhan kinerja struktural perkerasan selama umur rencana.

Kata kunci: Analisis perencanaan; Lapis tambah; Perkerasan jalan.

ABSTRACT

The increase in traffic volume, particularly heavy vehicles, can reduce the structural performance of road pavements, making appropriate maintenance measures necessary to maintain road serviceability. The Kaiya–Maelang Road section in North Sulawesi is part of the main Trans Sulawesi corridor and plays an important role in supporting community mobility and goods distribution. This study aims to analyze the required overlay thickness on the Kaiya–Maelang Road section to maintain pavement structural performance throughout its design life. The research employed a quantitative approach using pavement rebound deflection data obtained from Benkelman Beam testing at Stations 7+000 to 9+000 and average daily traffic (ADT) data. Overlay thickness was analyzed based on the 2024 Road Pavement Design Manual (MDP 2024) by considering maximum deflection, deflection curvature, and planned traffic loading expressed as Cumulative Equivalent Standard Axle (CESA). The results showed that the traffic volume of 13,982 vehicles per day with an annual growth rate of 4.75% produced a CESA value of 8.11 million for a 10-year design life. The maximum deflection value was 0.817 mm, while the adjusted Falling Weight Deflectometer (FWD) deflection value was 0.488 mm. Although no indication of permanent deformation was identified, fatigue cracking analysis indicated the need for overlay treatment. The analysis concluded that a total overlay thickness of 150 mm is required, consisting of a 70 mm Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) layer and an 80 mm Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) layer. This overlay thickness is considered adequate to maintain the structural performance of the pavement throughout the design life.

Keywords: Planning analysis; Overlay; Road paving.

1. PENDAHULUAN

Sektor transportasi nasional memiliki peran strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan mobilitas masyarakat serta distribusi barang dan jasa. Infrastruktur jalan sebagai komponen utama sistem transportasi harus mampu memberikan pelayanan yang andal, aman, dan berkelanjutan (Aulia, *et al.*, 2024). Dalam konteks pembangunan modern, keberadaan jaringan jalan tidak hanya berfungsi sebagai sarana konektivitas, tetapi juga sebagai penggerak utama aktivitas ekonomi regional dan nasional. Namun, peningkatan volume lalu lintas yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir telah menyebabkan beban berlebih pada struktur perkerasan jalan, sehingga mempercepat terjadinya kerusakan baik secara fungsional maupun struktural. Kondisi ini menunjukkan bahwa umur layan jalan sering kali tidak tercapai sesuai dengan perencanaan awal apabila tidak didukung oleh sistem pemeliharaan yang efektif dan terprogram. Penelitian Arbiansha, *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa pertumbuhan lalu lintas dan repetisi beban kendaraan berat merupakan faktor utama yang mempercepat penurunan kinerja perkerasan jalan. Menurut Setiawan, *et al.*, (2024), penurunan kualitas perkerasan jalan dipicu oleh beragam variabel, mulai dari tonase beban kendaraan, kualitas material struktur, hingga aspek desain dan prosedur pelaksanaan di lapangan. Selain faktor beban lalu lintas, kualitas material, metode konstruksi, serta pengaruh lingkungan seperti suhu dan curah hujan turut berkontribusi terhadap penurunan kinerja perkerasan jalan. Variasi kondisi tersebut menyebabkan terjadinya degradasi struktur yang bersifat progresif, terutama pada jalan dengan intensitas lalu lintas tinggi. Kerusakan yang terjadi umumnya berupa retak, deformasi, dan penurunan tingkat kenyamanan berkendara, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan biaya operasional kendaraan serta risiko kecelakaan (Yunus, *et al.*, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan dan pemeliharaan jalan harus dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai faktor teknis dan lingkungan. Dalam upaya mempertahankan kinerja perkerasan jalan, diperlukan strategi penanganan yang efektif dan efisien. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah perencanaan lapis tambah (*overlay*) pada perkerasan lentur. Metode ini bertujuan untuk meningkatkan kembali kapasitas struktural jalan serta memperpanjang umur layan tanpa harus melakukan rekonstruksi total yang memerlukan biaya besar. Penelitian Sibula, (2022) menunjukkan bahwa metode *overlay* berbasis lendutan merupakan pendekatan yang cukup akurat dalam menentukan kebutuhan perkuatan struktur jalan karena mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan.

Metode evaluasi struktural perkerasan yang umum digunakan dalam perencanaan *overlay* adalah metode lendutan balik menggunakan alat *Benkelman Beam*. Metode ini merupakan pendekatan non-destruktif yang mampu menggambarkan respons struktur perkerasan terhadap beban lalu lintas secara langsung (Syabana, F., & Mahardi, 2024). Data lendutan yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan sisa perkerasan serta menentukan kebutuhan tebal lapis tambah yang optimal. Selain itu, analisis lendutan yang dikombinasikan dengan data lalu lintas, seperti *Cumulative Equivalent Standard Axle* (CESA), memungkinkan perencanaan yang lebih rasional dan ekonomis dalam pengelolaan infrastruktur jalan. Ruas Jalan Kaiya–Maelang di Provinsi Sulawesi Utara merupakan salah satu jalur strategis yang berfungsi sebagai penghubung utama dalam jaringan Trans Sulawesi, khususnya di wilayah Kabupaten Bolaang Mongondow. Jalan ini memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas ekonomi, distribusi logistik, serta mobilitas masyarakat menuju pusat pemerintahan dan kawasan sekitarnya. Dengan tingginya intensitas penggunaan, ruas jalan ini dituntut untuk selalu berada dalam kondisi mantap agar dapat memberikan pelayanan optimal bagi pengguna jalan. Namun, peningkatan volume kendaraan, terutama kendaraan berat, telah menyebabkan penurunan kondisi perkerasan pada beberapa segmen, khususnya pada STA 7+000 hingga STA 9+000. Hasil observasi lapangan menunjukkan adanya kerusakan berupa retak kulit buaya

(*alligator cracking*), deformasi alur roda, serta pengelupasan permukaan (*ravelling*), yang mengindikasikan adanya penurunan kapasitas struktural jalan. Selain itu, kondisi ini juga berdampak pada penurunan tingkat kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan. Apabila tidak segera dilakukan penanganan, kerusakan tersebut berpotensi berkembang menjadi kerusakan yang lebih parah dan meningkatkan biaya rehabilitasi di masa mendatang. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) pada ruas Jalan Kaiya–Maelang dengan menggunakan metode lendutan balik melalui alat *Benkelman Beam* serta mengacu pada Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Kebaruan (*state of the art*) penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan evaluasi struktural berbasis data lendutan aktual yang dikombinasikan dengan parameter lalu lintas terkini untuk menghasilkan desain *overlay* yang lebih akurat dan kontekstual terhadap kondisi lapangan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode perencanaan pemeliharaan jalan yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

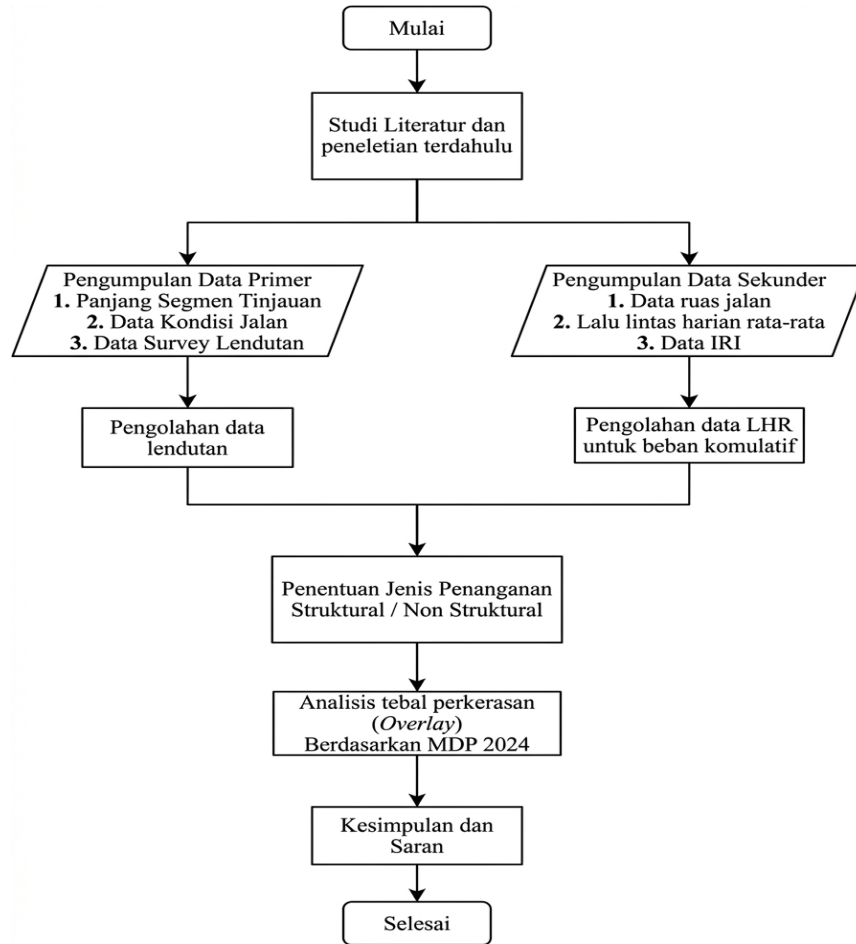
2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data hasil survei lapangan pada ruas jalan Kaiya–Maelang, Provinsi Sulawesi Utara. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teoritis terkait evaluasi perkerasan jalan dan perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) berdasarkan metode lendutan. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lendutan perkerasan menggunakan alat *Benkelman Beam*, yang umum digunakan untuk mengukur lendutan balik akibat beban lalu lintas pada perkerasan jalan. Selain itu, data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) juga dikumpulkan untuk merepresentasikan beban lalu lintas. Data sekunder meliputi data *International Roughness Index* (IRI), pedoman teknis, serta referensi dari instansi terkait seperti Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sulawesi Utara. Data IRI digunakan untuk mengidentifikasi kondisi fungsional perkerasan jalan, sedangkan data lalu lintas digunakan dalam perhitungan beban sumbu kendaraan kumulatif.

Data hasil survei lendutan diolah untuk memperoleh nilai lendutan maksimum dan lendutan wakil (*representative deflection*) yang menggambarkan kondisi struktural perkerasan jalan. Pengolahan ini mempertimbangkan faktor koreksi sesuai standar analisis lendutan. Data LHR selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai kumulatif beban sumbu standar atau *Cumulative Equivalent Standard Axle Load* (CESA) untuk umur rencana 10, 20, dan 40 tahun. Nilai CESA ini menjadi parameter utama dalam perencanaan tebal lapis tambah Analisis tebal lapis tambah dilakukan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2024). Parameter utama yang digunakan dalam analisis meliputi lendutan wakil, lendutan maksimum, dan nilai CESA. Tahapan analisis meliputi:

1. Penentuan jenis penanganan perkerasan (struktural atau *non-struktural*);
2. Penetapan umur rencana sesuai jenis penanganan;
3. Pemilihan bagan desain atau grafik yang sesuai;
4. Perhitungan kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*).

Hasil analisis digunakan untuk menentukan jenis penanganan yang tepat serta ketebalan *overlay* yang diperlukan guna meningkatkan kinerja struktural dan fungsional jalan. Adapun Gambar 1. menunjukkan bagan alir pelaksanaan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT)

Data lalu lintas merupakan salah satu parameter utama dalam perencanaan perkerasan jalan karena digunakan untuk memperkirakan akumulasi beban kendaraan yang akan diterima oleh struktur perkerasan selama umur rencana (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024). Data lalu lintas diperoleh melalui survei yang dilakukan oleh konsultan BPJN Sulawesi Utara selama 7 hari pada ruas Jalan Kaiya-Maelang. Ruas ini merupakan jalur vital Trans Sulawesi yang menghubungkan Provinsi Sulawesi Utara dan Gorontalo. Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 1, diperoleh total volume lalu lintas sebesar 13.982 kendaraan/ hari.

Tabel 1. Hasil *survey* LHR Ruas Kaiya-Maelang

No.	Klasifikasi Kendaraan	Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	Jumlah Kendaraan							LHRT
				Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	Senin	Selasa	
1	1	Sepeda motor dua dan kendaraan roda 3	-	1131	1131	1131	1131	1131	1131	1131	7917
2	2	Kendaraan ringan – Sedan, Jeep dan	1.1	637	637	637	637	637	637	637	4462

		Station Wagon									
3	3	Kendaraan ringan – angkutan umum sedan	1.1	22	22	22	22	22	22	22	157
4	5A	Bus kecil	1.1	3	3	3	3	3	3	3	19
5	5B	Bus besar	1.2	7	5	5	5	5	5	5	37
6	6A	Truk 2 sumbu – truk ringan	1.2	6	6	6	6	6	6	6	40
7	6B	Truk 2 sumbu – truk sedang	1.2	165	165	165	165	165	165	165	1154
8	7A1	Truk 3 sumbu – berat	1.2	11	11	11	11	11	11	11	77
9	7A2	Truk 3 sumbu – berat	1.2	11	11	11	11	11	11	11	77
10	7C2A	Truk 5 sumbu – berat	1.22–22	3	3	3	3	3	3	3	21
11	8	Kendaraan tak bermotor	-	3	3	3	3	3	3	3	21
Total											13.982

Sumber: Hasil survei lalu lintas lapangan Tahun 2023.

Tabel 1. menunjukkan hasil survei lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada ruas Jalan Kaiya-Maelang yang dilakukan selama tujuh hari pengamatan. Berdasarkan hasil survei diperoleh total volume lalu lintas sebesar 13.982 kendaraan per hari, dengan komposisi lalu lintas didominasi oleh sepeda motor sebesar 7.917 kendaraan per hari (56,62%) dan kendaraan ringan sebesar 4.462 kendaraan per hari (31,91%). Untuk kendaraan niaga, jenis kendaraan yang paling dominan adalah truk 2 sumbu – truk sedang (Golongan 6B) dengan volume 1.154 kendaraan per hari. Data lalu lintas tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan ESA dan CESA untuk menentukan kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan jalan.

Berdasarkan hasil survey, LHR di ruas Jalan Kaiya-Maelang adalah 13.982 kendaraan perhari dengan dominasi sepeda motor sebanyak 4462, kemudian truk (ringan) 2 sumbu sebanyak 1154 kendaran dan sisanya kendaraan roda 4 dan truk sedang hingga besar. Hal ini dikarenakan ruas Kaiya- Maelang merupakan jalan Trans Sulawesi yang menghubungkan antara Provinsi Sulawesi Utara dan Provinsi Gorontalo. Volume lalu lintas dalam perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) diproyeksikan menggunakan laju pertumbuhan tahunan. Dalam prosedur desain perkerasan, seluruh kendaraan niaga dikonversi menjadi beban sumbu standar ekuivalen (*Equivalent Standard Axle* atau ESA) menggunakan nilai *Vehicle Damage Factor*

(VDF). Nilai VDF menggambarkan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh masing-masing jenis kendaraan terhadap struktur perkerasan, sehingga semakin besar nilai VDF maka semakin besar pula kontribusi kendaraan tersebut terhadap kerusakan jalan (Hadi, 2024). Dalam studi ini, ditetapkan nilai sebesar 4,75%, yang merujuk pada standar lalu lintas rata-rata di Indonesia untuk kategori jalan arteri dan perkotaan menurut Tabel 2. Selanjutnya, akumulasi pertumbuhan selama masa layanan dihitung menggunakan faktor pengali (R) berdasarkan formulasi pada Persamaan 1 untuk setiap tahun perencanaan yang ditinjau.

$$R = \left(\frac{1 + 0.01 (4.75)^{UR10-40}}{0.01 (4.75)} \right)$$

$$R_{10} = 12.43$$

$$R_{15} = 21.18$$

$$R_{20} = 32.21$$

$$R_{40} = 113.68$$
(1)

Dalam prosedur desain perkerasan, seluruh beban lalu lintas dikonversi ke dalam satuan beban standar atau *Equivalent Single Axle Load* (ESA) dengan mengaplikasikan koefisien kekuatan relatif yang dikenal sebagai *Vehicle Damage Factor* (VDF). Nilai VDF untuk setiap jenis kendaraan merepresentasikan akumulasi beban ESA dari seluruh rangkaian kelompok sumbu kendaraan tersebut, yang mencerminkan tingkat kerusakan yang ditimbulkan terhadap struktur perkerasan.

Tabel 2. Tabel *Vehicle Damage Factor* (VDF) – Sulawesi Utara

Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C3
VDF4 Faktual		1,2	0,5	1,2	9,0	13,2	10,6	11,5	31,8
VDF4 Normal		1,2	0,5	0,5	2,4	4,9	7,0	7,3	11,5
VDF5 Faktual		1,3	0,4	1,3	15,5	25,2	15,3	17,6	64,3
VDF5 Normal		1,3	0,4	0,4	2,8	6,5	9,0	9,9	17,2

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024.

Tabel 2. menunjukkan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) untuk berbagai golongan kendaraan di Provinsi Sulawesi Utara. Nilai VDF digunakan untuk mengonversi volume kendaraan niaga menjadi beban sumbu standar ekuivalen (*Equivalent Standard Axle/ESA*) dalam perhitungan lalu lintas rencana. Semakin besar nilai VDF suatu kendaraan, semakin besar pula kontribusinya terhadap kerusakan perkerasan jalan. Pada penelitian ini, nilai VDF digunakan sebagai dasar perhitungan beban lalu lintas kumulatif (*Cumulative Equivalent Standard Axle* atau CESA) sesuai ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Data lalu lintas harian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil survei lalu lintas pada Semester I Tahun 2023 sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data tersebut, perhitungan lalu lintas rencana dilakukan dengan asumsi jalan mulai beroperasi (*open traffic*) pada tahun 2026. Sesuai ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024, lapis tambah (*overlay*) direncanakan memiliki umur rencana selama 10 tahun, sehingga periode analisis digunakan dari tahun 2026 hingga tahun 2036.

3.2. Data Survey lendutan balik *Benkelman Beam* / BB

Pengujian lendutan balik menggunakan alat *Benkelman Beam* (BB) merupakan salah satu metode non-destruktif yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktural perkerasan lentur berdasarkan respons lendutan akibat pembebanan roda kendaraan standar (Mukhlis, A., 2021). Metode ini relatif sederhana, ekonomis, dan masih digunakan secara luas dalam perencanaan rehabilitasi maupun lapis tambah (*overlay*) perkerasan jalan di Indonesia (Anugrah, & Hamka, 2023). Metodologi pengujian *benkelman beam* terbilang cukup sederhana dengan kendaraan beban standar truk gandar belakang 8.16 ton (standar Bina Marga). Pengujian BB juga dilakukan oleh konsultan *survey* BPJN Sulawesi Utara yang nantinya akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan nilai karakteristik Parameter utama dalam analisis lendutan terdiri dari Lendutan Maksimum (D_0), yang diukur tepat pada pusat titik pembebanan, serta Lendutan D_{200} , yang mencerminkan karakteristik deformasi pada jarak radial 200 mm dari pusat beban. Kombinasi kedua nilai ini sangat krusial untuk mengevaluasi kekakuan struktural perkerasan, di mana selisih keduanya ($D_0 - D_{200}$) digunakan untuk menentukan kinerja lengkung lendutan (*curvature profile*). Pengujian lendutan dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas struktural perkerasan *eksisting*. Parameter utama meliputi Lendutan Maksimum (D_0) dan karakteristik lengkung lendutan ($D_0 - D_{200}$). Berdasarkan data pengujian di lapangan lendutan terbesar terjadi pada sta. 8+000 dengan nilai lendutan dengan jarak pengujian 20 cm (D_0) = 0.05 mm dan pengujian lendutan dengan jarak 600 cm (D_{200}) = 0.32 mm. Data hasil pengujian lendutan balik disajikan pada Tabel 3.

Lendutan hasil pengujian lapangan tidak dapat langsung digunakan dalam perencanaan *overlay* karena dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan pelaksanaan pengujian. Oleh sebab itu, diperlukan koreksi terhadap temperatur perkerasan, musim pengujian, dan beban kendaraan uji untuk memperoleh nilai lendutan yang mewakili kondisi aktual struktur perkerasan. Koreksi temperatur sangat penting karena perubahan temperatur dapat memengaruhi modulus lapisan aspal dan besarnya lendutan yang terukur di lapangan (Hardiansyah, 2024). Karena lokasi penelitian berada di wilayah pesisir Sulawesi Utara, digunakan nilai *Weighted Annual Mean Pavement Temperature* (WAMPT) sebesar 41°C sesuai ketentuan MDP 2024 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024). Lendutan hasil pengujian di lapangan kemudian dianalisa menurut metode manual desain perkerasan jalan 2024 dengan memperhitungkan temperatur (udara, permukaan aspal, lapis tengah aspal, dan lapis bawah aspal), faktor temperatur (F_t), faktor koreksi pada temperatur lendutan D_0 , faktor koreksi temperatur lengkung lendutan D_0 sampai D_{200} , faktor penyesuaian lengkung lendutan *benkelman beam* ke *Falling Weight Deflectometer* / *FWD*, faktor pengaruh muka air tanah / faktor koreksi musim (C_a), dan koreksi beban uji. Berikut adalah beberapa tahapan untuk mendapatkan nilai lendutan wakil dan lendutan rata-rata.

3.3. Koreksi Temperatur

Karena lokasi penelitian berada di pesisir utara Sulawesi Utara, digunakan nilai WAMPT 41°C dengan faktor koreksi modulus 0,923. Perhitungan temperatur lapangan (TL) menggunakan data temperatur udara (T_u) dan permukaan (T_p). Selain itu, diterapkan faktor koreksi musim (C_a) sebesar 1,2 (musim kemarau) dan faktor koreksi beban uji (1,015) untuk menyesuaikan beban riil lapangan ke beban standar 8,16 ton. Selain itu, diterapkan faktor koreksi musim (C_a) sebesar 1,2 pada kondisi musim kemarau dan faktor koreksi beban uji sebesar 1,015 untuk menyesuaikan beban kendaraan uji terhadap beban standar *Benkelman Beam* sebesar 8,16 ton (Mukhlis dan Agustiar, 2021).

Tabel 3. Perhitungan Temperatur Lapangan

Station	Temperatur				TL = 1/3(Tp+Tt+Tb) (°C)
	Tu (°C)	Tp (°C)	Tt (°C)	Tb (°C)	
07+000	29.00	38.00	32.80	29.10	33.300
07+200	27.00	42.00	32.30	28.60	34.300
07+400	25.00	39.00	32.80	29.10	33.633
07+600	22.00	43.00	32.80	29.10	34.967
07+800	21.00	42.00	33.40	29.60	35.000
08+000	18.00	38.00	32.80	29.10	33.300
08+200	23.00	36.00	35.10	31.00	34.033
08+400	21.00	36.00	32.80	29.10	32.633
08+600	21.00	39.00	33.90	30.00	34.300
08+800	26.00	34.00	29.50	26.20	29.900
09+000	24.00	42.00	30.00	26.70	32.900

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2025.

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan temperatur lapangan pada setiap titik pengujian ruas Jalan Kaiya–Maelang. Temperatur lapangan (TL) dihitung menggunakan rata-rata temperatur permukaan lapis beraspal (Tp), temperatur tengah lapis beraspal (Tt), dan temperatur bawah lapis beraspal (Tb). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai TL berkisar antara 29,90°C hingga 35,00°C, dengan temperatur tertinggi terjadi pada STA 07+800 sebesar 35,00°C dan temperatur terendah pada STA 08+800 sebesar 29,90°C. Nilai temperatur lapangan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan faktor koreksi temperatur (Ft) dalam analisis lendutan perkerasan sesuai ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Nilai temperatur lapangan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan faktor koreksi temperatur (Ft) dalam analisis lendutan perkerasan sesuai ketentuan MDP 2024 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024).

3.4. Penyesuaian nilai ledutan terhadap temperatur pengujian

Berdasarkan lokasi pengujian yang berada pada wilayah pesisir, nilai *Weighted Mean Annual Pavement Temperature* (WAMPT) yang digunakan adalah 41°C. Penyesuaian nilai lendutan terhadap temperatur pengujian dilakukan dengan menggunakan faktor koreksi temperatur sesuai Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Semakin tinggi temperatur perkerasan, maka lendutan yang terjadi cenderung semakin besar akibat menurunnya kekakuan lapisan aspal (Anugrah, Adnan, 2023; Hardiansyah, et al., 2024). Faktor koreksi temperatur dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$TL = 1/3 (TP + TT + TB) \quad (2)$$

Dengan:

TL = temperatur lapis beraspal (°C);

TP = temperatur permukaan lapis beraspal (°C);

TT = temperatur tengah lapis beraspal (°C);

TB = temperatur bawah lapis beraspal (°C).

Faktor koreksi temperatur dihitung menggunakan Persamaan (2). Nilai temperatur lapangan (TL) diperoleh dari rata-rata temperatur permukaan, temperatur tengah lapisan, dan temperatur bawah lapisan perkerasan sebagaimana direkomendasikan dalam evaluasi lendutan

perkerasan lentur (Syabana & Purwo, 2024). Berdasarkan hasil perhitungan temperatur lapangan pada setiap titik pengujian, diperoleh nilai TL berkisar antara 29,90°C sampai 35,00°C. Selanjutnya, faktor koreksi temperatur (Ft) ditentukan berdasarkan hubungan antara temperatur lapangan dan WAMPT 41°C sesuai ketentuan MDP 2024. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai Ft berada pada rentang 1,171–1,371 dan digunakan untuk mengoreksi nilai lendutan hasil pengujian *Benkelman Beam* sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

3.5. Faktor koreksi pada temperatur untuk D0 dan D200 *benkelman beam*

Dalam pengujian *Benkelman Beam*, kesesuaian beban kendaraan uji terhadap beban standar sangat penting karena perbedaan beban akan memengaruhi besarnya lendutan yang terukur di lapangan. Oleh sebab itu, koreksi beban diperlukan untuk menghasilkan nilai lendutan yang setara dengan kondisi standar sehingga hasil evaluasi struktural dapat dibandingkan secara konsisten (Mukhlis dan Agustiar, 2021). Berdasarkan ketentuan SNI 2416:2011 beban uji standar untuk pengujian lendutan dengan *benkelman beam* yaitu 8,16 ton, beban uji yang diperoleh pada saat pengukuran di lapangan adalah 8,1 ton, maka perlu dilakukan koreksi terhadap beban uji di lapangan. Hasil koreksi beban uji diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.

$$\begin{aligned} \text{FKB-BB} &= 77,343 \times (\text{beban uji dalam ton})^{(-2,0715)} \\ &= 77,343 \times (8,1)^{(-2,0715)} \\ &= 1.015 \end{aligned} \quad (3)$$

3.6. Perhitungan lendutan maksimum dan lengkung lendutan

Lendutan maksimum (D0) dan *Curvature Function* (CF) merupakan parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktural perkerasan lentur. Nilai D0 menggambarkan respons total struktur perkerasan terhadap pembebanan, sedangkan nilai CF digunakan untuk mengevaluasi kondisi lapisan perkerasan bagian atas yang berhubungan dengan potensi retak lelah (*fatigue cracking*) (Hadi, 2024; Hardiansyah, et al., 2024). Dalam penelitian ini, nilai lendutan hasil pengujian lapangan dikoreksi terhadap temperatur, musim, dan beban uji sebelum dikonversi menjadi nilai ekuivalen *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Konversi tersebut dilakukan karena pendekatan desain overlay pada MDP 2024 menggunakan parameter lendutan yang ekuivalen dengan hasil pengujian FWD (Mukhlis dan Agustiar, 2021; Anugrah, 2023). Dalam menentukan lendutan terkoreksi maka dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan 2 pada semua titik pengujian, kemudian didapatkan lendutan maksimum yang akan digunakan pada perencanaan tebal lapis tambah, adapun nilai lendutan maksimum yang didapatkan adalah 0.817 mm, sedangkan nilai lengkung lendutan penyesuaian dengan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) yaitu 0.48 mm.

Tabel 4. Perhitungan D0 dan D0-200 rata-rata

Sta.	Faktor Koreksi Temperatur untuk D0	Faktor Koreksi Temperatur untuk D0-200	Lendutan Terkoreksi (mm)	<i>Curvature Function</i> (CF) (mm)	Penyesuaian FWD (mm)
7000	1.04857	1.09705	0.56198	0.43426	0.34307
7200	1.04036	1.07920	0.48155	0.38017	0.30034
7400	1.04578	1.09098	0.48406	0.40763	0.32203
7600	1.03515	1.06787	0.58001	0.45392	0.35860
7800	1.03490	1.06732	0.52945	0.37818	0.29876
8000	1.04857	1.09705	0.81743	0.68971	0.48697
8200	1.04250	1.08386	0.53334	0.43175	0.34108

8400	1.05432	1.10955	0.48801	0.28253	0.22320
8600	1.04036	1.07920	0.48155	0.40552	0.32036
8800	1.08057	1.16665	0.55281	0.47384	0.37433
9000	1.05199	1.10449	0.51256	0.33317	0.26320

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2025.

Tabel 4. menunjukkan hasil perhitungan faktor koreksi temperatur, lendutan terkoreksi, *Curvature Function* (CF), dan nilai lendutan hasil penyesuaian terhadap *Falling Weight Deflectometer* (FWD) pada setiap titik pengujian. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai lendutan terkoreksi maksimum sebesar 0,817 mm pada STA 8+000, sedangkan nilai *Curvature Function* maksimum sebesar 0,690 mm. Hasil penyesuaian terhadap FWD menunjukkan nilai maksimum sebesar 0,487 mm. Nilai lendutan maksimum dan nilai penyesuaian FWD tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter utama dalam analisis kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) sesuai ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024.

3.7. Analisis Beban Sumbu Standar Kumulatif / *Cumulatif Standard Axle Load* (CESA)

Beban Sumbu Standar Kumulatif atau *Cumulative Equivalent Standard Axle* (CESA) merupakan total akumulasi beban sumbu lalu lintas rencana yang diterima oleh lajur desain selama umur rencana perkerasan. Nilai CESA digunakan sebagai parameter utama dalam desain perkerasan karena mampu menggambarkan tingkat kerusakan struktural yang ditimbulkan oleh lalu lintas secara kumulatif selama masa layanan jalan (Hadi, 2024; Hardiansyah, et al., 2024). Perhitungan CESA dilakukan dengan mengintegrasikan volume kendaraan niaga, tingkat pertumbuhan lalu lintas, distribusi arah lalu lintas, distribusi lajur, serta nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) masing-masing jenis kendaraan (Marga, 2024; Arbiansha, et al., 2025). Adapun perhitungan kumulatif beban untuk ESA4 dan ESA5 dilakukan pada beberapa tahap yaitu:

- Ruas Jalan Kaiya-Maelang merupakan jalan arteri yang berada di Provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan ketentuan faktor pertumbuhan lalu lintas pada Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 untuk jalan arteri dan perkotaan, digunakan laju pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 4,75% (rata-rata Indonesia). Nilai tersebut digunakan untuk memproyeksikan pertumbuhan volume lalu lintas selama umur rencana perkerasan. Faktor pertumbuhan lalu lintas digunakan untuk memproyeksikan peningkatan volume kendaraan selama umur rencana sehingga akumulasi beban lalu lintas dapat dihitung secara lebih realistis (Hadi, 2024; de Queljoe, et al., 2025).
- Ruas Jalan Kaiya-Maelang merupakan jalan dua arah dengan satu lajur pada setiap arah. Oleh karena itu, faktor distribusi arah (DD) ditetapkan sebesar 0,50 yang menunjukkan bahwa 50% lalu lintas kendaraan niaga bergerak pada masing-masing arah perjalanan. Selanjutnya, faktor distribusi lajur (DL) ditetapkan sebesar 1,00 karena pada setiap arah hanya terdapat satu lajur yang menampung seluruh kendaraan niaga. Nilai DD dan DL digunakan dalam perhitungan beban lalu lintas rencana pada lajur desain. Selanjutnya, faktor distribusi lajur (*Lane Distribution Factor* / DL) ditetapkan sebesar 1,00 karena pada setiap arah hanya terdapat satu lajur yang menampung seluruh kendaraan niaga. Faktor DD dan DL digunakan untuk menentukan besarnya beban lalu lintas yang bekerja pada lajur desain (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024).
- Data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) diperoleh dari hasil survei lalu lintas tahun 2023. Perhitungan beban lalu lintas dilakukan dengan menggunakan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) untuk wilayah Sulawesi Utara sesuai ketentuan MDP 2024. Penggunaan VDF memungkinkan berbagai jenis kendaraan dengan konfigurasi sumbu yang berbeda dapat dinyatakan dalam satu satuan kerusakan yang seragam terhadap

struktur perkerasan (Anugrah, 2023). VDF merupakan faktor yang digunakan untuk mengonversi jumlah kendaraan niaga menjadi beban sumbu standar ekuivalen (*Equivalent Standard Axle/ESA*). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai sebagai berikut:

- Esa4 Faktual = 3893.36
- Esa4 Normal = 1542.50
- Esa5 Faktual = 5810.69
- Esa5 Normal = 1642.59

- d. Perhitungan *Cumulative Equivalent Standard Axle* (CESA) dilakukan dengan mempertimbangkan nilai faktor distribusi arah (DD = 0,50), faktor distribusi lajur (DL = 1,00), faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 4,75%, serta nilai ESA yang telah diperoleh sebelumnya. Nilai CESA yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) dan mengevaluasi kemampuan struktur perkerasan dalam menahan beban lalu lintas selama umur rencana (Hadi, 2024; Hardiansyah, et al., 2024; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024). Hasil perhitungan CESA selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) berdasarkan umur rencana yang ditetapkan.

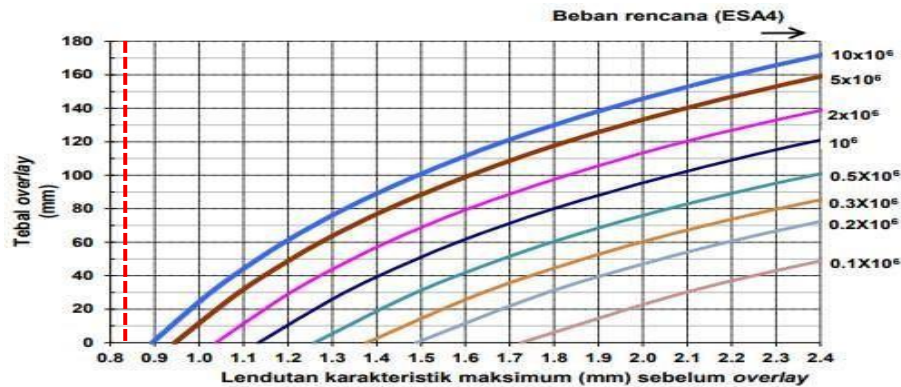
- Cesa4 10 Tahun = 6.444.934,34
- Cesa4 20 Tahun = 9.066.059,93
- Cesa5 10 Tahun = 8.122.108,06
- Cesa5 20 Tahun = 14.049.674,43

3.8. Analisis Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

Penentuan tebal lapis tambah (*overlay*) dilakukan berdasarkan hasil evaluasi kondisi struktural perkerasan menggunakan parameter lendutan maksimum dan lengkung lendutan yang telah dikoreksi terhadap pengaruh temperatur, musim, serta faktor koreksi lainnya. Selain itu, analisis juga mempertimbangkan beban lalu lintas rencana yang dinyatakan dalam bentuk *Cumulative Equivalent Standard Axle* (CESA). Pendekatan ini banyak digunakan dalam perencanaan rehabilitasi perkerasan karena mampu menggambarkan hubungan antara kapasitas struktural perkerasan *eksisting* dan beban lalu lintas yang akan diterima selama umur rencana (Cahyono, et al., 2024; Hardiansyah, et al., 2024; Metekohy, et al., 2023). Berdasarkan hasil analisis lendutan terkoreksi yang disajikan pada Tabel 4, diperoleh nilai lendutan maksimum (D0) sebesar 0,817 mm pada STA 8+000, sedangkan nilai lengkung lendutan hasil penyesuaian terhadap *Falling Weight Deflectometer* (FWD) sebesar 0,488 mm. Nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter utama dalam perencanaan tebal lapis tambah berdasarkan ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Penggunaan parameter D0 dan lengkung lendutan dalam desain *overlay* telah terbukti efektif untuk mengevaluasi kapasitas struktural perkerasan dan potensi kerusakan akibat beban berulang kendaraan berat (Anugrah, 2023; Hardiansyah, et al., 2024).

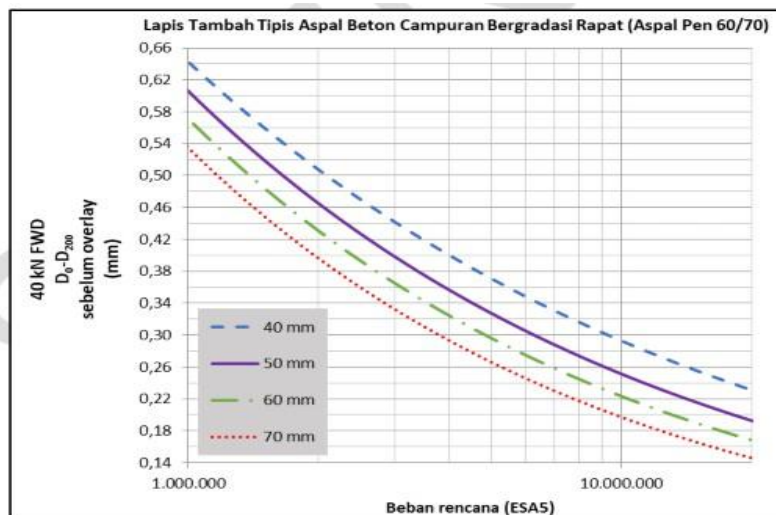
Penentuan kebutuhan *overlay* dilakukan menggunakan grafik desain *overlay* berdasarkan lendutan balik maksimum sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara lendutan maksimum perkerasan dan beban lalu lintas kumulatif (CESA4). Menurut penelitian Anugrah (2023), analisis berbasis lendutan maksimum digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya deformasi permanen dan menentukan kebutuhan *overlay* minimum pada perkerasan lentur. Hasil analisis menunjukkan bahwa titik perpotongan antara lendutan maksimum sebesar 0,817 mm dan nilai CESA4 sebesar 6,44 juta berada pada zona yang tidak mengindikasikan terjadinya deformasi permanen. Oleh karena itu, berdasarkan kriteria lendutan maksimum, kebutuhan lapis tambah struktural belum diperlukan dan ketebalan *overlay* minimum sebesar 50 mm dinilai cukup untuk memperbaiki kondisi

fungsional perkerasan serta menurunkan nilai *International Roughness Index* (IRI). Hasil serupa juga dilaporkan oleh (Metekohy, et al., 2023), yang menunjukkan bahwa *overlay* minimum dapat diterapkan pada ruas jalan yang belum mengalami penurunan kapasitas struktural yang signifikan. Meskipun demikian, evaluasi terhadap potensi kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) tetap perlu dilakukan menggunakan grafik desain *overlay* berdasarkan lengkung lendutan. Retak lelah merupakan salah satu bentuk kerusakan dominan pada perkerasan lentur akibat akumulasi beban lalu lintas berulang, sehingga analisis berdasarkan parameter lengkung lendutan diperlukan untuk memastikan umur layanan perkerasan dapat tercapai sesuai rencana (Hardiansyah, et al., 2024).



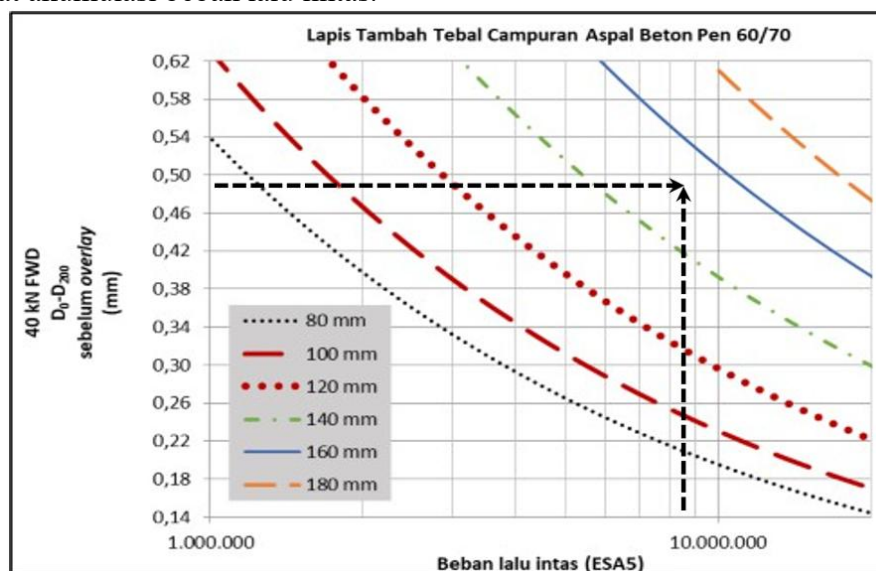
Gambar 2. Penentuan Tebal *Overlay* Dengan Lendutan Maksimum

Pada Gambar 2. sumbu horizontal menunjukkan nilai beban lalu lintas kumulatif (CESA4), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai lendutan maksimum hasil pengujian. Zona berwarna hijau menunjukkan kondisi perkerasan yang masih memenuhi persyaratan struktural sehingga tidak memerlukan *overlay* struktural. Zona kuning menunjukkan kebutuhan *overlay* tipis, zona oranye menunjukkan kebutuhan *overlay* sedang, sedangkan zona merah menunjukkan kebutuhan *overlay* tebal akibat penurunan kapasitas struktural perkerasan yang signifikan. Posisi titik hasil analisis digunakan untuk menentukan jenis penanganan dan ketebalan *overlay* yang diperlukan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sabetu, et al., (2021) yang menunjukkan bahwa ketebalan *overlay* yang tidak memadai akan mempercepat terjadinya retak lelah akibat akumulasi beban lalu lintas.



Gambar 3. Penentuan Tebal *Overlay* Tipis

Gambar 3. menunjukkan susunan lapis tambah hasil perencanaan pada ruas Jalan Kaiya–Maelang. *Overlay* yang direncanakan terdiri atas lapisan *Asphalt Concrete–Wearing Course* (AC-WC) setebal 70 mm dan *Asphalt Concrete–Binder Course* (AC-BC) setebal 80 mm, sehingga total ketebalan lapis tambah yang dibutuhkan adalah 150 mm. Ketebalan tersebut diperoleh berdasarkan hasil evaluasi lendutan dan analisis beban lalu lintas rencana sesuai ketentuan MDP 2024. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sabetu, et al., (2021) yang menunjukkan bahwa ketebalan *overlay* yang tidak memadai akan mempercepat terjadinya retak lelah akibat akumulasi beban lalu lintas.

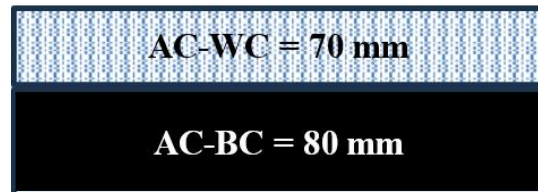


Gambar 4. Penentuan Tebal *Overlay* Tebal

Berdasarkan hasil perhitungan lendutan terkoreksi yang disajikan pada Tabel 4, diperoleh nilai lendutan maksimum (D_0) sebesar 0,817 mm dan nilai lengkung lendutan hasil penyesuaian *Falling Weight Deflectometer* (FWD) sebesar 0,488 mm. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai parameter dalam analisis kebutuhan lapis tambah berdasarkan ketentuan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024. Hasil evaluasi menggunakan grafik desain *overlay* tipis yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa lapis tambah minimum setebal 50 mm belum mampu memenuhi kebutuhan lalu lintas rencana. Pada grafik tersebut, titik perpotongan antara nilai lengkung lendutan hasil penyesuaian FWD sebesar 0,488 mm dengan nilai CESA5 hanya mampu mengakomodasi lalu lintas sekitar 1,5 juta ESA5. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan nilai CESA5 rencana sebesar 8,11 juta, sehingga masih berpotensi terjadi kerusakan berupa retak lelah (*fatigue cracking*) sebelum mencapai umur rencana.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara nilai lengkung lendutan hasil penyesuaian FWD dan nilai CESA5 untuk berbagai alternatif *overlay* tipis. Grafik ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan lapis tambah minimum dalam menahan kerusakan akibat retak lelah. Oleh karena itu, dilakukan evaluasi lanjutan menggunakan grafik desain *overlay* tebal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan grafik tersebut, titik perpotongan antara nilai CESA5 sebesar 8,11 juta dan nilai lengkung lendutan hasil penyesuaian FWD sebesar 0,488 mm berada di antara garis ketebalan *overlay* 140 mm dan 160 mm. Dengan mempertimbangkan ketebalan konstruksi yang praktis dan ketentuan MDP 2024, dipilih tebal lapis tambah sebesar 150 mm. Hasil ini konsisten dengan penelitian (Cahyono, et al., 2024) dan Hardiansyah, et al., (2024), yang menyatakan bahwa peningkatan ketebalan *overlay* diperlukan ketika nilai CESA tinggi dan risiko kerusakan retak lelah menjadi faktor pengendali desain. Gambar 4 menunjukkan grafik desain *overlay*

tebal berdasarkan kriteria retak lelah (*fatigue cracking*). Grafik ini digunakan untuk menentukan kebutuhan tebal lapis tambah struktural berdasarkan hubungan antara nilai CESA5 dan lengkung lendutan hasil penyesuaian FWD. Sketsa susunan lapis tambah hasil perencanaan ditunjukkan pada Gambar 5. *Overlay* yang direncanakan terdiri atas lapisan *Asphalt Concrete–Wearing Course* (AC-WC) setebal 70 mm dan *Asphalt Concrete–Binder Course* (AC-BC) setebal 80 mm, sehingga total tebal lapis tambah yang dibutuhkan adalah 150 mm.



Gambar 5. Sketsa tebal lapis tambah / *Overlay*

Gambar 5. memperlihatkan susunan lapisan *overlay* hasil perencanaan pada ruas Jalan Kaiya-Maelang. Struktur *overlay* terdiri atas lapisan AC-WC setebal 70 mm sebagai lapisan permukaan dan AC-BC setebal 80 mm sebagai lapisan antara yang ditempatkan di atas perkerasan *eksisting*. Susunan lapisan tersebut direncanakan untuk meningkatkan kapasitas struktural perkerasan dan mengurangi potensi terjadinya retak lelah selama umur rencana 10 tahun. Susunan lapisan tersebut direncanakan untuk meningkatkan kapasitas struktural perkerasan, memperpanjang umur layanan jalan, dan mengurangi potensi terjadinya retak lelah selama umur rencana 10 tahun (Hardiansyah, et al., 2024; Metekohy, et al., 2023).

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Panjang jalan yang ditinjau pada ruas jalan Kaiya-Maelang yaitu 2,0 km dari STA 7+000–9+000. Ruas ini menjadi objek penelitian untuk mengevaluasi kondisi struktural perkerasan serta menentukan kebutuhan penanganan yang tepat berdasarkan data lapangan dan parameter teknis yang digunakan.
2. Hasil pengolahan data *Benkelman Beam* pada STA 7+000 s/d 9+000 menunjukkan bahwa nilai lendutan maksimum adalah 0,817 mm, sedangkan nilai lengkung lendutan penyesuaian dengan FWD sebesar 0,48 mm. Nilai tersebut menggambarkan kondisi perkerasan yang memerlukan penanganan struktural untuk menjaga kinerja jalan tetap optimal.
3. Nilai beban lalu lintas kumulatif yang diperoleh yaitu CESA4 sebesar 6,44 juta dan CESA5 sebesar 8,11 juta untuk umur rencana 10 tahun. Besarnya nilai CESA ini menunjukkan bahwa beban lalu lintas yang bekerja pada ruas jalan cukup signifikan dan menjadi faktor utama dalam penentuan desain lapis tambah.
4. Berdasarkan analisis Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2024), diperoleh bahwa desain lapis tambah (*overlay*) menggunakan *overlay* tebal, dimana titik perpotongan antara nilai CESA5 = 8,11 juta dan lengkung lendutan (FWD) = 0,488 mm berada antara tebal 140 mm dan 160 mm, sehingga ditetapkan tebal *overlay* sebesar 150 mm. Konfigurasi lapisan yang digunakan adalah AC-WC 70 mm dan AC-BC 80 mm, yang diharapkan mampu meningkatkan kinerja struktural dan umur layanan perkerasan jalan.

6. REFERENCES

- Anugrah, Adnan, and H. (2023). Analysis of Back Defect Method Using Tools benkelman Beam in Planning Layer Thickness Add Flexible Pavement (Overlay). *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 2(10), 1244–1250.
- Arbiansha, B. A. P., Taufikkurrahman, T., Saputro, D. A., & Wardani, L. K. (2025). The Evaluation of Road Age Reduction Due to Overloaded Vehicles Using the CESA Method: Evaluasi Penurunan Umur Jalan Akibat Kendaraan Beban Lebih Menggunakan Metode CESA. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 61–74.
- Aulia, S., Anisa, S. N., Indah, A., Dipa, M. A. K., & Panorama, M. (2024). Analisis peran infrastruktur dalam pertumbuhan ekonomi pembangunan di Kota Palembang. *Jurnal Publikasi Ekonomi Dan Akuntansi (JUPEA)*, 4(1), 36–54.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. *Cara uji lendutan perkerasan lentur dengan alat Benkelman Beam (SNI 2416-2011)*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Cahyono, Muhammad Shofwan Donny, R. Endro Wibisono, and P. M. Y. (2024). Perencanaan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Dengan Metode MDPJ 2017 Pada STA 0+ 000 s/d STA 0+ 860 Ruas Jalan Panjang Jiwo Kota Surabaya. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 6(2), 146–153.
- Chaidir, N., 2007. *Perencanaan tebal lapis tambahan (overlay) dan analisis biaya konstruksi berdasarkan metode Benkelman Beam (studi kasus Yogyakarta–Parangtritis)*.
- de Queljoe, Winda Sary, Made Budi Purnama Putra, and T. A. N. (2025). Perhitungan Umur Sisa Perkerasan Lentur Berdasarkan Analisis Data Lalu Lintas pada Ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Manokwari, Papua Barat: Perhitungan Umur Sisa Perkerasan Lentur Berdasarkan Analisis Data Lalu Lintas pada Ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Manokwari, . *JISTECH: Journal of Information Science and Technology*, 14(2), 89–94.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Petunjuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen*. Jakarta: Pedoman Konstruksi dan Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1997. *Tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota*. Jakarta: Pedoman Konstruksi dan Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005. *Perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metode lendutan (Pd T-05-2005-B)*. Jakarta: Pedoman Konstruksi dan Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2010. *Spesifikasi umum tahun 2010 divisi 6 tentang perkerasan aspal*. Jakarta: Pedoman Konstruksi dan Bangunan.
- Hadi, M. A. (2024). Eksplorasi Dampak Perubahan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 terhadap Perencanaan Perkerasan Jalan. *Wahana Teknik Sipil*, 29(2), 416–427.
- Hardiansyah, I., Hartatik, N., Wardhana, S., & Punarta, I. G. A. (2024). Analisis tebal lapis tambah perkerasan lentur (overlay) menggunakan metode manual desain perkerasan jalan 2017 Jalan Gandusari–Kampak Kabupaten Trenggalek (Sta 12+ 000–15+ 000). *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(2), 159–166.
- Hardiyatmo, H.C., 2015. *Pemeliharaan jalan raya*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2024. *Manual desain perkerasan jalan*. Jakarta.

- Marga, D. J. B. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Metekohy, Juliet G., S. G. M. Amaheka, and A. A. (2023). Perencanaan tebal lapis tambah (Overlay) pada ruas jalan Passo–Tulehu berdasarkan metode manual desain perkerasan jalan 2017. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 8(1), 49–60.
- Mukhlis, A., dan A. (2021). Perencanaan Tebal Overlay dengan Alat Benkelman Beam dan Falling Weight Deflectometer. *Tameh: Journal of Civil Engineering*, 10(2), 49–60.
- Oktori, R., 2011. *Evaluasi tingkat pelayanan jalan dan tebal perkerasan lentur pada ruas jalan Srandakan–Toyan Km 0+000 sampai Km 5+000*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia, 2006. *Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang jalan*. Jakarta.
- Sabetu, Laurent Yesana Perdana Putra, Suryo Hapsoro Tri Utomo, and L. B. S. (2021). Kemampuan Perkerasan Hasil Rancangan Overlay Terhadap Prediksi Kerusakan Perkerasan Lentur di Jalan Siliwangi Yogyakarta. *Jurnal Transportasi*, 21(3), 207–218.
- Setiawan, A., Suryoto, S., & Athallahriq, N. A. M. (2024). Analisis Desain Overlay Pada Jalan Nasional Berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (Studi Kasus: Jalan Lingkar Demak). *Matriks Teknik Sipil*, 11(3), 307–313.
- Sibula, B. (2022). Pengujian Benkelman Beam Dan Analisis Perhitungan Tebal Lapis Tambahan (Overlay) Pada Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Di Ruas Jalan Wolter Monginsidi (Dalam Kota Bitung) Sta 0+000 - Sta 0+400 Tahun 2021. *Tekno*, 20(82), 732–736.
- Sukirman, S., 1999. *Perkerasan lentur jalan raya*. Bandung: Badan Penerbit Nova.
- Syabana, F., & Mahardi, P. (2024). Evaluasi Kondisi Perkerasan Dan Rencana Penanganan Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan Balik Di Ruas Kejayan-Purwosari, Pasuruan. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 2(3), 230–242.
- Syam, I.M.A., 2007. *Perencanaan tebal lapis tambahan (overlay) dan analisis biaya konstruksi berdasarkan metode Benkelman Beam (studi kasus Jalan Yogyakarta–Bantul)*.
- Yunus, A. I., Suyadi, S., Priana, S. E., Roring, H. S. D., Kaharu, A., Achmad, F., ... & Santoso, T. B. (2025). Transportasi Perkerasan Jalan. In *CV. Gita Lentera*. CV. Gita Lentera.