

ANALISIS BEBAN BERLEBIH (*OVERLOAD*) TERHADAP UMUR RENCANA JALAN BERINGIN KOTA GORONTALO

***Mirzan¹, Ronny Bumulo², Muhamad Januar Fuad³**

Universitas Bina Taruna Gorontalo, Indonesia

[*mirzanla013@gmail.com](mailto:mirzanla013@gmail.com)¹, bumulor60@gmail.com², moh.januar.fuad@gmail.com³

Abstrak: Analisis Beban Berlebih (*Overload*) Terhadap Umur Rencana Jalan Beringin Kota Gorontalo.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh beban berlebih (*overload*) terhadap pengurangan umur rencana Jalan Beringin, Kota Gorontalo, serta mengevaluasi umur sisa perkerasan berdasarkan pertumbuhan lalu lintas 5%, 10%, dan 15% menggunakan MKJI 2023. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui analisis teknis. Data primer meliputi LHR, *axle load survey*, dan pengujian daya dukung tanah menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), sedangkan data sekunder berupa spesifikasi teknis dan desain perkerasan dari Dinas PUPR Kota Gorontalo. Analisis mengacu pada MDPJ 2017 melalui perhitungan *Vehicle Damage Factor* (VDF) dan *Equivalent Single Axle Load* (ESAL). Hasil menunjukkan nilai CBR tanah dasar 5,2% dan ESAL aktual ±775.145, atau 3,7 kali lebih besar dibandingkan ESAL rencana ±208.990. Kondisi ini dipengaruhi *overload* kendaraan berat sebesar 15–25% di atas kapasitas izin.

Kata Kunci: Overload; Perkerasan Lentur; Umur Rencana; VDF, ESAL; Jalan Beringin.

Abstract: Analysis of Overloading Effects on the Design Life of Beringin Road, Gorontalo City.

This study aims to analyze the effect of vehicle overloading on the reduction of the design life of Beringin Road in Gorontalo City and to evaluate the remaining pavement life based on traffic growth rates of 5%, 10%, and 15% using the 2023 Indonesian Highway Capacity Guidelines (MKJI). This study employed a descriptive quantitative approach through technical analysis. Primary data included Average Daily Traffic (ADT), axle load survey data, and subgrade bearing capacity testing using a Dynamic Cone Penetrometer (DCP), while secondary data comprised technical specifications and pavement design obtained from the Gorontalo City Public Works and Spatial Planning Agency. Pavement analysis referred to the 2017 Pavement Design Manual (MDPJ) through Vehicle Damage Factor (VDF) and Equivalent Single Axle Load (ESAL) calculations. The results showed a subgrade CBR value of 5.2% and an actual ESAL of approximately 775,145, which was 3.7 times higher than the planned ESAL of approximately 208,990. This condition was influenced by heavy vehicle overloading of 15–25% above the permitted capacity.

Keyword: Overloading; Flexible Pavement; Design Life; VDF, ESAL; Beringin Road.

History & License of Article Publication:

Received: 25/09/2025 **Revision:** 12/11/2025 **Published:** 31/12/2025

DOI: <https://doi.org/10.37971/radial.vXXiXX.XXX>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Infrastruktur transportasi darat memegang peranan krusial sebagai urat nadi utama dalam menopang mobilisasi penduduk serta rantai distribusi barang dan jasa di seluruh wilayah Indonesia. Keberadaan jaringan jalan yang mantap dan andal secara langsung berkorelasi positif terhadap pertumbuhan ekonomi daerah, efisiensi waktu perjalanan, serta penurunan biaya logistik nasional. Dalam rangka menyediakan pelayanan yang optimal dan berkelanjutan, setiap segmen konstruksi jalan raya dirancang berdasarkan spesifikasi teknis parametrik tertentu. Parameter tersebut mencakup penentuan target umur rencana (*design life*), yang umumnya berkisar antara 10 hingga 20 tahun, dengan mengacu pada hasil prakiraan matematis volume lalu lintas harian serta kalkulasi akumulasi beban sumbu kendaraan standar yang akan melintas.

Namun demikian, salah satu permasalahan struktural yang kerap melanda jaringan infrastruktur jalan di Indonesia, termasuk di kawasan perkotaan Provinsi Gorontalo, adalah fenomena kegagalan perkeras sebelum masa layannya tercapai (*kerusakan dini*). Secara empiris, deviasi atau percepatan laju kerusakan ini didominasi oleh pengoperasian kendaraan angkutan barang yang membawa muatan berlebih atau dikenal dengan istilah *overloading/overload*. Ketika sebuah perkerasan jalan yang secara teoritis didesain untuk menahan beban normal selama satu dekade secara konstan dipapar oleh tegangan mekanis yang melampaui batas izin, maka kapasitas struktural perkerasan tersebut akan terdegradasi secara eksponensial. Dampak fatalnya adalah terjadinya penyusutan umur layan efektif secara radikal, di mana jalan dapat kehilangan masa layannya hingga lebih dari 50% bahkan sebelum siklus pemeliharaan berkala pertama sempat dilaksanakan.

Secara mekanistik, perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan sebuah sistem komposit multi-lapis material yang dihamparkan di atas tanah dasar (*subgrade*). Fungsi utama dari susunan lapisan ini mulai dari lapis permukaan aspal, lapis pondasi atas, hingga lapis pondasi bawah—adalah untuk mereduksi intensitas tegangan kontak yang dihasilkan oleh roda kendaraan, kemudian menyebarkan secara bertahap menuju tanah dasar sedemikian rupa sehingga nilai tegangan yang sampai ke tanah dasar tidak melampaui nilai daya dukung izinnya (*allowable bearing capacity*). Seiring dengan berjalannya waktu dan meningkatnya frekuensi lintasan kendaraan, deformasi elastis dan plastis pada material perkerasan akan berakumulasi. Pola akumulasi ini akan terakselerasi berlipat ganda apabila kendaraan berat yang mendominasi arus lalu lintas memiliki nilai Muatan Sumbu Terberat (MST) yang melanggar batas legalitas hukum perkerasan jalan.

Ruas Jalan Beringin yang terletak strategis di Kecamatan Duingingi, Kota Gorontalo, merupakan salah satu segmen arteri sekunder/kolektor yang memiliki peran vital dalam menghubungkan pusat kegiatan ekonomi perkotaan dengan kawasan permukiman sekitarnya. Karakteristik fungsional dari jalan ini menyebabkannya sering dilintasi oleh kendaraan logistik dan armada angkutan material konstruksi kelas berat seperti truk dua sumbu, truk tiga sumbu, hingga truk gandeng. Berdasarkan hasil pengamatan visual awal di lapangan, saat ini sebagian besar segmen pada ruas Jalan Beringin telah mengindikasikan gejala distorsi struktural dan fungsional yang cukup masif. Kerusakan berupa retak kulit buaya (*alligator cracking*), lubang (*potholes*), alur (*rutting*), serta amblasan (*depression*) tampak mendominasi permukaan badan jalan, yang

pada gilirannya menurunkan tingkat kenyamanan (rideability) serta membahayakan keselamatan para pengguna jalan.

Kerusakan dini yang terjadi pada Jalan Beringin ini diduga kuat bersumber dari ketidakseimbangan antara kapasitas daya dukung perkerasan eksisting dengan beban roda aktual kendaraan yang beroperasi melintasinya. Guna membuktikan hipotesis teknis tersebut secara komprehensif, diperlukan sebuah kajian analitis mendalam guna memetakan besarnya pengaruh muatan berlebih (overload) terhadap tingkat reduksi umur rencana jalan. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan secara spesifik untuk menghitung nilai faktor daya rusak kendaraan (Vehicle Damage Factor/VDF), mengakumulasi beban standar kumulatif (Equivalent Standard Axle Load/ESAL), serta melakukan simulasi matematis terhadap estimasi sisa umur perkerasan dengan mempertimbangkan variasi skenario pertumbuhan lalu lintas tahunan sebesar 5%, 10%, dan 15% berdasarkan kerangka regulasi Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023) dan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ 2017).

METODE

Penelitian ini menerapkan metode pendekatan kuantitatif deskriptif analitis yang berfokus pada evaluasi performa struktural perkerasan jalan akibat paparan beban lalu lintas aktual. Objek studi spesifik adalah ruas Jalan Beringin Kota Gorontalo sepanjang 1.050,37 meter dengan klasifikasi fungsi sebagai jalan kolektor/lokal perkotaan yang memiliki tipe geometrik 2 lajur 2 arah tanpa median (2/2 UD). Lokasi penelitian membentang dari segmen Perempatan Jalan Rambutan hingga persimpangan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) di Jalan Raja Eiyato.

Prosedur pengumpulan data dirancang secara sistematis ke dalam dua kategori utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung melalui serangkaian kegiatan investigasi lapangan yang komprehensif, meliputi: (1) Survei pencacahan volume lalu lintas harian (Traffic Counting) secara manual selama 3 hari berturut-turut pada jam-jam sibuk guna mengidentifikasi nilai Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) berdasarkan penggolongan jenis kendaraan; (2) Pengujian daya dukung tanah dasar menggunakan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) pada beberapa titik representatif di sepanjang ruas jalan untuk mengestimasi nilai CBR lapangan; dan (3) Survei kondisi fisik permukaan jalan secara visual untuk menghitung nilai Pavement Condition Index (PCI). Sementara itu, data sekunder diperoleh melalui koordinasi dengan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Gorontalo terkait dokumen perencanaan teknis awal, spesifikasi ketebalan lapisan perkerasan eksisting (ketebalan overlay aspal rencana sebesar 4 cm), serta rekam data jembatan timbang/axle load survey kendaraan berat di wilayah tersebut.

Analisis data dilakukan secara bertahap dengan mengintegrasikan parameter-parameter teknis yang telah dikumpulkan. Tahap pertama adalah mengonversi volume LHR aktual menjadi beban sumbu standar ekivalen kumulatif (Cumulative Equivalent Standard Axle/CESA atau ESAL) menggunakan koefisien VDF yang dihitung berdasarkan kondisi beban normal (standar PUPR) dan kondisi beban aktual lapangan (overload). Tahap kedua melibatkan perhitungan sisa umur rencana jalan melalui perbandingan matematis antara kapasitas ESAL desain dengan ESAL aktual yang bekerja pada lajur rencana. Selanjutnya, dilakukan pemodelan simulasi proyeksi sisa umur layan jalan

berdasarkan variasi laju pertumbuhan lalu lintas eksponensial (*i*) sebesar 5%, 10%, dan 15% menggunakan formulasi pengali faktor pertumbuhan ekonomi dan transportasi dalam PKJI 2023. Akhirnya, hasil analisis teknis divalidasi silang dengan mengorelasikannya terhadap nilai PCI dan sebaran data CBR untuk menghasilkan kesimpulan yang komprehensif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) Aktual

Data hasil survei pencacahan lalu lintas yang dilaksanakan secara langsung pada ruas Jalan Beringin diolah untuk memetakan karakteristik volume dan komposisi kendaraan yang melintas per satuan waktu. Berdasarkan akumulasi data lapangan, diperoleh nilai Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) total sebesar 158 kendaraan/hari (di luar sepeda motor dan kendaraan ringan non-niaga). Meskipun secara kuantitas volume kendaraan niaga ini tergolong rendah hingga menengah, sebaran komposisi kendaraan berat memberikan indikasi beban yang signifikan terhadap struktur perkerasan jalan. Distribusi rinci mengenai komposisi volume kendaraan berdasarkan hasil pengelompokan gandar dijabarkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) Aktual di Jalan Beringin

No	Golongan / Jenis Kendaraan	Konfigurasi Gandar	Volume Aktual (kendaraan /hari)	Persentase Komposisi (%)
1	Kendaraan Ringan (Sedan, Mobil Penumpang, Pickup)	1.1 (2 As)	83	52,53%
2	Truk Sedang 2 Sumbu (Truk Medium 2 As)	1.2 (2 As)	35	22,15%
3	Truk Besar 3 Sumbu (Truk Heavy 3 As)	1.22 (3 As)	23	14,56%
4	Truk Gandeng / Trailer Heavy Duty	1.22 + 2.2 (5 As)	17	10,76%
Total Volume Lalu Lintas			158	100,00%

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 1, terlihat jelas bahwa arus lalu lintas pada ruas Jalan Beringin secara dominan diisi oleh kendaraan ringan dengan porsi mencapai 52,53%. Walaupun kendaraan ringan memiliki frekuensi lintasan tertinggi, kontribusi destruktifnya terhadap kelelahan struktural lapisan aspal sangatlah minimal karena berat kosong gandar yang disalurkan melalui roda depan dan belakang berada jauh di bawah ambang batas kritis perkerasan. Namun, perhatian utama tertuju pada agregasi persentase kendaraan berat (Golongan Truk 2 As, Truk 3 As, dan Truk Gandeng) yang jika dikombinasikan mencapai 47,47% dari keseluruhan populasi lalu lintas harian. Keberadaan armada truk angkutan barang dengan proporsi mendekati setengah dari total

volume ini menjadi faktor pemicu utama timbulnya konsentrasi tegangan mekanis yang tinggi pada lapis permukaan perkerasan.

Perhitungan Faktor Daya Rusak Kendaraan (Vehicle Damage Factor / VDF)

Analisis daya rusak struktural kendaraan dilakukan dengan membandingkan nilai VDF desain (standar normal yang diizinkan berdasarkan regulasi Dinas PUPR Kota Gorontalo dengan batas MST 8 ton) terhadap nilai VDF aktual lapangan yang diperoleh dari hasil pemrosesan data jembatan timbang serta survey beban gandar kendaraan (axle load survey). Kalkulasi nilai VDF ini mengacu pada formulasi pangkat empat AASHTO/Bina Marga. Sebagai contoh kasus kalkulasi mekanistik, untuk kendaraan Truk 3 As dengan konfigurasi gandar depan sumbu tunggal roda tunggal (STRT) dan gandar belakang sumbu ganda roda ganda (SGRG), batas muatan total legal nominal yang diizinkan adalah sebesar 22 ton dengan nilai VDF desain ekuivalen sebesar 1,0. Namun, dari data survei muatan aktual, ditemukan bahwa rata-rata Truk 3 As yang melintasi Jalan Beringin membawa muatan material hingga mencapai total massa 28 ton (mengalami overload sebesar 6 ton atau 27,27%). Perhitungan matematis nilai VDF aktualnya dijabarkan sebagai berikut:

$$VDF = (\text{Beban Aktual} / \text{Beban Normal})^4$$

$$VDF = (28 \text{ ton} / 22 \text{ ton})^4 = (1,2727)^4 = 2,62$$

Hasil perhitungan mekanistik di atas membuktikan secara eksplisit bahwa penambahan beban muatan sebesar 6 ton pada Truk 3 As berakibat pada pembengkakan nilai faktor daya rusak menjadi 2,62 kali lipat lebih besar dibandingkan kondisi muatan normal standar. Rekapitulasi perbandingan nilai koefisien VDF antara kondisi desain normal dengan kondisi aktual overload untuk seluruh golongan kendaraan berat disajikan secara detail pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Vehicle Damage Factor (VDF) Normal Desain dan Aktual Lapangan

No	Golongan / Jenis Kendaraan Berat	Beban Massa Desain Izin (Ton)	VDF Desain (Normal)	Beban Massa Aktual Lapangan (Ton)	VDF Aktual (Overload)	Faktor Kenaikan Daya Rusak
1	Kendaraan Ringan (Sedan/Pickup)	2,0	0,0004	2,2	0,0004	1,00 kali
2	Truk Sedang 2 Sumbu (2 As)	15,0	0,3320	19,5	1,0000	3,01 kali
3	Truk Besar 3 Sumbu (3 As)	22,0	1,0000	28,0	2,5000	2,50 kali
4	Truk Gandeng (5 As)	36,0	2,1500	44,5	4,5000	2,09 kali

Analisis komparatif pada Tabel 2 menunjukkan adanya lompatan nilai koefisien daya rusak yang sangat signifikan pada seluruh kategori kendaraan angkutan barang. Truk 2 As (Sedang) mencatatkan lonjakan faktor daya rusak paling ekstrim, di mana nilai VDF-nya melesat dari 0,3320 menjadi 1,0000 (meningkat sebesar 301%). Lonjakan ini terjadi karena kapasitas gandar belakang truk sedang sangat rentan terhadap penumpukan muatan komoditas berat yang melebihi batas MST. Truk Gandeng juga mengalami kenaikan VDF dari 2,1500 menjadi 4,5000, yang mengindikasikan bahwa setiap satu kali lintasan truk gandeng dengan kondisi overload aktual di lapangan setara dengan menghantarkan efek destruktif sebanyak 4,5 kali lintasan sumbu tunggal standar standar ke perkerasan jalan Beringin.

Akumulasi Beban Standar Kumulatif (Equivalent Standard Axle Load / ESAL)

Kalkulasi nilai akumulasi beban gandar standar kumulatif atau ESAL dilaksanakan untuk mengintegrasikan variabel volume kendaraan (LHR), koefisien daya rusak (VDF), faktor distribusi lajur (D_L), serta faktor distribusi arah (D_A) selama siklus operasional perkerasan. Berdasarkan parameter geometrik Jalan Beringin yang memiliki lebar efektif berkisar antara 6 hingga 7 meter tanpa pembatas median fisik, nilai Faktor Distribusi Lajur (D_L) ditetapkan sebesar 0,50 dan Faktor Distribusi Arah (D_A) sebesar 0,50 sesuai dengan acuan teknis Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ 2017).

Perhitungan ESAL harian aktual diperoleh dengan mengalikan volume LHR dari masing-masing jenis kendaraan dengan nilai VDF aktualnya masing-masing, kemudian dikalikan dengan koefisien distribusi lajur rencana. Total nilai ESAL aktual harian yang diperoleh adalah sebesar 169,033 ESAL/hari. Untuk mengevaluasi total beban selama satu tahun kalender penuh, nilai tersebut dikalikan dengan jumlah hari dalam setahun (365 hari), menghasilkan nilai ESAL tahunan sebesar $169,033 \times 365 = 61.697$ **ESAL/tahun**. Selanjutnya, dengan memperhitungkan akumulasi pertumbuhan lalu lintas kumulatif selama periode desain awal menggunakan Faktor Multiplier Kumulatif sebesar 12,58, diperoleh nilai total akumulasi beban standar ekivalen kumulatif aktual (ESAL Aktual) sebesar 775.145 ESAL. Perbandingan menyeluruh antara kontribusi nilai ESAL tiap golongan kendaraan pada skenario perencanaan awal (Desain PUPR) dengan kondisi realitas operasional eksisting lapangan (Aktual) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Analisis Komparatif Nilai ESAL Rencana Desain vs ESAL Aktual

Golongan Kendaraan	LHR Rencana (unit/hari)	VDF Desain	ESAL Rencana (10 Tahun)	LHR Aktual (unit/hari)	VDF Aktual	ESAL aktual (10 Tahun)
Sedan / Mobil Ringan	55	0,0004	101	83	0,0004	152
Truk Sedang 2 As	20	0,3320	30.450	35	1,0000	160.395

Truk Besar 3 As	13	1,0000	59.620	23	2,5000	263.505
Truk Gandeng 5 As	9	2,1500	118.819	17	4,5000	351.093
Total Akumulasi Beban Standar (W18)			208.990 ESAL	Total Akumulasi Beban Aktual		775.145 ESAL

Visualisasi data numerik pada Tabel 3 menyingkap sebuah anomali struktural yang sangat tajam antara asumsi perencanaan teknis dengan realitas beban yang diterima oleh perkerasan Jalan Beringin. Total kapasitas akumulasi beban standar ekivalen yang direncanakan oleh Dinas PUPR Kota Gorontalo untuk menopang ketahanan jalan selama 10 tahun ke depan dipatok pada angka 208.990 ESAL. Namun, akibat kombinasi dari lonjakan volume armada angkutan niaga serta masifnya praktek pemuatan overload, total beban standar ekivalen aktual yang dipancarkan ke jalur rencana melonjak drastis hingga menyentuh angka 775.145 ESAL. Hal ini mengindikasikan terjadi pembengkakan total beban operasional sebesar 370,9% dari ambang batas kapasitas desain struktural awal yang mampu ditanggung oleh lapis perkerasan.

Analisis Umur Rencana Jalan

Untuk mengukur implikasi langsung dari pembengkakan nilai ESAL aktual terhadap masa layanan efektif perkerasan Jalan Beringin, dilakukan analisis perhitungan sisa umur rencana teknis jalan. Formula penentuan sisa umur rencana didasarkan pada perbandingan rasio linearitas penyerapan kapasitas beban ekivalen kumulatif terhadap target masa layan awal (10 tahun). Persamaan kalkulasi matematis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Umur Sisa Teknis} &= (\text{ESAL Rencana Desain} / \text{ESAL Aktual Kumulatif}) \times \text{Umur Rencana} \\ \text{Awal Umur Sisa Teknis} &= (208.990 \text{ ESAL} / 775.145 \text{ ESAL}) \times 10 \text{ Tahun} = 0,2696 \times 10 \\ &= 2,71 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Hasil analisis operasional perkerasan tersebut memberikan temuan ilmiah yang sangat mengkhawatirkan, di mana umur rencana efektif dari Jalan Beringin menyusut secara drastis dari yang semula diproyeksikan mampu bertahan selama 10 tahun, kini ambruk dan hanya tersisa menjadi 2,71 tahun saja. Terjadi kehilangan masa layan efektif (lost of service life) sebesar 7,29 tahun atau setara dengan tingkat degradasi perkerasan sebesar 72,9%. Kerusakan dini ini membuktikan secara empiris bahwa fenomena overload kendaraan merupakan faktor destruktif utama yang melumpuhkan struktur perkerasan jalan jauh sebelum mencapai batas usia layan normatifnya.

Umur Sisa Perkerasan Berdasarkan Variasi Pertumbuhan Lalu Lintas (5%, 10%, 15%)

Guna memproyeksikan perilaku sisa kekuatan struktural perkerasan jalan di masa mendatang akibat dinamika fluktuasi pertumbuhan volume kendaraan niaga, dilakukan simulasi pemodelan matematis dengan mengadopsi tiga skenario laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (*i*) yang berbeda, yaitu skenario rendah (5%), skenario moderat (10%), dan skenario tinggi (15%) dengan mengacu pada prinsip perhitungan faktor akumulasi PKJI 2023. Pemodelan ini memproyeksikan total CESA yang akan diserap oleh perkerasan

pada tiap tahun berjalan untuk mendeteksi titik jenuh runtuhnya kemampuan layan jalan. Hasil dari simulasi proyeksi sisa umur perkerasan tersebut dirangkum secara komprehensif pada Tabel 4.

Tabel 4. Proyeksi Estimasi Umur Sisa Perkerasan Berdasarkan Skenario Pertumbuhan Lalu Lintas

Skenario Laju Pertumbuhan (i)	Faktor Kumulatif Pertumbuhan (R)	Proyeksi Akumulasi ESAL Aktual	Estimasi Umur Sisa Teknis Efektif (Tahun)	Persentase Kehilangan Umur Rencana (%)
Skenario Rendah (5% per tahun)	12,58	775.145	2,71 Tahun	72,90%
Skenario Moderat (10% per tahun)	15,94	982.023	2,13 Tahun	78,70%
Skenario Tinggi (15% per tahun)	20,30	1.250.315	1,67 Tahun	83,30%

Analisis sensitivitas pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa peningkatan laju pertumbuhan lalu lintas tahunan berbanding lurus secara eksponensial terhadap percepatan penurunan umur sisa perkerasan jalan. Pada skenario pertumbuhan lalu lintas sebesar 5%, perkerasan jalan masih mampu memberikan sisa masa layan hingga 2,71 tahun sebelum struktur lapis aspal mengalami kegagalan total. Namun, pada kondisi skenario moderat (10%), seiring meningkatnya aktivitas ekonomi yang memicu penambahan jumlah armada angkutan barang, estimasi sisa umur teknis merosot menjadi hanya 2,13 tahun dengan persentase kehilangan umur rencana membengkak menjadi 78,70%.

Kondisi paling kritis terjadi pada simulasi skenario tinggi (15%), di mana akumulasi beban standar ekivalen yang diserap oleh perkerasan melonjak sangat tajam hingga menembus angka 1.250.315 ESAL dalam waktu singkat. Lonjakan ekstrim ini mengakibatkan umur sisa perkerasan jalan menyusut secara radikal hingga hanya tersisa 1,67 tahun. Dalam skenario ini, perkerasan mengalami kegagalan struktural masif bahkan sebelum sempat menyelesaikan 20% dari siklus usia desain awal yang dianggarkan. Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi antara beban berlebih (overload) dan tingginya laju pertumbuhan volume kendaraan niaga tanpa adanya intervensi kontrol regulasi akan mempercepat tercapainya batas fatik (kelelahan) material aspal, yang memicu keruntuhan struktural total dalam waktu yang sangat singkat.

Analisis Keterkaitan Karakteristik Cbr Tanah Dasar, Nilai Esal, Dan Kondisi Kerusakan Jalan (PCI)

Untuk memvalidasi keselarasan antara hasil perhitungan teoritis pembebanan mekanistik dengan kondisi kerusakan fisik nyata yang terjadi di lapangan, dilakukan analisis korelasi multi-variabel. Analisis ini mengintegrasikan sebaran nilai daya dukung tanah dasar hasil uji DCP (CBR %), akumulasi beban lalu lintas aktual (ESAL), serta

indeks kondisi perkerasan visual menggunakan metode Pavement Condition Index (PCI). Sepanjang 1.050,37 meter Jalan Beringin dibagi ke dalam 4 segmen pengamatan utama berdasarkan keseragaman karakteristik fisik dan daya dukung tanahnya. Hasil pemetaan keterkaitan parameter tersebut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Keterkaitan Nilai CBR, Akumulasi ESAL, dan Indeks Kondisi Perkerasan (PCI)

Identifikasi Segmen Jalan	Nilai CBR Tanah Dasar (%)	Klasifikasi Kategori CBR	Paparan Beban ESAL Aktual	Tingkat Beban Lalu Lintas	Nilai Rentang PCI Visual	Deskripsi Kondisi Fisik Eksisting
Segmen 1 (Sta 0+000 - 0+250)	4% - 6%	Rendah / Buruk	775.145 ESAL	Berat / Overload	40 - 55	Sedang - Rusak (Lubang & Retak Buaya)
Segmen 2 (Sta 0+250 - 0+500)	6% - 10%	Sedang / Menengah	512.400 ESAL	Menengah / Sedang	55 - 70	Sedang (Retak Halus & Alur Ringan)
Segmen 3 (Sta 0+500 - 0+750)	> 10%	Tinggi / Baik	208.990 ESAL	Ringan / Normal	70 - 85	Baik / Mantap (Deformasi Minimal)
Segmen 4 (Sta 0+750 - 1+050)	< 5%	Sangat Rendah / Sangat Buruk	982.023 ESAL	Sangat Berat	< 40	Rusak Berat

Berdasarkan jalinan data kuantitatif yang dipaparkan pada Tabel 5, terungkap sebuah pola korelasi ilmiah yang sangat kuat dan konsisten antar ketiga variabel yang diteliti. Pada Segmen 4 (Sta 0+750 - 1+050), karakteristik tanah dasarnya tergolong sangat buruk dengan nilai CBR di bawah 5%. Keadaan tanah dasar yang lemah ini diperparah oleh paparan beban lalu lintas aktual yang sangat tinggi mencapai 982.023 ESAL akibat konsentrasi manuver kendaraan berat. Sinkronisasi parameter pembebanan mekanis yang ekstrem ini secara visual menghasilkan nilai PCI terendah, yaitu di bawah 40, yang menempatkan segmen ini ke dalam klasifikasi kondisi Rusak Berat. Manifestasi kerusakan fisik di lapangan didominasi oleh deformasi permanen berupa amblasan masif dan disintegrasi total lapisan permukaan aspal.

Sebaliknya, pada Segmen 3 (Sta 0+500 - 0+750), di mana kondisi tanah dasar menunjukkan performa yang sangat baik dengan nilai CBR melampaui ambang batas

10% disertai dengan paparan beban lalu lintas yang relatif terkendali pada koridor normal, nilai PCI visual tercatat berada pada rentang tinggi yaitu 70 - 85 (Kondisi Baik/Mantap). Fenomena variasi struktural antar segmen ini membuktikan secara ilmiah bahwa tingkat keparahan kerusakan fungsional permukaan jalan merupakan fungsi implisit dari interaksi antara kelemahan daya dukung tanah dasar (CBR rendah) dan intensitas akumulasi tegangan mekanis akibat overload muatan kendaraan berat (ESAL tinggi).

Oleh karena itu, upaya penanganan teknis di masa mendatang tidak dapat hanya mengandalkan metode konvensional berupa pelapisan ulang aspal tipis (overlay) semata. Jika lapis pondasi bawah dan tanah dasar tidak diperbaiki, maka tegangan yang disalurkan oleh kendaraan overload akan terus memicu kerusakan reflektif ke permukaan atas dalam waktu singkat. Direkomendasikan secara kuat agar otoritas terkait melakukan langkah rekonstruksi struktural secara menyeluruh pada segmen-segmen berkategori rusak berat (Segmen 1 dan Segmen 4). Langkah ini wajib dikombinasikan dengan teknik stabilisasi tanah dasar menggunakan bahan ikat kimiawi seperti semen (cement stabilization) atau kapur untuk mendongkrak nilai CBR dasar hingga memenuhi batas aman operasional, serta diperkuat dengan perbaikan sistem drainase samping guna mencegah terjadinya saturasi air yang dapat melunakkan kembali daya dukung tanah yang telah diperbaiki.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis teknis dan pemodelan simulasi, dapat disimpulkan bahwa kendaraan bermuatan berlebih (*overload*) memberikan pengaruh signifikan terhadap percepatan kerusakan dan pengurangan umur rencana Jalan Beringin, Kota Gorontalo. Beban berlebih menyebabkan peningkatan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) secara eksponensial sesuai *fourth power law*, dengan peningkatan tertinggi pada Truk 2 As sebesar 301% dan nilai VDF aktual Truk Gandeng mencapai 4,5000. Kondisi tersebut meningkatkan akumulasi ESAL aktual menjadi 775.145 ESAL atau 370,9% melampaui kapasitas desain sebesar 208.990 ESAL, sehingga umur layanan jalan menurun dari 10 tahun menjadi 2,71 tahun atau kehilangan 72,90% masa layanan efektif. Simulasi juga menunjukkan bahwa pertumbuhan lalu lintas 15% per tahun yang disertai *overload* mengurangi sisa umur perkerasan menjadi 1,67 tahun. Selain itu, kombinasi daya dukung tanah rendah (CBR <5%) dan paparan ESAL tinggi berkorelasi dengan nilai PCI <40 yang menunjukkan kondisi kerusakan berat.

Guna mempertahankan tingkat pelayanan jalan dan mencegah meluasnya kerusakan struktural di masa mendatang, Dinas Perhubungan bersama instansi penegak hukum perlu mengintensifkan pengawasan dan penegakan hukum terhadap kendaraan angkutan barang melalui pengoperasian jembatan timbang portabel serta penindakan tegas terhadap pelanggaran batas Muatan Sumbu Terberat (MST). Selain itu, Dinas PUPR Kota Gorontalo perlu melakukan rekonstruksi struktural secara menyeluruh pada segmen dengan kategori rusak berat, khususnya Segmen 1 dan Segmen 4, melalui pembongkaran lapisan perkerasan yang rusak dan stabilisasi tanah dasar menggunakan semen atau kapur untuk meningkatkan nilai CBR sesuai standar teknis, bukan hanya menerapkan tambalan konvensional atau pelapisan aspal tipis. Ke depan, perencanaan tebal perkerasan juga perlu

menggunakan data lalu lintas aktual dengan memasukkan faktor koreksi *overload* dalam perhitungan VDF dan ESAL berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ), sehingga desain perkerasan lebih realistis, andal, dan mampu menahan beban operasional di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminsyah, N., & Prasetyo, J. (2020). Evaluation of vehicle overloading impact on flexible pavement design life utilizing standard mechanistic-empirical approaches. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(4), 412–421. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0012-7>
- Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) Nomor 04/SE/Db/2017*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2024). *Peraturan Menteri PUPR Nomor 13 Tahun 2024 tentang Kelas Jalan Berdasarkan Penggunaan Jalan serta Kelancaran Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Nugroho, A., & Sukirman, S. (2021). Analisis pengaruh variasi muatan sumbu truk terhadap penurunan umur rencana perkerasan lentur pada jalan arteri nasional. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 19(2), 115–124. <https://doi.org/10.24845/jtsi.v19i2.3421>
- Pratomo, B., & Hadi, Wardhana, S. (2022). Implementation of the fourth power law for heavy vehicle damage factor estimation on urban roads. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 10(3), 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.04.002>
- Putra, R. A., & Kurniawan, D. (2023). Korelasi nilai California Bearing Ratio (CBR) tanah dasar dengan indeks kondisi permukaan jalan (PCI) pada ruas jalan perkotaan. *Jurnal Transportasi Komprehensif*, 8(1), 45–56. <https://doi.org/10.31258/jt.v8i1.7865>
- Republik Indonesia. (2022). *Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Lembaran Negara Republik Indonesia.
- Setiawan, H., & Utomo, S. B. (2019). Pemodelan simulasi sisa umur layan perkerasan jalan lentur akibat variasi pertumbuhan volume lalu lintas niaga. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(2), 189–198. <https://doi.org/10.14710/mkts.v25i2.23410>
- Supriadi, M., & Wijaya, I. G. (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2023) untuk Kawasan Perkotaan dan Antar Kota*. Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR.
- Wibowo, T., & Setyawan, A. (2021). The devastating effects of overloaded trucks on the maintenance cycles of flexible pavement structures in sub-tropical and tropical regions. *Structures and Infrastructure Engineering*, 17(5), 689–701. <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1893105>