

PENGARUH KENDARAAN *OVERLOAD* TERHADAP UMUR RENCANA PADA STRUKTUR *FLEXIBLE PAVEMENT* JALAN TOLL JORR E JAKARTA

Johanson Pardomuan Pardede¹, Leksmono Suryo Putranto², dan Hendrik Sulistio³

¹Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
Acon.p66@gmail.com

²Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
lexy_putranto@yahoo.co.id

³Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
hendriks@ft.untar.ac.id

Masuk: 16-05-2024, revisi: 02-06-2024, diterima untuk diterbitkan: 07-06-2024

ABSTRACT

Toll roads are important and affect people's lives. This can be seen by the growth of new industrial areas, which means an increase in heavy vehicles passing through toll roads to enter industrial areas, including overloaded vehicles. JORR Toll Road Section E makes it possible for overloaded vehicles to pass to industrial areas in the Cakung area. Vehicles with more weight are likely to damage the road and reduce the life of plans that have been designed by previous planners. The aim of this research is to determine the impact of overloading on the planned life of the JORR E3 (Cakung-Cilincing) toll road. Based on the overload calculation, the equivalent figure is 12,351,436, causing a decrease in the planned life of the road by 6.375% or 2.55 years, the remaining 15 year planned life in 2038. Based on the results of these calculations, it can be concluded that excess weight causes a decrease in the design life of the road and has an impact on toll road pavement.

Keywords: Toll roads; heavy vehicles; cargo; VDF; ESAL; CESA

ABSTRAK

Jalan tol menjadi hal yang penting dan mempengaruhi kehidupan masyarakat, dengan bertumbuhnya ekonomi bertumbuh pula pengguna jalan tol dari pengusaha. Hal ini bisa terlihat dengan tumbuhnya kawasan industri baru yang berarti bertambahnya kendaraan berat yang melewati jalan tol untuk masuk ke dalam kawasan industri, termasuk kendaraan yang kelebihan beban. Salah satunya Tol JORR Seksi E banyak dilewati kendaraan berat untuk masuk ke kawasan industri di daerah cakung. Kendaraan dengan beban lebih diperkirakan dapat merusak jalan tol dan mengurangi umur Rencana yang sudah dirancang oleh perencana sebelumnya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dampak yang timbul akibat kelebihan muatan terhadap umur Rencana jalan tol JORR seksi E3 (Cakung-Cilincing). Berdasarkan perhitungan muatan lebih didapat angka ekuivalen 12.351.436 sehingga menyebabkan penurunan umur rencana jalan 6,375 % atau 2,55 tahun sisa umur rencana 15 tahun pada tahun 2038. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan kelebihan berat menyebabkan penurunan umur rencana jalan dan berdampak terhadap Perkerasan jalan tol.

Kata kunci: Jalan tol; kendaraan berat; muatan; VDF; ESAL; CESA

1. PENDAHULUAN

Salah satu alasan dibangunnya jalan tol adalah untuk menghubungkan dari kota besar menuju kota yang lebih kecil dengan waktu singkat dan efisien biaya sehingga aksesibilitas perekonomian daerah juga meningkat. Pemerintah fokus membangun infrastruktur jalan tol di seluruh pulau di Indonesia (Sumaryoto, 2018).

Umur rencana jalan tol menjadi masalah mengingat banyaknya kendaraan dengan beban lebih (Atmanegara, 2017) sehingga menyebabkan kekuatan jalan menurun dan kualitas jalan menjadi kurang baik seiring bertambahnya umur jalan. Umur jalan tol akan baik apabila mempunyai kualitas pelayanan yang baik. Menurunnya tingkat pelayanan jalan tol ditandai dengan semakin rusaknya lapisan permukaan jalan, akibat adanya beban lebih kendaraan yang terus menerus melewati jalan tol. Kondisi permukaan jalan yang rusak dapat mempengaruhi keselamatan, kenyamanan dan kelancaran lalu lintas (Fikri, 2016).

Kelebihan muatan menjadi salah satu faktor berkurangnya umur rencana jalan akibat faktor beban kendaraan yang melewati jalan tol tersebut (Batubara, 2023). Banyak kendaraan yang kelebihan beban mengangkut material berlebih, sehingga mengurangi daya dukung jalan, menyebabkan pengendaraan tidak stabil, kecepatan rendah, menghalangi kendaraan untuk lewat, dan berdampak serius pada kecelakaan lalu lintas (Fikri, 2016).

Dalam hal ini, pemerintah akan menerapkan peraturan yang menyatakan *zero* odol di jalan tol (Atmajaya, 2022) untuk itu melalui otoritas jalan tol disarankan untuk menerapkan penggunaan WIM (*weight in motion*) oleh pengelola jalan tol, dalam hal ini Jasamarga, khususnya dalam bentuk jembatan bergerak. WIM merupakan alat penimbangan bergerak yang dirancang untuk mengawasi beban kendaraan yang melintas dan mencatat berat gandar dan berat total kendaraan kelebihan beban, dengan sistem sensor yang mendeteksi dimensi, panjang, lebar, tinggi konfigurasi gandar dan berat kendaraan secara keseluruhan. WIM yang ada di Jakarta dioperasikan oleh pihak Jasamarga, dengan jumlah ada 7 salah satunya dipasang pada Tol JORR seksi E sebagai lokasi penelitian.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kendaraan berat (Anwar, 2021) terhadap memperpendek umur skema tol JORR E, mari kita gunakan data WIM (*weight in motion*) yang dikeluarkan pengelola jalan tol untuk mencari standar kapasitas beban gandar *equivalent single axle load* (ESAL), lalu dengan WIM kita dapat mengetahui berapa jumlah kendaraan dengan beban gandar standar (Burnos, 2016) yang melewati Tol JORR E melebihi titik beban gandar yang diperbolehkan. Dengan menghitung *vehicle damage factor* (VDF), untuk kendaraan berizin standar dan kendaraan overweight akan diketahui nilai ESAL masing-masing jenis kendaraan berdasarkan kelasnya, dihitung berdasarkan LHR hariannya sehingga dengan mengalikan VDF dan LHR Dapatkan nilai ESAL lalu dijumlahkan untuk mendapatkan nilai CESA (*cumulative equivalent standard axis*). Batasan masalah dalam penelitian ini untuk mengetahui perhitungan umur rencana Jalan Tol JORR E dengan perhitungan VDF, ESAL dan CESA didapat dari data LHR harian Jalan Tol JORR E. Tujuan penelitian ini untuk menghitung berapa besar VDF dari data LHR kendaraan berat baik yang diizinkan maupun yang *overload*, lalu mendapatkan total perhitungan CESA dari kendaraan berat yang memiliki beban sumbu standar baik yang diizinkan maupun yang *overload*.

2. METODE PENELITIAN

Kendaraan berat (*overloading*) merupakan salah satu faktor yang memperpendek umur suatu jalan, apabila kendaraan mempunyai beban gandar yang melebihi beban standar yang diperbolehkan. Kendaraan ODOL (*overload over dimension*) mempunyai dampak yang signifikan terhadap kerusakan jalan (Hasyim, 2021).

Kelebihan beban adalah suatu kondisi dimana beban kendaraan melebihi beban standar yang digunakan dalam asumsi desain kekerasan jalan atau jumlah rute operasional sebelum umur pengenal tercapai, atau sering disebut dengan kerusakan dini. Sedangkan umur kekerasan jalan yang diharapkan adalah banyaknya pengulangan beban lalu lintas (dalam satuan beban gandar ekuivalen, ESAL). Yang dapat dilayani melalui jalan raya sebelum terjadi kerusakan struktur pada lapisan perkerasan (Gumelar, 2022). Kerusakan jalan akan lebih cepat terjadi karena beban jalan melebihi daya dukungnya. Kerusakan ini hanya disebabkan oleh satu faktor yaitu pembebanan yang berlebihan.

Beban yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan jalan lebih cepat, terbebani oleh kendaraan yang membawa beban berlebih. Hal ini memungkinkan penghitungan CESA (*cumulative equipment single axle*) yang diinginkan dapat dicapai sebelum umur jalan tercapai. Umur rencana suatu perkerasan jalan adalah jumlah tahun sejak jalan dibuka untuk lalu lintas kendaraan sampai diperlukan perbaikan struktur atau sampai diperlukan lapisan aspal tambahan untuk menutupi ketidaksempurnaan pada lapisan aspal yang ada (permukaan) (Anisarida, 2020).

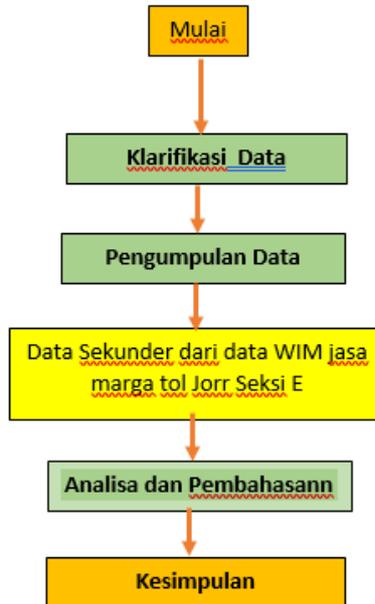
Pengaruh beban gandar kendaraan terhadap kerusakan umumnya disebut dengan *vehicle degradation factor* (VDF) (Pandey, 2013) VDF merupakan perbandingan tingkat kerusakan akibat beban gandar tunggal suatu kendaraan dalam sekali lintasan dengan standar beban gandar tunggal sebesar 8,16 ton (Apriyadi, 2018). Hal inilah yang menjadi dasar perhitungan terjadinya faktor kerusakan jalan akibat beban pada as kendaraan, menurut Burnos (2021), dari hasil penelitiannya diperoleh bentuk persamaan model yang setara. Untuk menghitung tingkat kerusakan perlu dilakukan penilaian terhadap kondisi perkerasan jalan yang merupakan aspek terpenting dalam menentukan kegiatan pemeliharaan dan perbaikan jalan, parameter yang dapat menentukan ketebalan jalan yang cukup besar, dan apakah kendaraan menjadi lebih berat (terutama kendaraan jenis truk), apalagi dengan beban yang lebih banyak, maka nilai VDF akan meningkat secara signifikan, maka beban ekuivalen poros tunggal akan meningkat.

Nilai kerusakan jalan yang ditimbulkan oleh as roda kendaraan yang melintasinya (Melinda, 2019) Daya rusak yang baik apabila dimasukkan pada poros standar 8,16 ton (*single, tandem, triple*), nilai daya rusaknya mendekati satu. ESAL kendaraan = ESAL gandar depan + ESAL gandar belakang dimana ESAL dinyatakan dengan Persamaan 1.

$$ESAL = k \left[\frac{L}{8,16} \right] \quad (1)$$

dengan $ESAL = equivalent\ standard\ axle\ load$, $L =$ beban satu sumbu kendaraan (ton) dengan $k = 1$ untuk sumbu *single*, $k = 0,086$ untuk sumbu tandem, $k = 0,021$ untuk sumbu *triple*.

Tahapan kegiatan penelitian untuk menghitung umur rencana Tol JORR Seksi E adalah mengklarifikasi data yang didapat dari jasamarga untuk ruas tol JORR seksi E, pengklarifikasian ini dilakukan dengan tujuan memudahkan dalam pengolahan data selanjutnya. Selanjutnya masuk dalam perhitungan umur rencana dengan rumus yang didapat dari buku manual Perkerasan Bina Marga (Gambar 1).



Gambar 1. Tahapan kegiatan

Pengumpulan data

Data yang Didapat adalah data sekunder WIM yang dilakukan jasa marga pada lokasi JORR seksi E, dimana untuk tol JORR seksi E membentang dari Bambu Apus – Rorotan dimana data yang didapat adalah jalan tol yang banyak dilewati kendaraan berat termasuk kendaraan berat yang melebihi beban gandar standar (Gambar 2).



Gambar 2. Peta jaringan WIM jalan Tol Trans Jawa

Data yang dipakai untuk melakukan perhitungan adalah data WIM pada lokasi JORR seksi E yang dipasang pada ruas Tol JORR seksi E dimana hasil data tangkapan dari WIM mengenai kendaraan yang melebihi berat dilaporkan ke korlantas untuk kemudian dikenakan tilang oleh polisi berdasarkan UU No. 22 tahun 2009 (Morisca, 2014).

Data lapangan

Untuk mengetahui jumlah kendaraan yang kelebihan beban maka data WIM dipakai untuk mengetahui berapa banyak kendaraan yang melewati Tol JORR Seksi E per hari, data ini tercatat dalam aplikasi WIM yang dipasang pada tol JORR Seksi E (KM 53+ 600 B) dari Gambar 3 dibawah terlihat pada jalur B dibagi 3 lajur masing-masing lajur tercatat data kendaraan yang melebihi beban.

Subclass	GOLONGAN KENDARAAN	JAKARTA			Sum	LHR (Sum/30)
		Jul-23				
		Lane 1	Lane 2	Lane 3		
10	I	64	133	9	206	7
20	I	1021	1959	755	3735	125
30	I	2564	8052	1367	11983	399
31	I	41	39	1	81	3
32	I	41	32	0	73	2
33	I	1138	637	4	1779	59
40	II	8174	18666	1504	28344	945
41	I	3697	7471	1940	13108	437
50	III	83	67	2	152	5
51	III	15613	17098	449	33160	1105
56	I	716	665	25	1406	47
57	IV	454	444	44	942	31
58	IV	225	199	9	433	14
59	V	191	344	22	557	19
60	V	846	827	9	1682	56
61	V	881	482	22	1385	46
62	V	15159	25402	293	40854	1362
63	V	2309	2749	28	5086	170
70	V	112	188	4	304	10
71	V	58	45	2	105	4
100	V	863	1058	40	1961	65
101	V	1106	3333	82	4521	151
102	V	7949	14185	190	22324	744
110	V	24	23	2	49	2
111	V	325	383	6	714	24
112	V	49	65	0	114	4
113	V	29	13	0	42	1
120	V	5122	8456	105	13683	456
Sum		68,854	113,015	6,914	188,783	6,293

Gambar 3. Data WIM JORR seksi E

Untuk menghitung LHR lihat Persamaan 2.

$$LHR = \frac{\text{Total jumlah kendaraan}}{30} \text{ hr} \quad (2)$$

Data lalu lintas harian rata-rata

Pada Table 1 berdasarkan *sub class* kendaraan yang melewati tol JORR seksi E maka Didapat data LHR berdasarkan *sub class* dan golongan kendaraan dari data yang didapat hasil WIM pada ruas tol JORR seksi E.

Tabel 1. Golongan dan LHR Tol JORR E (data WIM Jasa Marga, 2023)

Sub Class	Golongan	LHR
10	I	7
20	I	125
30	I	399
31	I	3
32	I	2
33	I	59
40	II	945
41	I	437
50	III	5
51	III	1105
56	I	47
57	IV	31
58	IV	14

Tabel 1 (lanjutan). Golongan dan LHR Tol JORR E (data WIM Jasa Marga, 2023)

<i>Sub Class</i>	Golongan	LHR
59	V	19
60	V	56
61	V	46
62	V	1362
63	V	170
70	V	10
71	V	4
100	V	65
101	V	151
102	V	744
110	V	2
111	V	24
112	V	4
113	V	1
120	V	456
Sum		6,293

Data kendaraan *overload*

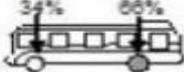
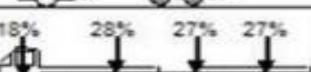
Untuk menghitung nilai ekivalen dari kendaraan kelebihan beban maka data yang dipakai adalah data yang dikeluarkan oleh WIM Tol JORR Seksi E pada KM 53+600 jalur B, pada Gambar 5 terlihat dari Table 2 yang ada pada WIM dibagi menjadi 4 klasifikasi kelebihan beban mulai dari yang terendah 5 % sampai yang tertinggi, diatas nilai 100 % menyatakan berat beban kendaraan sudah melebihi izin standar yang ditentukan.

Tabel 2. Jumlah LHR kendaraan *overload*

<i>Sub Class</i>	Kendaraan Kelebihan Beban LHR			
	5%-20%	20%-50%	50%-100%	> 100%
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	69	94	46	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	1
33	0	1	5	7
40	28	22	16	60
41	16	9	10	3
50	0	0	0	0
51	43	118	376	150
56	3	9	10	1
57	6	12	2	1
58	2	3	2	0
59	2	3	8	2
60	0	2	5	6
61	1	1	1	0
62	80	18	2	0
63	4	2	0	0
70	0	0	0	0
71	0	0	1	0
100	0	1	0	0
101	1	2	1	0
102	11	9	2	0
110	0	0	0	0
111	0	1	1	0
112	0	0	0	0
113	0	0	0	0
120	36	47	4	0
Sum	305	10580	493	233

Jumlah berat yang diizinkan

Dari Gambar 4 dibawah terlihat konfigurasi sumbu masing-masing kendaraan yang diperkirakan melewati jalan Tol dengan jumlah berat yang diizinkan (JBI). Jumlah berat yang diizinkan semakin besar kalua jumlah sumbu kendaraan semakin banyak atau dapat di formulakan $JBI = \text{Berat kosong (BK)} + \text{Berat orang (G)} + \text{Berat Muatan (L)}$. JBI ditetapkan pemerintah dengan pertimbangan daya dukung kelas jalan terendah yang dilalui kekuatan ban. Kekuatan rancangan sumbu sebagai upaya peningkatan umur jalan dari kendaraan serta aspek keselamatan di jalan. Sementara Jumlah Berat Bruto (JBB) ditetapkan oleh pabrik sesuai dengan kekuatan rancangan sumbu, sehingga konsekuensi logisnya JL tidak melebihi JBB.

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAK SUMUM (ton)	BERAT TOTAL MAK SUMUM (ton)	UE 18 KS AL KOSONG	UE 18 KS AL MAK SUMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

Gambar 4. Konfigurasi sumbu & *type* kendaraan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 1983)

Dari Gambar 4 didapat berat kosong dan berat maksimum yang diizinkan lewat jalan Tol dengan konfigurasi dari sumbu kendaraan dalam menahan beban dari masing-masing gandar baik tunggal maupun ganda.

Beban lalu lintas rencana

Konstruksi jalan tol dalam menerima beban lalu lintas yang disalurkan oleh roda kendaraan besarnya beban yang dipindahkan tergantung pada berat total kendaraan, konfigurasi gandar, bidang kontak antara roda dengan permukaan jalan, kecepatan kendaraan, dan lain-lain (Supriyadi, 2021). Kendaraan berat pada umumnya mempunyai beban total yang berbeda-beda, tergantung pada beban yang dipindahkan. berat kendaraan itu sendiri dan beban yang dibawanya. Beban ini didistribusikan di jalan raya melalui poros kendaraan melalui roda kendaraan, kemudian didistribusikan di jalan raya. Semakin berat beban maka semakin banyak pula as yang dibutuhkan kendaraan, sehingga beban gardan tidak melebihi beban gardan yang dibutuhkan. Beban masing-masing gandar ditentukan oleh beban gandar dan konfigurasi kendaraan. Beban lalu lintas yang diharapkan Dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 (Rozy, 2021), lalu lintas diartikan sebagai pergerakan kendaraan dan orang dalam ruang lalu lintas jalan, sedangkan ruang lalu lintas jalan berarti prasarana yang diperuntukkan bagi lalu lintas kendaraan, orang dan/atau barang. berupa jalan dan fasilitas terkait. Data volume lalu lintas kendaraan/hari tidak mencerminkan pengulangan beban lalu lintas yang diterima oleh struktur jalan. Pengulangan beban lalu lintas pada lajur yang direncanakan ditentukan dengan mempertimbangkan volume dan sebaran jenis kendaraan yang berbeda pada setiap lajur. Rumus untuk menentukan pengulangan beban lintasan rencana untuk tipe kendaraan dan konfigurasi gandar yang berbeda dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$Q = \sum LHR_i C DL \quad (3)$$

dengan Q = repetisi beban lalu lintas ke lajur Rencana, kendaraan/hari/lajur, C = koefisien distribusi arah jenis kendaraan, DL = koefisien distribusi ke lajur Rencana, $LHRT_i$ = lalu lintas harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan i , kendaraan/hari/2 arah, Sumbu tunggal roda tunggal (STRT), Sumbu tunggal roda ganda (STRG), Sumbu ganda atau sumbu tandem roda tunggal (STdRG), Sumbu Tripel atau sumbu tridem roda ganda (STrRG).

Angka ekuivalen beban sumbu

Angka ekuivalen beban gandar kendaraan (E) merupakan angka yang menunjukkan perbandingan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh jalur beban pada satu poros kendaraan dengan tingkat kerusakan yang disebabkan oleh jalur beban pada satu poros kendaraan sebesar 8,16 ton atau 18.000 pon (Abdillah et al., 2013).

Angka ekuivalen masing-masing golongan beban sumbu untuk setiap sumbu kendaraan ditentukan dengan Persamaan 4-5.

$$E = \frac{L^4}{8160} \quad (4)$$

$$E = 0,086 \frac{L^4}{8160} \quad (5)$$

dengan E = angka ekuivalen sumbu dan L = beban sumbu.

Masa pelayanan

Masa pelayanan umur pelayanan (umur desain) adalah jumlah tahun sejak jalan mulai dibuka untuk lalu lintas kendaraan hingga diperlukan perbaikan. Perbaikan ini dapat berupa perbaikan besar atau pelapisan permukaan baru. Pemeliharaan perkerasan jalan harus terus dilakukan sepanjang umur rencana. Misalnya menambahkan lapisan non-struktural yang berfungsi sebagai lapisan keausan (Suseno, 2022). Beban gandar standar kumulatif atau beban gandar standar setara kumulatif (CESAL) selama umur desain dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$W_{18} = \sum LHR_j VDF_j \frac{N_n}{N_i} DD DL 365 \quad (6)$$

dengan W_{18} = Traffic design pada lajur lalu lintas (ESAL), LHR_j = lintasan harian rata-rata untuk jenis kendaraan tertentu (satuan kendaraan per hari), VDF_j = Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor) tiap jenis kendaraan, DL = Faktor Distribusi Lajur, DD = Faktor Distribusi Arah. N_i = Lalu lintas tahun pertama dibuka jalan, N_n = Lalu lintas pada akhir tahun umur rencana.

Sisa umur rencana

Sisa umur adalah penyusutan umur yang diharapkan akibat faktor beban kendaraan yang lewat. Umur pelayanan jalan tersebut diperkirakan akan berakhir sesuai dengan umur pelayanan yang diharapkan (Hulu, 2021). Namun tak jarang kendaraan yang melintas membawa beban melebihi ambang batas. Sehingga Anda lebih cepat merasa lelah (fatik) di jalan. Oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk mengetahui sisa umur rencana/remaining life (RL), berdasarkan penurunan umur jalan. Nilai sisa umur dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$RL = 100 \left[1 - \frac{(N_p)}{N_{1.5}} \right] \quad (7)$$

dengan RL = remaining life, N_p = kumulatif ESAL per tahun, dan $N_{1.5}$ = kumulatif ESAL tahun terakhir rencana.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perhitungan *equivalent* dari *subclass*, jenis kendaraan, konfigurasi kendaraan dan jumlah sumbu kendaraan

Pada Gambar 5 berdasarkan konfigurasi sumbu dengan persentase beban tiap sumbu berdasarkan kendaraan yang melewati jalan Tol JORR Seksi E maka dilakukan perhitungan ekuivalen masing-masing golongan kendaraan maka didapat nilai ekuivalen masing-masing golongan.

No	Sub class	Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu Kendaraan	Jumlah Sumbu Kendaraan	JBL Kelas I		Persentase Beban Tiap Sumbu (%)				Ekivalen Sumbu Kendaraan				Total Ekivalen (E)
							STRT	STRG	SGRG/STdRG	STrRG	STRT	STRG	SGRG/STdRG	STrRG	
1	10	Sedan	1.1	2	3	Ton	50%				0.01191				0.01191
2	20	Jeep	1.1	2	3	Ton	50%				0.01191				0.01191
3	30	Kendaraan penumpang	1.1	2	5	Ton	50%				0.09188				0.09188
4	31	Pick Up	1.1	2	4	Ton	50%				0.03763				0.03763
5	32	Truk engkel kecil	1.1	2	6	Ton	50%				0.19052				0.19052
6	33	Truk material	1.1	2	6	Ton	50%				0.19052				0.19052
7	40	Truk besar engkel	1.2	2	16	Ton	34%	66%			1.02996	2.80476			3.83472
8	41	Bus kecil	1.1	2	6	Ton	50%				0.19052				0.19052
9	50	Truk tronton	1.2.2	3	25	Ton	25%		75%		1.79451		3.44771		5.24222
10	51	Truk engkel trailer	1.2.2	3	25	Ton	8%	41%			0.01882	4.97926			4.99808
11	56	Pengangkut semen	1.1	2	6	Ton	50%				0.19052				0.19052
12	57	Truk Engkel Trailer	1.2.1.1	4	28	Ton	18%	46%			0.75883	12.41460			13.17344
13	58	Truk Engkel Gandeng	1.2.2.2	4	35	Ton	18%	28%			1.85262	6.24115			8.09378
14	59	Truk Tribal (truck kayu)	1.1.2.2.2	5	35	Ton	18%		64%		3.70525			2.17273	5.87798
15	60	Truk Tribal (truck kayu)	1.1.2.2.2	5	35	Ton	18%		64%		3.70525			2.17273	5.87798
16	61	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
17	62	Truk Tronton Gandeng	1.2.2.2.2	5	40	Ton	8%	21%	41%		0.12332	2.04375	2.01791		4.18498
18	63	Truk Tronton Gandeng	1.2.2.2.2	5	40	Ton	8%	21%	41%		0.12332	2.04375	2.01791		4.18498
19	70	Truk Tronton Gandeng	1.2.2.2.2	5	40	Ton	8%	21%	41%		0.12332	2.04375	2.01791		4.18498
20	71	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
21	100	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
22	101	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
23	102	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
24	110	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
25	111	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
26	112	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
27	113	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
28	120	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
29	113	Truk Tronton Trailer	1.2.2.2.2	5	40	Ton	18%		41%		3.16049		2.01791		5.17840
30	120	Truk Engkel Trailer besar	1.2.1.1.1	5	35	Ton	18%	28%			7.41049	2.08038			9.49088

Gambar 5. Analisis ekivalen sumbu kendaraan

Nilai faktor ekuivalent dari masing-masing sumbu kendaraan:

- $STRT = E = \left[\frac{STRT(KN)^4}{53 KN} \right] = 5,4 ton$
- $STRG = E = \left[\frac{STRG(KN)^4}{80 KN} \right] = 8,16 ton$
- $STdRG = E = \left[\frac{STdRG(KN)^4}{135 KN} \right] = 13,76 ton$
- $STrRG = E = \left[\frac{STrRG(KN)^4}{181 KN} \right] = 18,45 ton$

Analisis perhitungan ekivalen berdasarkan kelebihan beban berat kendaraan lewat JORR E

Pada Table 3 nilai ekivalen dari masing-masing beban lebih adalah perhitungan ekivalen dihitung dari perkalian ekivalen yang ada di Gambar 5 dikalikan LHR berdasarkan kelebihan beban per golongan. Untuk data LHR kelebihan beban dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 3. Perhitungan *equivalent* sumbu kendaraan yang *overload*

Sub Class	Ekivalen Sumbu Kendaraan			
	5%-20%	20%-50%	50%-75%	> 100%
10	-	-	-	-
20	-	-	-	-
30	0,1905	0,4651	0,8617	-
31	0,0780	-	0,3530	0,6021
32	-	-	1,7869	3,0483
33	0,3951	0,9645	1,7869	3,0483
40	7,9517	19,4133	35,9654	61,3555
41	0,3951	0,9645	1,7869	3,0483
50	-	-	49,1663	83,8755
51	10,3640	25,3028	46,8765	79,9692
56	0,3951	0,9645	1,7869	3,0483
57	27,3164	66,6905	123,5524	210,7750
58	16,7833	40,9748	75,9108	129,5004
59	12,1886	29,7573	55,1290	94,0477

Tabel 3 (lanjutan). Perhitungan *equivalent* sumbu kendaraan yang *overload*

Sub Class	Ekivalen Sumbu Kendaraan			
	5%-20%	20%-50%	50%-75%	> 100%
60	12,1886	29,7573	55,1290	94,0477
61	10,7379	26,2157	48,5678	82,8545
62	8,6780	21,1864	39,2505	66,9596
63	8,6780	21,1864	39,2505	-
70	-	-	39,2505	-
71	-	-	48,5678	-
100	-	26,2157	48,5678	82,8545
101	10,7379	26,2157	48,5678	-
102	10,7379	26,2157	48,5678	-
110	10,7379	-	-	82,8545
111	10,7379	26,2157	48,5678	82,8545
112	10,7379	-	-	-
113	-	-	48,5678	82,8545
120	19,6803	48,0476	89,0141	-
Sum				

Analisis berat beban sumbu standar (ESAL) JORR E

Pada Gambar 6 dilakukan perhitungan ESAL dari masing-masing golongan kendaraan baik kendaraan yang diizinkan maupun kendaraan kelebihan beban dari 4 kriteria kelebihan beban mulai dari 0 – 100 % maka didapat total nilai berat beban gandar dari masing golongan baik yang diizinkan maupun yang kelebihan beban.

Subclass	Golongan Kendaraan	LHR Normal	KENDARAAN KELEBIHAN LHR				TOTAL LHR KELEBIHAN BEBAN	ESAL 2023 Jorr Seksi E (diizinkan) LHRxYDFxDxDDxLx365	ESAL 2023 Jorr Seksi E LHRxYDFxDxDLx365	ESAL KELEBIHAN BEBAN 5 - 20 %	ESAL KELEBIHAN BEBAN 20 - 50 %	ESAL KELEBIHAN BEBAN 50 - 100 %	ESAL KELEBIHAN BEBAN 100%	TOTAL ESAL (OVERLOAD + SESUDAH PENGURANGAN)
			5 % - 20 %	20% to 50%	50% to 100%	> 100 %								
			A	B	C	D								
10	I	7	0	0	0	0	14.322	14.322	-	-	-	-	14.322	
20	I	125	0	0	0	0	270.553	270.553	-	-	-	-	270.553	
30	I	339	63	34	46	0	6.637.646	3.193.161	2.406.074	7.396.39	7.171.25	-	20.766.872	
31	I	3	0	0	0	0	18.544	15.110	0.475	-	12.88	25.64	54.109	
32	I	2	0	0	0	1	84.607	50.396	-	-	43.48	463.60	558.074	
33	I	53	0	1	5	7	2.061.852	1.585.505	3.613	158.42	1.695.74	4.153.84	7.603.113	
40	II	345	28	22	16	60	661.204.770	572.815.521	41.068.374	76.527.03	106.113.04	674.454.39	1.470.378.965	
41	I	437	16	3	10	3	15.132.107	13.863.839	1.143.367	1.619.41	3.233.29	1.780.22	21.646.780	
50	III	5	0	0	0	0	4.847.307	4.719.747	-	-	299.10	1.530.73	6.543.570	
51	III	1105	43	118	376	150	1.008.228.747	382.433.630	80.385.871	545.202.89	3.213.528.29	2.187.211.80	6.408.762.535	
56	I	47	3	3	10	1	1.629.547	813.615	243.342	1.607.67	3.195.81	533.41	6.460.445	
57	IV	31	6	12	2	1	75.490.380	25.003.183	23.311.500	143.618.04	51.103.52	35.302.01	285.544.256	
58	IV	14	2	3	2	0	21.319.685	10.241.327	6.227.387	22.682.34	32.325.34	2.363.38	73.840.978	
59	V	19	2	3	8	2	19.917.043	4.004.864	4.893.715	17.197.23	76.128.60	32.611.04	134.835.447	
60	V	56	0	2	5	6	60.144.482	46.413.518	363.314	8.327.08	48.628.40	102.382.23	207.315.140	
61	V	46	1	1	1	0	43.630.205	40.700.523	1.638.384	5.300.71	8.568.16	504.03	57.371.803	
62	V	1362	80	18	2	0	1.040.086.184	363.735.803	121.437.427	68.566.41	12.117.47	814.68	1.172.731.786	
63	V	170	4	2	0	0	129.482.507	125.205.460	6.070.363	5.328.67	1.671.42	-	138.876.515	
70	V	10	0	0	0	0	7.733.418	7.433.315	-	-	716.32	-	8.150.237	
71	V	4	0	0	1	0	3.307.705	2.394.148	-	-	5.613.62	-	8.007.772	
100	V	65	0	1	0	0	61.775.329	60.578.255	-	2.711.14	2.653.08	504.03	66.452.508	
101	V	151	1	2	1	0	142.420.328	139.238.631	1.567.739	8.133.41	7.681.80	-	156.621.581	
102	V	744	11	3	2	0	703.249.534	682.017.278	22.470.323	40.366.01	21.568.13	-	767.042.341	
110	V	2	0	0	0	0	1.543.536	1.386.086	65.322	-	-	504.03	1.355.440	
111	V	24	0	1	1	0	22.492.334	19.436.705	314.514	4.343.84	12.704.52	4.536.28	42.535.854	
112	V	4	0	0	0	0	3.531.223	3.087.191	653.224	-	-	-	3.740.416	
113	V	1	0	0	0	0	1.323.082	345.059	-	-	886.36	4.536.28	6.367.701	
120	V	456	36	47	4	0	790.004.126	638.366.284	129.419.200	410.358.30	67.146.27	-	1.246.430.656	
Sum							1383	4.827.767.89	3.750.565	457.559	1.373.066	3.684.884	3.055.472	12.321.546.38

Gambar 6. Penentuan perhitungan ESAL izin dan ESAL kelebihan beban

Perhitungan total ESAL sebelum adanya kelebihan beban adalah 4.827.767,89 dan sesudah kelebihan beban dihitung dan dijumlah didapat 12.351.436.

Dari gambar diatas didapat penurunan umur rencana jalan Tol JORR Seksi E sebesar penurunan umur rencana = $12.351.436 / 4.827.767,89 = 2,55$ tahun, penurunan ini terjadi karena adanya kendaraan kelebihan beban yang setiap hari melintasi jalan tol JORR Seksi E.

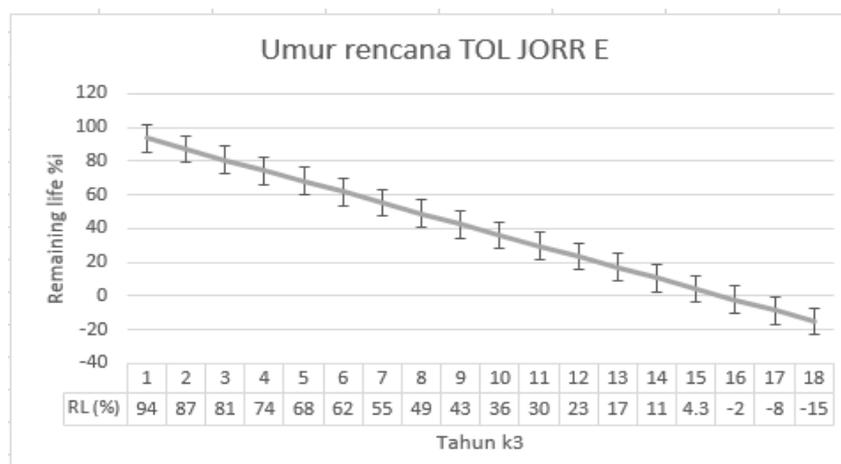
Analisis menghitung sisa umur rencana

Umur rencana yang diakibatkan muatan berlebih actual, dengan memperhitungkann nilai ESAL Rencana dan ESAL akibat *overload* menggunakan Persamaan 6-7. Dengan $N_{1,5}(ESAL)_{Com Normal} = ESAL_{Normal} \times 40$ tahun (masa konsesi jalan tol) = 193.110.715,56. Pada Gambar 7 terlihat umur rencana perkerasan jalan tol JORR seksi E dari konsesi 40 tahun terus turun sebesar 15 tahun akibat kendaraan kelebihan beban yang lewat.

No	Tahun ke	IP (ESAL) overloa	NI (ESAL) Com Nor	RL (%)
1	1	12,321,546.38	193,110,715.56	93.61944
2	2	24,643,092.75	193,110,715.56	87.23888
3	3	36,964,639.13	193,110,715.56	80.85832
4	4	49,286,185.51	193,110,715.56	74.47776
5	5	61,607,731.89	193,110,715.56	68.0972
6	6	73,929,278.26	193,110,715.56	61.71664
7	7	86,250,824.64	193,110,715.56	55.33608
8	8	98,572,371.02	193,110,715.56	48.95551
9	9	110,893,917.40	193,110,715.56	42.57495
10	10	123,215,463.77	193,110,715.56	36.19439
11	11	135,537,010.15	193,110,715.56	29.81383
12	12	147,858,556.53	193,110,715.56	23.43327
13	13	160,180,102.91	193,110,715.56	17.05271
14	14	172,501,649.28	193,110,715.56	10.67215
15	15	184,823,195.66	193,110,715.56	4.29159
16	16	197,144,742.04	193,110,715.56	-2.08897
17	17	209,466,288.41	193,110,715.56	-8.46953
18	18	221,787,834.79	193,110,715.56	-14.8501

Gambar 7. Umur rencana pada kondisi beban berlebihan

Gambar 8, adalah grafik persentase penurunan umur Rencana atau masa layanan jalan Tol JORR Seksi E, akibat muatan berlebih.



Gambar 8. Grafik penurunan umur rencana pada beban berlebihan

4. KESIMPULAN

- Berdasarkan perhitungan ESAL kendaraan kelebihan berat, kendaraan yang paling banyak menyebabkan penurunan umur rencana jalan Tol JORR seksi E adalah Tronton (*sub class* 50 golongan III) 6.408.762 kemudian truk besar engkel (*sub class* 40 golongan II) dengan nilai Esal 1.470.378 dan rata-rata kelebihan beban lebih dari 50 %.
- Nilai ekivalen berat beban sumbu normal untuk jalan Tol JORR Seksi E sebesar 4.827.767,69 sementara akibat beban lebih nilai ekivalen berat beban sumbu sebesar 12.351.436.

3. Dengan mmemperhitungkan Nilai ekivalen berat beban sumbu beban lebih dibagi nilai ekivalen berat beban sumbu normal didapat nilai penurunan per tahun pada tol JORR Seksi E adalah 2,55 tahun.
4. Dengan menghitung sisa umur rencana Perkerasan jalan tol berdasarkan hitungan per tahun nilai ekovalen berat beban sumbu didapat sisa umur untuk perkerasan jalan tol JORR seksi E adalah 15 tahun lebih cepat dari masa layan rencana jalan Tol JORR seksi E pada tahun 2047 berdasarkan masa konsesi 40 tahun.
5. Dari hasil perhitungan diatas perlu segera dilakukan perbaikan rutin seperti penambahan overlay untuk mencegah kerusakan jalan tol JORR Seksi E yang terus menerus dilewati kendaraan yang kelebihan Beban.
6. Ditahun kedepan perlu ada perhitungan untuk pelebaran jalan Tol JORR seksi E sehingga distribusi berat kendaraan kelebihan beban dapat mengurangi umur rencana jalan tol.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, S. H., Paransa, M. J., Jansen, F., & Manoppo, M. R. (2013). Studi pengaruh pengambilan angka ekivalen beban kendaraan pada perhitungan tebal perkerasan fleksibel di Jalan Manado–Bitung. *Jurnal Sipil Statik*, 1(7). <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109378460>
- Anisarida, A. A., Hafudiansyah, E., & Kurniawan, E. (2020). Perencanaan tebal perkerasan ruas Jalan A Di Kabupaten Lebak. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia*, 1(1), 1-14. <https://doi.org/10.51988/vol1no1bulanjulitahun2020.v1i1.4>
- Anwar, S. (2021). *Pengaruh over dimension overload kendaraan (berat) terhadap kondisi jalan dengan program hdm-4* [Thesis, Universitas Tarumanagara]. <http://repository.untar.ac.id/id/eprint/37480>
- Apriyadi, F. (2018). *Pengaruh beban berlebih kendaraan berat terhadap umur rencana perkerasan kaku pada Jalan Diponegoro, Cilacap* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/6493>
- Atmanegara, R. F. (2017). *Pengaruh beban berlebih kendaraan terhadap umur rencana jalan pada perkerasan lentur: Studi kasus ruas Jalan Yogya–Magelang* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia]. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/32840>
- Armajaya, M. R. L. (2022). Analisis yuridis terhadap penerapan kebijakan zero over-dimension dan over loading (bebas ukuran lebih dan muatan lebih) di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, 1(12), 2719-2738. <https://publish.ojs-indonesia.com/index.php/SIBATIK>
- Batubara, M. I. Z., Simanjuntak, J. P. & Syafiatun, S. (2023). Analisa pengaruh kendaraan muatan berlebih/overloading (OL) terhadap umur rencana perkerasan jalan tol (studi kasus ruas Jalan Tol Semarang ABC). *Jurnal Insinyur Profesional*, 3(1). <https://doi.org/10.24114/jip.v3i1.49817>
- Burnos, P., & Gajda, J. (2016). Thermal property analysis of axle load sensors for weighing vehicles in weigh-in-motion system. *Sensors*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/s16122143>
- Burnos, P., Gajda, J., Sroka, R., Wasilewska, M., & Dolega, C. (2021). High accuracy weigh-in-motion systems for direct enforcement. *Sensor* 2021, 21(23), 8046. <https://doi.org/10.3390/s21238046>
- Fikri, M. (2016). Analisis Tingkat Kerusakan Jalan Lentur Dengan Metode Pavement Condition Index (Pci) Studi Kasus Ruas Jalan Poros Lamasi-Walenrang Kabupaten Luwu. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 1(1), 19-26. http://dx.doi.org/10.51557/pt_jiit.v1i1.57
- Gumelar, A. A. H. A., Prihutomo, N. B., & Saputro, D. E. (2022). Analisis umur sisa dan tebal perkerasan jalan tol akibat beban berlebih. *Construction and Material Journal*, 4(1), 11-22. <https://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>
- Hasyim. (2021). Penurunan masa pelayanan jalan akibat kendaraan dengan beban berlebih. *Paduraksa*, 10(1), 56-69. <https://doi.org/10.22225/pd.10.1.2292.56-69>
- Hulu, A. T. S. (2021). Pengaruh beban berlebih (overload) terhadap pengurangan umur rencana perkerasan jalan pada ruas jalan Medan-Binjai KM. 12 (studi literatur) [Skripsi, Universitas HKBP NOMMENSEN]. <http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/5815>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (1983). *Manual perkerasan jalan*.
- Melinda, R., & Prastyanto, C. A. (2019). Evaluasi nilai distribusi beban as kendaraan berdasarkan data aktual di lapangan untuk kendaraan dengan konfigurasi sumbu 1.2 H dan 1.2+ 2.2. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(1), 34-42. <http://dx.doi.org/10.12962/j2579-891X.v17i1.4885>
- Morisca, W. (2014). *Evaluasi beban kendaraan terhadap derajat kerusakan dan umur sisa jalan (studi kasus: PPT. Simpang Nibung dan PPT. Merapi, Sumatera Selatan)* [Doctoral dissertation, Sriwijaya University]. <http://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jtsl>
- Pandey, S. V. (2013). Kerusakan jalan daerah akibat beban overloading. *TEKNO*, 11(58). <https://doi.org/10.35793/jts.v11i58.4292>
- Rozi, S. (2021). Sanksi terhadap pelanggaran transportasi darat odol (overdimension overloading) ditinjau dari Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan. *Glosains: Jurnal Sains Global Indonesia*, 2(1), 13-21. <https://doi.org/10.59784/glosains.v2i1.11>
- Sumaryoto, S. (2018). Dampak keberadaan jalan tol terhadap kondisi fisik, sosial, dan ekonomi lingkungannya. *Journal of Rural and Development*, 1(2). <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:203534142>

- Supriadi, M. A. (2021). *Pengaruh beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan jalan pada perkerasan lentur Jalan Soerkarno-Hatta Pekanbaru* [Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau]. <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/9557>
- Suseno, J. (2022). *Analisa pengaruh beban kendaraan terhadap perkerasan tambahan (overlay) pada ruas Jalan Blora–Cepu KM 13.00 S/d KM 30.00* [Doctoral dissertation, Universitas Narotama]. <http://repository.narotama.ac.id/id/eprint/1730>