

Evaluasi Beban Kendaraan Terhadap Derajat Kerusakan dan Umur Sisa Jalan

(Studi Kasus: Jalan Pematang Raya-Siantar)

Ruhut G. H. Pasaribu¹, Adita Utami¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina

Email: adita.utami@universitaspertamina.ac.id

Abstract

Road damage due to excessive vehicle load on Pematang Raya - Siantar Road threatens regional transportation and economy. This study evaluates the relationship between vehicle load and road damage to recommend more effective supervision. Secondary and primary data are used to analyze traffic growth, excess load, Vehicle Damage Factor (VDF), degree of road damage, and remaining life of the road. The results showed that the micro truck vehicle type had the highest excess load percentage (33.96%). Pematang Raya - Siantar Road experienced a decrease in the design life of 2.43% per year under normal load conditions. Still, under actual load conditions, it showed a decrease in the design life of 25.36%, reducing the road life to 7.20 years with a truck factor (TF) value reaching 1.3. Based on the research results, it is recommended to improve supervision and implementation of the Heaviest Axle Load (MST), repair road pavement layers, conduct periodic socialization and raids, utilize sensor technology, and conduct economic analysis to determine the financial impact of road damage.

Keywords: Road Damage, Excessive Vehicle Load, Heaviest Axle Load (MST), Vehicle Damage Factor, Design Life.

Abstrak

Kerusakan jalan akibat beban kendaraan berlebih di Jalan Pematang Raya - Siantar mengancam transportasi dan perekonomian daerah. Penelitian ini mengevaluasi hubungan antara beban kendaraan dan kerusakan jalan untuk memberikan rekomendasi pengawasan yang lebih efektif. Data sekunder dan primer digunakan untuk menganalisis pertumbuhan lalu lintas, beban berlebih, Faktor Kerusakan Kendaraan (VDF), derajat kerusakan jalan, dan sisa umur rencana jalan. Hasil penelitian menunjukkan jenis kendaraan truk mikro memiliki persentase kelebihan beban tertinggi (33,96%). Jalan Pematang Raya - Siantar mengalami penurunan umur rencana sebesar 2,43% per tahun pada kondisi beban normal, tetapi pada kondisi beban aktual menunjukkan penurunan umur rencana sebesar 25,36%, mengurangi umur jalan menjadi 7,20 tahun dengan nilai faktor truk (TF) mencapai 1,3. Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk meningkatkan pengawasan dan pelaksanaan Muatan Sumbu Terberat (MST), melakukan perbaikan lapisan perkerasan jalan, melakukan sosialisasi dan razia secara berkala, memanfaatkan teknologi sensor, dan melakukan analisis ekonomi untuk mengetahui dampak finansial dari kerusakan jalan.

Kata kunci: Kerusakan Jalan, Beban Kendaraan Berlebih, Muatan Sumbu Terberat (MST), Faktor Kerusakan Kendaraan, Umur Rencana.

1. Pendahuluan

Studi AASHTO (2011) menemukan bahwa beban yang berlebihan dari kendaraan berat dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan perkerasan jalan. Ini karena beban yang berlebihan dapat menyebabkan material penyusun struktur perkerasan jalan mengalami deformasi permanen, mengurangi daya dukung, dan mengganggu drainase jalan. Kerusakan jalan yang terjadi di beberapa wilayah saat ini sangat memengaruhi pengguna jalan, dan dapat menyebabkan masalah tambahan seperti waktu tempuh kendaraan yang lama, kemacetan, kecelakaan lalu lintas, dan lainnya. Jika kerusakan jalan dikumpulkan, akan menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan di berbagai wilayah. Berdasarkan Undang-Undang No. 14 Tahun 1992 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, aturan yang lebih ketat telah

ditetapkan untuk pengawasan dan pengamanan jalan, khususnya untuk kendaraan bermuatan. Pasal 8 ayat (1) mengatur bahwa jalan harus dilengkapi dengan alat pengawasan dan pengamanan jalan yang umum digunakan seperti jembatan timbang untuk meningkatkan keselamatan, keamanan, ketertiban dan kelancaran lalu lintas. Seperti yang diatur dalam UU No. 15 Tahun 1992, penanganan kendaraan bermuatan lebih masih belum sepenuhnya diterapkan di Indonesia.

Jalan merupakan infrastruktur vital dalam sistem transportasi yang memfasilitasi manusia dan barang. Namun, penggunaan jalan yang intensif oleh kendaraan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur jalan. Fenomena ini merupakan tantangan serius dalam pengelolaan jalan dan memerlukan evaluasi mendalam terhadap beban kendaraan dan dampak yang kemungkinan terjadi akibat beban kendaraan berlebih (*overloading*). Beban kendaraan merupakan faktor utama yang mempengaruhi keausan jalan. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan dan beban yang diangkutnya, maka penting untuk memahami hubungan antara beban kendaraan dan tingkat kerusakan jalan. Namun, evaluasi beban kendaraan terhadap tingkat kerusakan jalan memiliki tantangan tersendiri. Diantaranya seperti variasi beban kendaraan, kondisi jalan yang beragam, serta faktor lingkungan lainnya yang dapat mempengaruhi hasil evaluasi.

Dalam suatu wilayah provinsi, relasi antar kabupaten dan kota pada suatu wilayah dapat dihubungkan melalui jalur jalan provinsi untuk mempermudah mobilitas dan distribusi antarwilayah. Pada tahun 2017, di Kabupaten Simalungun terdapat jalan sepanjang 1.803,8 km dengan kondisi baik sampai rusak berat hingga pada kondisi tertentu permukaan yang diaspal berubah menjadi berupa tanah (KPJU Unggulan UMKM Sumatera Utara, 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh KPJU Unggulan UMKM Provinsi Sumatera Utara (2018) menjelaskan bahwa sepanjang 544,6 km atau sekitar 30,19% dari total panjang jalan di Kabupaten Simalungun dikategorikan dalam kondisi rusak. Salah satu jalan yang mengalami kerusakan di Kabupaten Simalungun adalah Jalan Pematang Raya – Siantar. Jalan tersebut merupakan prasarana penghubung antara wilayah Kabupaten Simalungun dengan Kota Pematang Siantar. Jalan tersebut dikategorikan sebagai jalan provinsi karena berfungsi sebagai penghubung wilayah antar kabupaten/kota.

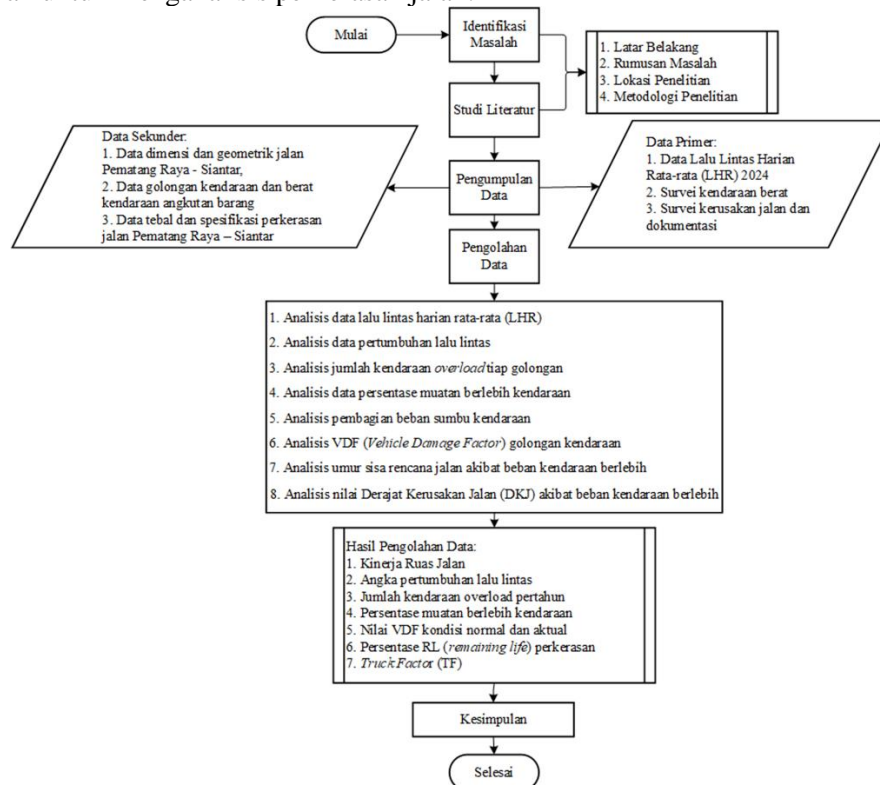
Menurut Nikson (2021) total jalan provinsi yang terletak di Kabupaten Simalungun adalah sepanjang 232 kilometer, dimana jalan dengan kondisi baik sepanjang 110 kilometer, jalan dengan kondisi rusak sedang 54 kilometer, jalan dengan kondisi rusak ringan 25 kilometer dan jalan dengan kondisi rusak berat 41 kilometer. Salah satu faktor yang menyebabkan kerusakan di Jalan Pematang Raya – Siantar adalah kendaraan yang membawa muatan lebih dari yang diizinkan karena jalan tersebut sering dilalui oleh truk yang membawa barang berat. Oleh karena itu, untuk mengetahui tingkat kerusakan jalan akibat beban kendaraan dan umur sisa perkerasan jalan, khususnya pada ruas jalan Pematang Raya – Siantar, diperlukan metode penelitian yang menyeluruh. Setelah evaluasi ini selesai, diharapkan pemerintah setempat akan mengawasi kendaraan angkutan barang untuk mengurangi kerusakan jalan yang disebabkan oleh beban kendaraan berlebih.

2. Metode

Lokasi penelitian dilakukan di Jalan Pematang Raya – Siantar STA 132+800 sampai dengan STA 156+000.

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, dilakukan pengumpulan data yang meliputi data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) dan data golongan kendaraan untuk tahun 2024, data dimensi jalan Pematang Raya - Siantar, serta data berat kendaraan angkutan barang pada tahun 2024. Selanjutnya, analisis data dilakukan dengan menentukan nilai pertumbuhan lalu lintas, jumlah kendaraan yang mengalami kelebihan muatan (*overload*) pada tahun 2024, serta persentase muatan berlebih pada setiap golongan kendaraan angkutan barang. Selain itu, dilakukan analisis pembebanan sumbu pada setiap golongan kendaraan, penentuan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) untuk perkerasan lentur, serta penghitungan nilai VDF kumulatif. Kemudian, dihitung juga nilai derajat kerusakan jalan (DKJ) dan sisa umur rencana (*remaining life*) jalan akibat beban berlebih kendaraan. Melalui tahapan-tahapan ini, penelitian bertujuan untuk memahami dampak lalu lintas dan beban berlebih terhadap kondisi jalan serta merumuskan langkah-langkah mitigasi yang diperlukan. Data volume lalu lintas harian diperoleh berdasarkan hasil pengamatan langsung di ruas jalan Pematang

Raya – Siantar pada STA 132+800 sampai dengan STA 156+000. Volume lalu lintas adalah data utama yang digunakan untuk menganalisis perkerasan jalan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Data volume lalu lintas harian diperoleh berdasarkan hasil pengamatan langsung di ruas jalan Pematang Raya – Siantar pada STA 132+800 sampai dengan STA 156+000. Volume lalu lintas adalah data utama yang digunakan untuk menganalisis perkerasan jalan. Arus volume lalu lintas harian yang diperoleh selama periode 1 hari dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Volume Lalu Lintas Harian (LHR)

No	Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR 2024 (Kend/hari)	LHR 2024 (Kend/tahun)
1	Sedan, jeep (Golongan 2)	1.1	2732	997180
2	Pickup (Golongan 4)	1.1	1869	682185
3	Mikro Truk (Golongan 4)	1.2	1361	496765
4	Bus Kecil (Golongan 5a)	1.1	1558	568670
5	Bus Sedang (Golongan 5a)	1.1	1443	526695
6	Bus Sedang (Golongan 5b)	1.2	1319	481435
7	Bus Besar (Golongan 5b)	1.2	1186	432890
8	Truk Tangki (Golongan 6)	1.2	576	210240
9	Truk Tronton (Golongan 7a)	1.2.2	549	200385
10	Truk Tangki-Tronton (Golongan 7a)	1.2.2	189	68985
12	Truk Trailer (Golongan 7c)	1.2-222	144	52560
11	Truk Trailer (Golongan 7c)	1.2.2-222	192	70080
13	Kendaraan Khusus (Truk Mixer) (Golongan 7a)	1.2.2	92	33580
Total			13.210	4.821.650

Berdasarkan di atas diketahui bahwa arus lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada tahun 2024 di ruas jalan Pematang Raya – Siantar sebesar 13.210 kendaraan/hari/4 lajur.

Berdasarkan nilai lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada ruas jalan Pematang Raya – Siantar, dapat digunakan untuk menentukan nilai pertumbuhan lalu lintas. Umur rencana ruas jalan Pematang Raya – Siantar adalah 15 tahun yang dihitung sejak dilakukannya perbaikan mendasar dari lapisan tanah

dasar (*subgrade*) atau sejak dilakukan peningkatan ruas jalan pada tahun 2023. Diperoleh laju pertumbuhan lalu lintas (*i*) ruas jalan Pematang Raya – Siantar sebesar 4.83%. Ruas jalan Pematang Raya – Siantar kembali normal dilalui oleh kendaraan sejak 5 Januari 2024 setelah dilakukan perbaikan. Diperoleh nilai R (faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif) sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+0.01(4.83))^{15}-1}{0.01(4.83)} = 0,04$$

Data kendaraan yang bermuatan lebih (*overload*) diperoleh secara langsung melalui wawancara dengan pengendaraan angkutan barang serta melakukan pengamatan secara langsung pada kendaraan angkutan barang yang melintas selama proses survey penghitungan lalu lintas (*traffic counting*). Apabila melakukan pengamatan langsung, akan terlihat beberapa karakteristik kendaraan yang mengalami *overload* saat melintas di jalan, antara lain:

- (1) Ban tertekan atau kempes: Ban kendaraan terlihat sangat kempes atau tertekan berlebihan karena beban yang diangkut melebihi kapasitas ban, yang dapat mempercepat terjadinya keausan pada ban.
- (2) Suspensi tertekan atau mengalami deformasi: Suspensi kendaraan terlihat sangat rendah atau hampir menyentuh ban, menunjukkan bahwa suspensi bekerja menopang beban yang berlebih.
- (3) Kemiringan kendaraan: Kendaraan terlihat miring atau tidak seimbang antara sumbu roda, menunjukkan bahwa distribusi beban yang tidak merata atau beban terlalu berat pada satu sisi sumbu kendaraan.
- (4) Muat lebih dari batas: Muatan terlihat melebihi dinding bak kendaraan, bahkan mungkin terikat diluar bak. Muatan berlebih sering menonjol dan membengkak dari bak kendaraan. Pada sebagian golongan kendaraan dengan kondisi bak terbuka seperti *pickup* dan mikro truk kerap sekali melakukan modifikasi pada bak kendaraan agar dapat menambah kapasitas angkut barang.
- (5) Kerusakan atau deformasi struktur kendaraan: Terdapat tanda-tanda kerusakan pada *chassis* atau bak kendaraan, seperti retakan, bengkok, atau deformasi lain, karena menanggung beban lebih dari kapasitas desainnya.
- (6) Pergerakan kendaraan yang lambat atau sulit dikendalikan: Kendaraan bergerak lamban atau sulit dikendalikan, terutama di jalan menanjak atau berbelok, karena beban berlebih mempengaruhi kemampuan dan akselerasi kendaraan.
- (7) Asap knalpot berlebihan atau tidak normal: asap knalpot yang berlebihan dan memiliki warna tidak normal seperti hitam pekat menunjukkan bahwa mesin kendaraan bekerja lebih keras dari yang seharusnya.
- (8) Kecepatan rendah: Kendaraan membawa beban berlebih, bergerak jauh lebih lambat dari biasanya, terutama di jalan menanjak.
- (9) Kerusakan pada sistem rem: Sistem rem menunjukkan tanda-tanda keausan berlebihan atau gagal berfungsi dengan baik karena harus menahan beban yang terlalu berat.

Perhitungan jumlah kendaraan *overload* dilakukan pada saat pelaksanaan penghitungan lalu lintas (*traffic counting*). Jumlah kendaraan *overload* merupakan hasil pengamatan 10% dari LHR kendaraan perhari dan survei yang dilakukan di ruas jalan Pematang Raya – Siantar, sehingga hasil identifikasi persentase kendaraan *overload* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Jumlah Kendaraan Overload 2024

No	Golongan Kendaraan	Konfigurasi Sumbu	LHR	LHR	Persentase Overload
			Kendaraan Overload 2024 (Kend/hari)	Kendaraan Overload 2024 (Kend/tahun)	
1	<i>Pickup</i> (Golongan 4)	1.1	132	48.180	20,75%
2	Mikro Truk (Golongan 4)	1.2	216	78.840	33,96%
3	Truk 3 Sumbu (Golongan 7a)	1.2.2	180	65.700	28,30%
4	Traktor 2 Sumbu + Trailer 3 Sumbu (Golongan 7c)	1.2-222	48	17.520	7,55%

5	Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu (Golongan 7c)	1.2.2-222	60	21.900	9,43%
Jumlah			636	232.140	100%

Besarnya beban sumbu setiap golongan kendaraan akan berdampak pada kerusakan perkerasan jalan akibat konfigurasi sumbu kendaraan yang berbeda-beda, sehingga distribusi beban sumbu roda akan bergantung pada:

- (1) Jarak sumbu roda (gandar)
- (2) Jarak roda pada setiap sumbu (gandar)
- (3) Beban pada setiap sumbu roda
- (4) Suspensi

Berdasarkan metode Bina Marga 2002 tentang konfigurasi sumbu kendaraan, dapat ditentukan distribusi beban masing-masing sumbu. Tujuan dilakukannya identifikasi dari distribusi beban sumbu pada setiap golongan kendaraan adalah untuk mengetahui distribusi beban sumbu kendaraan yang melintas disepanjang ruas Jalan Pematang Raya – Siantar, sehingga berdasarkan identifikasi yang dilakukan dapat membantu dalam mengantisipasi area yang mungkin mengalami kerusakan lebih cepat dan membutuhkan perhatian khusus.

Tabel 3. Distribusi Beban Sumbu Kendaraan Kondisi Beban Normal

No	Tipe Kendaraan			Berat Total (Ton)	Konfigurasi Beban Sumbu Roda (Ton)					
	Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan	Konfigurasi Sumbu		Roda Depan STRT	Roda Belakang				
					Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5	
1	Sedan, jeep Angkutan	2	1.1	1,95	0,0011	0,0011	-	-	-	-
2	penumpang sedang	3	1.1	3,45	0,0104	0,0104	-	-	-	-
3	Pick up	4	1.1	2,54	0,0031	0,0031	-	-	-	-
4	Mikro truk		1.2	5,4	0,0134	0,0364	-	-	-	-
5	Bus Kecil		1.1	5,1	0,0497	0,0497	-	-	-	-
6	Bus Sedang	5a	1.2	5,57	0,0151	0,0412	-	-	-	-
7	Bus Besar	5b	1.2	14,05	0,6124	1,6677	-	-	-	-
8	Truk Sumbu	2 6	1.2	16	1,0300	2,8048	-	-	-	-
9	Truk Sumbu	3 7a	1.22	23	1,2856	0,1544	0,1544	-	-	-
10	Traktor Sumbu + Trailer Sumbu	2 3 7c	1.2 - 222	31	1,4154	0,5829	0,0342	0,0342	0,0342	-
11	Traktor Sumbu + Trailer Sumbu	3 3 7c	1.22 - 222	45	0,0327	0,1830	0,1830	0,0232	0,0232	0,0232

Perhitungan yang dilakukan dalam menentukan konfigurasi beban sumbu roda (ton):

- Perhitungan distribusi beban kendaraan Mikro Truk
 - Roda Depan

$$\text{Ekivalen STRT} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,4} \right]^4 = \left[\frac{5,4 \times 34\%}{5,4} \right]^4 = 0,0134E$$
 - Roda Belakang

$$\text{Ekivalen STRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{8,16} \right]^4 = \left[\frac{5,4 \times 66\%}{8,16} \right]^4 = 0,0364E$$
- Perhitungan distribusi beban kendaraan Truk 3 Sumbu
 - Roda Depan

$$\text{Ekivalen STRT} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,4} \right]^4 = \left[\frac{23 \times 25\%}{5,4} \right]^4 = 1,2856E$$
 - Roda Belakang Ke-1

$$\text{Ekivalen STdRG} = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{23 \times 37,5\%}{13,76} \right]^4 = 0,1544E$$
 - Roda Belakang Ke-2

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{23 \times 37,5\%}{13,76} \right]^4 = 0,1544E$$

- Perhitungan Distribusi Kendaraan Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu

- Roda Depan

$$\text{Ekivalen } STRT = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,4} \right]^4 = \left[\frac{45 \times 13\%}{5,4} \right]^4 = 0,0327E$$

- Roda Belakang Ke-1

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{45 \times 20\%}{13,76} \right]^4 = 0,1830E$$

- Roda Belakang Ke-2

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{45 \times 20\%}{13,76} \right]^4 = 0,1830E$$

- Roda Belakang Ke-3

$$\text{Ekivalen } STrRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 = \left[\frac{45 \times 16\%}{18,45} \right]^4 = 0,0232E$$

- Roda Belakang Ke-4

$$\text{Ekivalen } STrRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 = \left[\frac{45 \times 16\%}{18,45} \right]^4 = 0,0232E$$

- Roda Belakang Ke-5

$$\text{Ekivalen } STrRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 = \left[\frac{45 \times 16\%}{18,45} \right]^4 = 0,0232E$$

Tabel 4. Distribusi Beban Sumbu Kendaraan Kondisi Beban Aktual

No	Tipe Kendaraan			Berat Total (Ton)	Konfigurasi Beban Sumbu Roda (Ton)					
	Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan	Konfigurasi Sumbu		Roda Depan STRT	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5
1	Sedan, jeep Angkutan	2	1.1	1,95	0,0011	0,0011	-	-	-	-
2	penumpang sedang	3	1.1	3,45	0,0104	0,0104	-	-	-	-
3	Pick up	4	1.1	2,8	0,0045	0,0045	-	-	-	-
4	Mikro truk	4	1.2	5,9	0,0190	0,0519	-	-	-	-
5	Bus Kecil	5a	1.1	5,1	0,0497	0,0497	-	-	-	-
6	Bus Sedang	5a	1.2	5,57	0,0151	0,0412	-	-	-	-
7	Bus Besar	5b	1.2	14,05	0,6124	1,6677	-	-	-	-
8	Truk Sumbu	2 6	1.2	16	1,0300	2,8048	-	-	-	-
9	Truk Sumbu	3 7a	1.22	26	2,0993	0,2521	0,2521	-	-	-
10	Traktor Sumbu + Trailer Sumbu	2 3 7c	1.2 - 222	32,1	1,6273	0,6701	0,0394	0,0394	0,0394	-
11	Traktor Sumbu + Trailer Sumbu	3 3 7c	1.22 - 222	46	0,0357	0,1998	0,1998	0,0253	0,0253	0,0253

Perhitungan yang dilakukan dalam menentukan konfigurasi beban sumbu roda (ton):

- Perhitungan distribusi beban kendaraan Mikro Truk

- Roda Depan

$$\text{Ekivalen } STRT = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,4} \right]^4 = \left[\frac{5,9 \times 34\%}{5,4} \right]^4 = 0,0190E$$

- Roda Belakang

$$\text{Ekivalen } STRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{8,16} \right]^4 = \left[\frac{5,9 \times 66\%}{8,16} \right]^4 = 2,8048E$$

- Perhitungan distribusi beban kendaraan Truk 3 Sumbu

- Roda Depan

$$\text{Ekivalen } STRT = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,4} \right]^4 = \left[\frac{26 \times 25\%}{5,4} \right]^4 = 2,0993E$$

- Roda Belakang Ke-1

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{26 \times 37,5\%}{13,76} \right]^4 = 0,2521E$$

- Roda Belakang Ke-2

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{26 \times 37,5\%}{13,76} \right]^4 = 0,2521E$$

- Perhitungan Distribusi Kendaraan Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu

- Roda Depan

$$\text{Ekivalen } STRT = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{5,4} \right]^4 = \left[\frac{46 \times 13\%}{5,4} \right]^4 = 0,0357E$$

- Roda Belakang Ke-1

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{46 \times 20\%}{13,76} \right]^4 = 0,1998E$$

- Roda Belakang Ke-2

$$\text{Ekivalen } STdRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 = \left[\frac{46 \times 20\%}{13,76} \right]^4 = 0,1998E$$

- Roda Belakang Ke-3

$$\text{Ekivalen } STrRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 = \left[\frac{46 \times 16\%}{18,45} \right]^4 = 0,0253E$$

- Roda Belakang Ke-4

$$\text{Ekivalen } STrRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 = \left[\frac{46 \times 16\%}{18,45} \right]^4 = 0,0253E$$

- Roda Belakang Ke-5

$$\text{Ekivalen } STrRG = \left[\frac{\text{beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 = \left[\frac{46 \times 16\%}{18,45} \right]^4 = 0,0253E$$

Nilai VDF (angka ekivalen) kendaraan pada kondisi beban kendaraan normal dan aktual telah diatur dalam Manual Desain Perkerasan Jalan (2017). Hal tersebut dikarenakan, survei beban gandar secara mekanis tidak memungkinkan untuk dilakukan sehingga nilai VDF yang digunakan mengacu pada MDPJ (2017) yang disesuaikan dengan regional ruas jalan yang diteliti. Nilai VDF kondisi beban normal dan aktual yang pada penelitian ini merupakan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat *Weigh in Motion* (WIM) oleh Direktorat Jenderal Bina Marga (MDPJ, 2017).

Tabel 5. Nilai VDF Kondisi Beban Normal dan Kondisi Beban Aktual Regional Sumatera

No	Tipe Kendaraan		Konfigurasi Sumbu	Nilai VDF (AE)	
	Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan		Kondisi Normal	Kondisi Aktual
1	Sedan, jeep	2	1.1	0,0005	0,0170
2	Angkutan penumpang sedang	3	1.1	0,0005	0,1666
3	<i>Pick up</i>	4	1.1	0,0061	0,50
4	Mikro truk	4	1.2	0,2174	0,50
5	Bus Kecil	5a	1.1	0,0995	0,7956
6	Bus Sedang	5a	1.2	0,0563	1,1320
7	Bus Besar	5b	1.2	1,00	1,00
8	Truk 2 Sumbu	6	1.2	4,60	7,40
9	Truk 3 Sumbu	7a	1.22	5,60	20,00
10	Traktor 2 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.2 - 222	8,00	42,80
11	Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.22 - 222	8,00	51,70

Semakin besar beban yang diangkut oleh kendaraan, maka nilai VDF-nya akan meningkat seiring dengan bertambahnya beban muatan kendaraan. Dengan menggunakan nilai VDF (*vehicle damage factor*), dapat memperkirakan umur rencana jalan dan jadwal pemeliharaan jalan yang mungkin diperlukan. VDF secara langsung dipengaruhi oleh beban kendaraan. Kendaraan dengan beban yang

lebih besar memiliki nilai VDF yang lebih tinggi karena dapat menyebabkan lebih banyak kerusakan pada perkerasan jalan. Semakin berat beban kendaraan, semakin besar kontribusi terhadap total nilai VDF.

Data LHR (Lalu Lintas Harian Rata-rata) tahun 2024 digunakan untuk menentukan nilai VDF kumulatif jalan kondisi normal dengan mengalikan LHR 2024 terhadap VDF kondisi beban normal, sehingga nilai VDF kumulatif kondisi beban normal dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 6. VDF Kumulatif Kondisi Normal

No	Tipe Kendaraan			LHR Kendaraan 2024 (kend/tahun)	Nilai VDF (AE)	
	Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan	Konfigurasi Sumbu		VDF Normal	VDF Kumulatif
1	Sedan, jeep	2	1.1	997.180	0,0005	448,73
2	Angkutan penumpang sedang	3	1.1	682.185	0,0005	306,98
3	Pick up	4	1.1	496.765	0,0061	3.039,63
4	Mikro truk	4	1.2	568.670	0,2174	123.628,86
5	Bus Kecil	5a	1.1	526.695	0,0995	52.381,13
6	Bus Sedang	5a	1.2	481.435	0,0563	27.115,13
7	Bus Besar	5b	1.2	432.890	1,00	432.890
8	Truk 2 Sumbu	6a	1.2	210.240	4,60	967.104
9	Truk 3 Sumbu	7a	1.22	302.950	5,60	1.696.520
10	Traktor 2 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.2 - 222	52.560	8,00	420.480
11	Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.22 - 222	70.080	8,00	560.640
Total						4.284.554,47

Untuk memperoleh data VDF kumulatif, dilakukan perhitungan dengan mengalikan LHR kendaraan terhadap nilai VDF kondisi normal. Berikut ini merupakan proses perhitungan yang dilakukan dalam menentukan VDF kumulatif beberapa jenis kendaraan berdasarkan data LHR kendaraan 2024:

- Truk 2 Sumbu
 $VDF \text{ Kumulatif} = LHR_j \times VDF_j = 210.240 \times 4.60 = 967.104AE$
- Truk 3 Sumbu
 $VDF \text{ Kumulatif} = LHR_j \times VDF_j = 302.950 \times 5.60 = 1.696.520AE$
- Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu
 $VDF \text{ Kumulatif} = LHR_j \times VDF_j = 70.080 \times 8.00 = 560.640AE$

Nilai VDF kumulatif kondisi beban aktual lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi beban normal, hal tersebut dikarenakan pengaruh dari volume kendaraan *overload* dengan beban yang melebihi beban normal kendaraan, sehingga memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap kerusakan yang terjadi pada lapisan struktur perkerasan jalan

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh, diketahui tebal masing-masing lapisan struktur perkerasan jalan, sehingga dilakukan perhitungan Wt_{18} dengan menggunakan metode analisa komponen (AASHTO, 1972):

- Lapisan *Surface (Asphalt Concrete)*
 Tebal pekerasan = 10cm
 $a_1 = 0,4$; menggunakan material Laston
 ITP = $10 \times 0,4 = 4cm$
- Lapisan Pondasi Atas
 Nilai CBR = 90%
 Tebal perkerasan = 20cm
 $a_2 = 0,14$; menggunakan material batu pecah kelas A
 ITP = $20 \times 0,14 = 6,8cm$
- Lapisan Pondasi Bawah
 Nilai CBR = 60%
 Tebal perkerasan = 40cm
 $a_2 = 0,13$; menggunakan material sirtu/pitrun kelas A
 ITP = $40 \times 0,13 = 12cm$

- d) Lapisan *Subgrade*
 Nilai CBR = 6%
 Daya Dukung Tanah = $(4,3 \times \log 6) + 1,7 = 5,04$
- e) IPo = 4; menggunakan jenis perkerasan LASTON
- f) IPT = 2,5; nilai LHR 2024 > 1000 kend/hari
- g) FR = 3; Faktor Regional dengan kelandaian >10%

Dengan menggunakan metode analisa komponen (AASHTO, 1972), dapat ditentukan nilai ESAL rencana (Wt_{18}) saat mencapai umur rencana yaitu 15 tahun. Sehingga, Wt_{18} perencanaan masing-masing lapisan perkerasan diperoleh sebagai berikut:

$$Wt_{18} = 9,36 \log(IPT + 1) - 0,20 + \frac{Gt}{\left(0,40 + \left(\frac{1094}{(IPT+1)^{5,19}}\right)\right)} + \log FR + 0,372(DDT - 3)$$

$$Wt_{18} = 142.342,63 \text{ ESAL}$$

Umur rencana perkerasan adalah 15 tahun, dimana jalan tersebut baru saja dilakukan perbaikan secara menyeluruh dan kembali normal dilalui oleh kendaraan sejak tanggal 5 Januari 2024. Untuk menghitung penurunan umur rencana pada kondisi beban normal pada kendaraan dapat menggunakan nilai VDF kumulatif kondisi beban normal dan volume lalu lintas harian dalam setahun untuk menghitung nilai ESAL selama 15 tahun umur rencana. Laju pertumbuhan lalu lintas pada regional Sumatera menurut MDPJ (2017) adalah sebesar 4,83%, sehingga grafik pertumbuhan lalu lintas untuk menentukan ESAL 15 tahun rencana dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Grafik Pertumbuhan Lalu Lintas

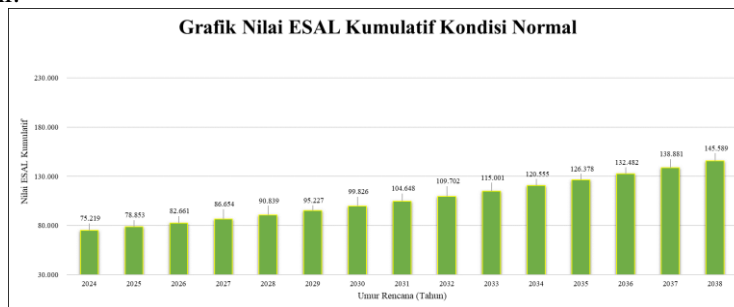
Berdasarkan data LHR, dilakukan analisis ESAL Kumulatif pada 15 tahun rencana (sesuai metode AASHTO, 1993) dengan pertimbangan faktor distribusi arah (D_D) dan faktor Distribusi Lajur (D_L). Nilai ESAL kumulatif kondisi normal untuk tahun ke-1 yaitu:

$$Wt_{18} = \sum_{N_1}^{N_n} LHR \times VDF \times D_D \times D_L \times R \times 365$$

$$Wt_{18} = 13.210 \times 11.739 \times 0,5 \times 1 \times 0,04 \times 365$$

$$Wt_{18} = 75.219 \text{ ESAL}$$

Untuk grafik perhitungan nilai ESAL Kumulatif kondisi beban normal kendaraan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. Grafik Nilai ESAL Kumulatif Kondisi Normal

Dari grafik nilai ESAL kondisi normal di atas, dapat diperoleh persentase sisa umur rencana perkerasan jalan (*remaining life*) dalam kondisi normal sebagai berikut:

$$RL = 100 \left[1 - \left(\frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \right] = 100 \left[1 - \left(\frac{138.881}{142.343} \right) \right] = 2,43\%$$

Berdasarkan hasil tersebut, ruas Jalan Pematang Raya – Siantar mengalami penurunan umur rencana sebesar 2,43% setiap tahunnya hingga akhir umur perkerasan apabila beban pada kendaraan berada pada kategori normal (tidak *overload*).

Berdasarkan perhitungan Wt_{18} rencana, diperoleh nilai ESAL pada akhir umur rencana 15 tahun sebesar 142.342,63 ESAL. Jika dilihat dari Gambar 4.2, ESAL akhir umur rencana yang diperoleh berdasarkan analisis kondisi beban normal adalah 145.589 ESAL. Jika dilakukan interpolasi untuk menentukan umur rencana jalan pada kondisi normal, maka:

$$UR = \frac{(142.343-138.881)}{(145.589-138.881)} \times (2038 - 2037)$$

$$UR = 0,52 \text{ Tahun}$$

Total Umur Rencana Jalan = 14 + 0,52 = 14,52 tahun atau setara dengan 14 tahun 6 bulan.

Berdasarkan hasil tersebut, apabila kendaraan yang melintas selalu dalam kondisi beban normal (terkontrol), umur rencana akan tercapai berdasarkan nilai ESAL yang diperoleh. Karena, nilai ESAL rencana lebih besar jika dibandingkan dengan nilai ESAL pada kondisi beban normal kendaraan.

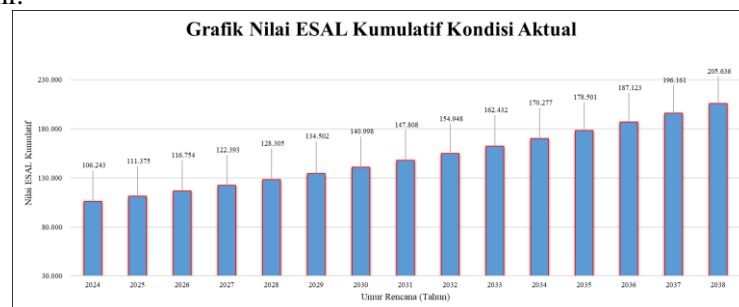
Berdasarkan data LHR, dilakukan analisis ESAL Kumulatif pada 15 tahun rencana (AASHTO, 1993) dengan pertimbangan faktor distribusi arah (D_D) dan faktor Distribusi Lajur (D_L). Nilai ESAL kumulatif kondisi aktual untuk tahun ke-1 yaitu:

$$Wt_{18} = \sum_{N_1}^{N_n} LHR \times VDF \times D_D \times D_L \times R \times 365$$

$$Wt_{18} = 13.210 \times 16.580 \times 0,5 \times 1 \times 0,04 \times 365$$

$$Wt_{18} = 106.243 \text{ ESAL}$$

Untuk grafik perhitungan nilai ESAL Kumulatif kondisi beban aktual kendaraan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Grafik Nilai ESAL Kumulatif Kondisi Aktual

Dari grafik nilai ESAL kondisi aktual di atas, dapat diperoleh persentase sisa umur rencana perkerasan jalan (*remaining life*) dalam kondisi aktual menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$RL = 100 \left[1 - \left(\frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \right] = 100 \left[1 - \left(\frac{106.243}{142.343} \right) \right] = 25,36\%$$

Berdasarkan hasil tersebut, ruas Jalan Pematang Raya – Siantar sampai saat ini telah mengalami penurunan umur rencana sebesar 25,36% akibat adanya beberapa jenis kendaraan yang melintas dalam keadaan beban *overload*. Apabila kondisi ini tidak segera diselesaikan, maka bisa dipastikan bahwa ruas jalan tersebut hanya mampu bertahan hingga tahun 2030.

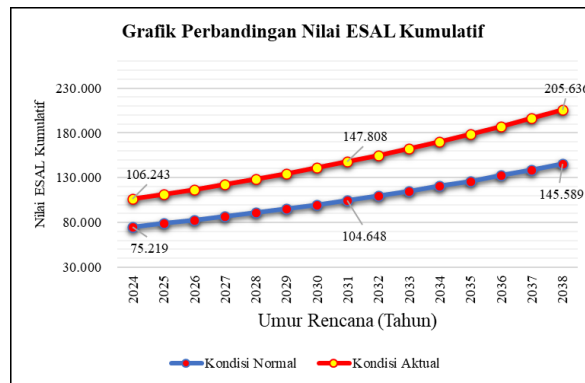
Berdasarkan perhitungan Wt_{18} rencana, diperoleh nilai ESAL pada akhir umur rencana 15 tahun sebesar 205.636 ESAL. Ruas jalan tersebut terlebih dahulu mencapai *total fatigue* saat umur rencana masih mencapai 7,20 tahun. Jika dilakukan interpolasi untuk menentukan umur rencana jalan pada kondisi aktual, maka:

$$UR = \frac{(142.343-140.998)}{(147.808-140.998)} \times (2031 - 2030)$$

$$UR = 7,20 \text{ Tahun}$$

Penurunan Umur Rencana = 15 – 7,20 = 7,80 tahun atau setara dengan 7 tahun 2 bulan.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, ruas jalan tersebut hanya mampu bertahan hingga 2030 dikarenakan kondisi kendaraan yang melintas banyak mengangkut beban bermuatan sarat yang dapat mengakibatkan terjadinya pengurangan umur rencana secara signifikan. Grafik perbandingan nilai ESAL kumulatif kondisi beban kendaraan normal dan beban kendaraan aktual selama umur rencana:



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai ESAL Kumulatif

Nilai Derajat Kerusakan merupakan variabel yang digunakan untuk menentukan derajat kemampuan perkerasan jalan dalam melayani beban kendaraan yang melintas selama periode umur rencana dengan menggunakan data LHR kendaraan dan nilai ESAL (*Equivalent Standart Axle Load*). Untuk menentukan Nilai Derajat Kerusakan Jalan (DKJ) dapat menggunakan persamaan *truck factor* (TF).

Untuk memperoleh nilai Wt18 sama halnya dengan menghitung nilai VDF Kumulatif, yaitu dengan melakukan perhitungan dengan perkalian LHR kendaraan terhadap nilai VDF kondisi normal. Berikut ini merupakan proses perhitungan yang dilakukan dalam menentukan Wt18 beberapa jenis kendaraan:

- Truk 2 Sumbu
 $Wt18 = LHR_j \times VDF_j = 210.240 \times 4.60 = 967.104 \text{ ESAL}$
- Truk 3 Sumbu
 $Wt18 = LHR_j \times VDF_j = 302.950 \times 5.60 = 1.696.520 \text{ ESAL}$
- Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu
 $VDF \text{ Kumulatif} = LHR_j \times VDF_j = 70.080 \times 8.00 = 560.640 \text{ ESAL}$

Berdasarkan hasil analisis Wt18 kondisi beban normal terhadap LHR kendaraan pertahun, diperoleh nilai Wt18 pada tabel berikut:

Tabel 7. Nilai ESAL Kendaraan Kondisi Normal

No	Tipe Kendaraan			LHR Kendaraan 2024 (kend/tahun)	Nilai VDF (AE)	Nilai Wt18 (ESAL)
	Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan	Konfigurasi Sumbu			
1	Sedan, jeep	2	1.1	997.180	0,00045	448,73
2	Angkutan penumpang sedang	3	1.1	682.185	0,00045	306,98
3	Pick up	4	1.1	496.765	0,00612	3.039,63
4	Mikro truk	4	1.2	568.670	0,21740	123.628,86
5	Bus Kecil	5a	1.1	526.695	0,09945	52.381,13
6	Bus Sedang	5a	1.2	481.435	0,05632	27.115,13
7	Bus Besar	5b	1.2	432.890	1,00	432.890
8	Truk 2 Sumbu	6a	1.2	210.240	4,60	967.104
9	Truk 3 Sumbu	7a	1.22	302.950	5,60	1.696.520
10	Traktor 2 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.2 - 222	52.560	8,00	420.480
11	Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.22 - 222	70.080	8,00	560.640
Total				4.821.650		4.284.554,47

Berdasarkan di atas, diperoleh nilai ESAL 4.284.554,47 dengan jumlah LHR (N) adalah 4.821.650 kend/tahun, sehingga nilai derajat kerusakan jalan pada kondisi normal:

$$TF = \frac{ESAL}{LHR} = \frac{4.284.554,47}{4.821.650} = 0,9$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa nilai *truck factor* (TF) < 1, sehingga jalan tersebut dikategorikan hampir mencapai kondisi *overload* akibat beban lalu lintas. Jika beban kendaraan yang

melintas berada dalam kondisi normal, ruas jalan Pematang Raya – Siantar seharusnya masih dalam kondisi optimal untuk melayani beban kendaraan yang melintas.

Untuk memperoleh nilai Wt18 kondisi beban aktual, dilakukan perhitungan dengan mengalikan LHR kendaraan terhadap nilai VDF untuk kondisi normal dan kondisi aktual. Berikut ini merupakan proses perhitungan yang dilakukan dalam menentukan VDF kumulatif beberapa jenis kendaraan berdasarkan data LHR kendaraan 2024:

- Truk 2 Sumbu
 $Wt18 = LHR_j \times VDF_j = (217.209 \times 5,60) + (85.741 \times 20) = 2.931.184,15 ESAL$
- Truk 3 Sumbu
 $Wt18 = LHR_j \times VDF_j = (48.593 \times 8,00) + (3.967 \times 42,80) = 558.524,38 ESAL$
- Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu
 $Wt18 = LHR_j \times VDF_j = (63.469 \times 8,00) + (6.611 \times 51,70) = 849.554,72 ESAL$

Berdasarkan hasil analisis Wt18 kondisi beban aktual terhadap LHR kendaraan pertahun, diperoleh nilai Wt18 pada tabel berikut:

Tabel 8. Nilai ESAL Kendaraan Kondisi Aktual

No	Tipe Kendaraan			LHR 2024 (Kend)	LHR Kondisi Normal 2024 (Kend)	LHR Kondisi Overload 2024 (Kend)	Nilai VDF (AE)		Nilai Wt18 (ESAL)
	Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan	Konfigurasi Sumbu				VDF Normal	VDF Aktual	
1	Sedan, jeep Angkutan	2	1.1	997.180	997.180	-	0,0005	0,017	448,73
2	penumpang sedang	3	1.1	682.185	682.185	-	0,0005	0,1666	306,98
3	Pick up	4	1.1	496.765	393.663	103.102	0,0061	0,5	53.959,85
4	Mikro truk	4	1.2	568.670	375.537	193.133	0,2174	0,5	178.208,30
5	Bus Kecil	5a	1.1	526.695	526.695	-	0,0995	0,7956	52.381,13
6	Bus Sedang	5a	1.2	481.435	481.435	-	0,0563	1,132	27.115,13
7	Bus Besar	5b	1.2	432.890	432.890	-	1	1	432.890
8	Truk 2 Sumbu	6a	1.2	210.240	210.240	-	4,6	7,4	967.104
9	Truk 3 Sumbu	7a	1.22	302.950	217.209	85.741	5,6	20	2.931.184,15
10	Traktor 2 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.2 - 222	52.560	48.593	3.967	8	42,8	558.524,38
11	Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c	1.22 - 222	70.080	63.469	6.611	8	51,7	849.554,72
Total				4.821.650	4.429.096	392.554			6.051.677,37

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh nilai ESAL 6.051.667,37 dengan jumlah LHR (N) adalah 4.821.650 kend/tahun, sehingga nilai derajat kerusakan jalan pada kondisi aktual:

$$TF = \frac{ESAL}{LHR} = \frac{6.051.677,37}{4.821.650} = 1,3$$

Dari perhitungan di atas dapat dinilai bahwa nilai *truck factor* (TF) > 1, sehingga jalan tersebut dikategorikan sudah mencapai kondisi *overload* dan rusak parah akibat lalu lintas kendaraan dengan beban berat secara ekstensif sehingga perlu dilakukan pemeliharaan tepat waktu sebelum mencapai *total fatigue*.

Lokasi	Tipe Kondisi Kendaraan	Wt18 Perkerasan Jalan (ESAL)	Penurunan Umur Rencana Perkerasan Jalan	Total Umur Rencana Perkerasan Jalan
Jalan Pematang Raya - Siantar	Perencanaan	142.343	-	15 Tahun
	Kondisi Beban Normal	145.589	0,48 Tahun	14,52 Tahun
	Kondisi Beban Aktual	205.636	7,80 Tahun	7,20 Tahun

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan dan penelitian yang dilakukan pada ruas jalan Pematang Raya – Siantar yang berlokasi Kabupaten Simalungun, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa tipe kendaraan yang melanggar Muatan Sumbu Terberat (MST), diantaranya yaitu *pickup* (golongan 4) sebesar 20,75%, mikro truk (golongan 4) sebesar 33,96%, truk 3 sumbu (golongan 7a) sebesar 28,30%, traktor 2 sumbu + trailer 3 sumbu (golongan 7c) sebesar 7,55%, dan traktor 3 sumbu + trailer 3 sumbu (golongan 7c) sebesar 9,43%. Semakin besar persentase muatan berlebih pada kendaraan, akan berpengaruh terhadap peningkatan nilai *vehicle damage factor* pada kondisi beban normal.
- (2) Berdasarkan metode AASHTO 1993, dilakukan analisis sisa umur rencana perkerasan jalan dengan menentukan Wt18 rencana sesuai dengan spesifikasi dan tebal perkerasan ruas Jalan Pematang Raya – Siantar untuk umur rencana jalan selama 15 tahun. Pada kondisi kendaraan beban normal, diperoleh nilai *remaining life* sebesar 2,43% dengan sisa umur rencana jalan sebesar 14,52 tahun sehingga penurunan umur rencana jalan yaitu sebesar 0,48 tahun, sedangkan pada kondisi kendaraan beban aktual, diperoleh nilai *remaining life* sebesar 25,36% dengan sisa umur rencana sebesar 7,20 tahun sehingga terjadi penurunan umur rencana jalan yang cukup signifikan yaitu sebesar 7,80 tahun. Setiap tipe kendaraan yang melintas pada ruas jalan tertentu sangat berpengaruh terhadap umur rencana jalan, karena beban yang didistribusikan akan merusak lapisan perkerasan jalan. Semakin besar persentase beban kendaraan yang melintas, maka nilai *vehicle damage factor* akan semakin meningkat sehingga mengurangi umur jalan.
- (3) Dengan MST jalan sebesar 10 Ton, dilakukan perhitungan Derajat Kerusakan Jalan (DKJ) dengan menentukan nilai *truck factor* (TF) dari Wt18 (ESAL) kondisi beban normal dan beban aktual terhadap volume lalu lintas selama 1 tahun. Sehingga berdasarkan analisis yang dilakukan, diperoleh nilai *truck factor* (TF) untuk jalan dengan kondisi beban normal sebesar 0,9 sedangkan nilai *truck factor* (TF) untuk jalan dengan kondisi beban aktual sebesar 1,3. Berdasarkan nilai tersebut menjelaskan bahwa kerusakan jalan disebabkan oleh beban kendaraan *overload* yang melintas.

References

- [1] A. Sianipar, “Analisis Distribusi Beban Pada Kendaraan Angkutan Barang Sesuai dengan Konfigurasi Axle,” *Warta Penelitian Perhubungan*, pp. 11-20, 2020.
 - [2] F. Miro, *Perencanaan transportasi: untuk mahasiswa, perencana, dan praktisi*, Jakarta: Erlangga, 2005.
 - [3] AASHTO, *A Policy On Geometric Design of Highways and Streets*. 6th edition, Washington D.C.: AASHTO, 2011.
 - [4] Bina Marga, *Pedoman Desain Geometrik Jalan (PDGJ)*. Nomor 20/SE/Db/2021, Jakarta: Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021.
 - [5] A. Munawar, *Dasar-Dasar Teknik Transportasi*, Yogyakarta: Beta Offset, 2005.
 - [6] S. Sukirman, *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*, Bandung: NOVA, 2010.
 - [7] W. Morisca, “Evaluasi Beban Kendaraan Terhadap Derajat Kerusakan dan Umur Sisa Jalan (Studi Kasus: PPT. Simpang Nibung dan PPT. Merapi, Sumatera Selatan),” *Journal of Civil and Environmental Engineering*, pp. -, 2014.
 - [8] S. Sukirman, *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*, Bandung: NOVA, 1999.
-

- [9] A. Wachid dan M. Effendy, "Analisis Dampak Beban Overloading Kendaraan Berat Angkutan Barang Terhadap Berkurangnya Umur Rencana Jalan," *Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur*, 2023.
- [10] KPJU Unggulan UMKM, "Penelitian KPJU Unggulan UMKM Provinsi Sumatera Utara," Bank Indonesia, Jakarta, 2018.
- [11] A. Nizar, D. Saragih, D. Damanik, N. Sianturi dan Y. Armansyah, "ANALISA PERKERASAN JALAN WIBAWA DI KECAMATAN GUNUNG MALIGAS KABUPATEN SIMALUNGUN," *Jurnal Sainteksipil*, pp. 79-91, 2022.
- [12] L. Sentosa dan A. A. Roza, "Analisis Dampak Beban Overloading Kendaraan Pada Struktur Rigid Pavement Terhadap Umur Rencana Perkerasan (Studi Kasus Jalan Simp. Lago - Sorek KM 77 S/D 78)," *Jurnal Insinyur Profesional*, 2023.
- [13] G. I. Simanjuntak, A. Pramusetyo, B. Riyanto dan S. Supriyono, "Analisis Pengaruh Muatan Lebih (Overloading) Terhadap Kinerja Jalan dan Umur Rencana Perkerasan Lentur (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pringsurat, Ambarawa-Magelang)," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 3, no. 3, pp. 539-551, 2014.
- [14] D. I. Pau dan S. Oktavia, "Pengaruh Beban Lebih (Overload) Terhadap Pengurangan Umur Rencana Perkerasan Jalan Pada Ruas Jalan Hasanudin-Yos Sudarso Di Kabupaten Sikka," *SIARTEK*, vol. 3, no. 2, pp. 29-36, 2017.
- [15] A. Refi, A. Roza dan D. D. Murni, "Dampak Kelebihan Muatan Terhadap Umur Rencana Perkerasan Jalan," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, vol. 17, no. 2, pp. 106-201, Oktober 2020.
- [16] D. Firdaus, M. Isya dan S. M. Saleh, "Pengaruh Beban Kendaraan Terhadap Umur Desain Perkerasan (Studi Kasus Jalan Nasional Labaro - Batas Pidie Provinsi Aceh)," *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan (JARSP)*, vol. 3, no. 1, pp. 10-18, 2018.
- [17] Pemerintah Republik Indonesia, Undang-Undang No. 38 Tahun 2004 Tentang Jalan.
- [18] Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Nomor Pd T-05-2005-B.
- [19] S. Hendarsin, Perencanaan Geometrik Teknik Jalan Raya. Edisi Pertama., Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung, 2000.
- [20] Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI-2.3.26.1987:625.72, 1987.
- [21] AASHTO, Guide for Design of Pavement Structure, Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
- [22] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Manual Desain Perkerasan Jalan, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017.