

Perhitungan Umur Sisa Perkerasan Lentur Berdasarkan Analisis Data Lalu Lintas pada Ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Manokwari, Papua Barat

(Estimastion of Remaining Service Life of Flexible Pavement Based on Traffic Data Analysis on Drs. Esau Sesa Road, Manokwari, West Papua)

Winda Sary de Queljoe¹, Made Budi Purnama Putra², Tegar Adi Nata³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat

¹ws.dequeljoe@unipa.ac.id, ²mbp.putra@unipa.ac.id, ³tegaradinata13@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima 31 Oktober 2025

Direvisi 31 Oktober 2025

Disetujui 31 Oktober 2025

Keywords:

Flexible pavement

Remaining service life

ESAL

CESAL

AASHTO 1993

Kata Kunci:

Perkerasan lentur

Umur sisa perkerasan

ESAL

CESAL

AASHTO 1993

ABSTRACT

Roads are vital infrastructure that support the social, economic, and logistical activities of a region. Over time, pavement performance decreases due to repeated traffic loads, environmental conditions, and construction quality variations. This study aims to analyze the remaining service life of flexible pavement based on traffic data on Drs. Esau Sesa Road, Manokwari Regency, West Papua Province. Traffic data were collected through a seven days survey in December 2024 and processed using the Indonesia Highway Capacity Manual (PKJI, 2023) and the Road Pavement Design Manual (MDPJ, 2024). Equivalent single axle load (ESAL) and cumulative ESAL (CESAL) calculations were conducted for a 20 years projection period (2024-2044). The analysis result indicated for a CESAL value of 2,393,429 ESAL with an initial remaining service life (RSL) of 98,91% in 2025, decreasing to 21,84% with a CESAL of 186,079,039 ESAL in 2044. Based on the AASHTO (1993) classification, the pavement condition requires routine maintenance until 2038, overlay between 2039-2043, and rehabilitation in 2044.

ABSTRAK

Jalan merupakan infrastruktur vital yang mendukung aktivitas sosial, ekonomi, dan logistik suatu wilayah. Seiring waktu, kinerja perkerasan jalan menurun akibat beban lalu lintas berulang, kondisi lingkungan, serta mutu konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis umur sisa perkerasan lentur berdasarkan data lalu lintas pada ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. Data lalu lintas dikumpulkan melalui survei selama tujuh hari pada Desember 2024 dan diolah menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 serta Manual Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024. Perhitungan beban lalu lintas ekuivalen (ESAL) dan kumulatif (CESAL) dilakukan untuk periode proyeksi 20 tahun (2024-2044). Hasil analisis menunjukkan nilai CESAL sebesar 2.392.429 ESAL dengan umur sisa perkerasan (*Remaining Service Life*) awal 98,91% pada tahun 2025 yang menurun menjadi 21,84% dengan CESAL 186.079.039 ESAL pada tahun 2044. Berdasarkan klasifikasi AASHTO (1993), kondisi jalan memerlukan pemeliharaan rutin hingga tahun 2038, *overlay* pada 2039-2043, dan rehabilitasi pada tahun 2044.

Koresponden:

Winda Sary de Queljoe

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat, Indonesia

Jl. Gunung Salju, Amban, Manokwari, Papua Barat, 98314

Email: ws.dequeljoe@unipa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan infrastruktur dasar yang berperan penting dalam mendukung aktivitas sosial, ekonomi, dan logistik suatu wilayah. Kondisi dan kinerja perkerasan jalan secara langsung memengaruhi efisiensi transportasi serta biaya operasi kendaraan. Seiring waktu, perkerasan akan mengalami penurunan kinerja akibat beban lalu lintas berulang, kondisi lingkungan, serta mutu konstruksi yang tidak seragam. Salah satu indikator utama dalam menilai daya tahan dan umur sisa perkerasan adalah beban lalu lintas ekuivalen atau *equivalent single axle load* (ESAL), yang menggambarkan akumulasi beban kendaraan terhadap kapasitas struktur jalan [1];[2].

Volume lalu lintas dan beban kendaraan sangat berpengaruh terhadap menurunnya umur layanan perkerasan jalan. Semakin bertambahnya beban kendaraan, maka akan semakin bertambah juga daya rusak karena konsentrasi beban yang tinggi. Penyebab utama kerusakan badan jalan yaitu disebabkan oleh kendaraan niaga yang membawa muatan. Apabila beban aktual berlebih, maka umur rencana akan berkurang [3].

Umur sisa perkerasan merupakan selisih antara total umur rencana jalan dengan umur yang telah digunakan berdasarkan beban lalu lintas yang telah diterima. Nilai ESAL aktual yang melebihi kapasitas desain akan mempercepat penurunan kondisi struktural dan mempersingkat umur layanan perkerasan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kelebihan beban kendaraan (*overloading*) dapat mengurangi umur rencana perkerasan hingga lebih dari 50%, tergantung pada jenis perkerasan dan ketebalan lapisan [4];[5].

Kabupaten Manokwari sebagai ibukota Provinsi Papua Barat, mengalami peningkatan aktivitas transportasi yang signifikan seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur. Ruas jalan Drs. Esau Sesa merupakan jalan penghubung penting dengan aktivitas komersial yang tinggi dan intensitas parkir di tepi jalan, sehingga berpotensi menurunkan *level of service* (LOS). Peningkatan jumlah kendaraan berat pengangkut material dan logistik menimbulkan beban lalu lintas tinggi yang berpotensi melebihi kapasitas desain perkerasan eksisting. Selain itu, kondisi topografi dan curah hujan tinggi di wilayah ini turut mempercepat kerusakan struktural akibat kelembaban yang meresap ke lapisan bawah perkerasan. Studi sebelumnya pada ruas jalan ini melaporkan karakteristik arus lalu lintas dan tingkat kejenuhan yang mengindikasikan beban penggunaan yang cukup besar, sehingga kebutuhan evaluasi umur sisa perkerasan menjadi relevan untuk perencanaan pemeliharaan [6].

Analisis umur sisa perkerasan berbasis ESAL menjadi penting untuk menilai sejauh mana struktur jalan masih mampu menahan beban lalu lintas di masa mendatang. Evaluasi umur sisa perkerasan lentur dapat dilakukan dengan pendekatan mekanistik-empiris, seperti yang dikembangkan dalam AASHTO 1993, menggunakan parameter lalu lintas yang dikonversi ke satuan ESAL sebagai dasar penilaian kapasitas struktural [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis umur sisa perkerasan lentur pada ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Manokwari yang didasarkan pada data lalu lintas kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung umur sisa perkerasan.

2. METODE

Penelitian ini bersifat kuantitatif yang bertujuan untuk mengukur kondisi eksisting dari ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. Ruas ini memiliki panjang kurang lebih 5,2 km. Survei dan pengumpulan data dilakukan pada Desember 2024, mencakup survei lalu lintas dan geometrik jalan. Data lalu lintas diperoleh melalui survei selama 7 (tujuh) hari berturut-turut dengan berpedoman pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023. Data ini digunakan untuk menghitung LHR dan komposisi kendaraan berat. Setelah semua data dari lapangan terkumpul, kemudian dilakukan pengolahan data dengan berlandaskan pada peraturan maupun pedoman yang berlaku [8].

Selanjutnya dilakukan perhitungan lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada tahun survei, penentuan faktor pertumbuhan lalu lintas (*i*), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (*R*), nilai *vehicle damage factor* (VDF) untuk wilayah Papua dan parameter lainnya yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas ekuivalen (ESAL) berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 [2]. Setelah mendapatkan nilai ESAL pada tahun survei, kemudian dilakukan proyeksi nilai ESAL hingga 20 tahun ke depan, sehingga dapat ditentukan kumulatif beban lalu lintas ekuivalen (CESAL) selama 20 tahun. Jadi pada penelitian ini, akan dilakukan perhitungan CESAL dari tahun 2024 sampai dengan tahun 2044.

Tahapan berikutnya yaitu dilakukan perhitungan umur sisa perkerasan atau *remaining service life* (RSL) dan interpretasi dari nilai RSL yang dihasilkan berdasarkan metode AASHTO 1993. Jika nilai $RSL > 60\%$, maka kondisi perkerasan jalan masih baik dan hanya memerlukan pemeliharaan rutin, jika $30\% \leq RSL \leq 60\%$, maka diperlukan pemeliharaan berkala atau perkuatan lapisan (*overlay*), dan jika nilai $RSL < 30\%$, maka perkerasan jalan perlu untuk direhabilitasi atau rekonstruksi [9];[10].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan dari pelaksanaan survei di lapangan kemudian diolah dan dianalisis sesuai dengan metode penelitian yang ditetapkan untuk mendapatkan umur sisa perkerasan dan rekomendasi perbaikan. Berikut merupakan penyajian hasil dan pembahasan dari penelitian ini.

3.1. Lalu Lintas Harian Rata-rata

Survei volume lalu lintas pada ruas Jalan Drs Esau Sesa menghasilkan data seperti yang tersaji di dalam tabel 1.

Tabel 1. Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) Survei

Hari	Klasifikasi Kendaraan						
	Gol 1	Gol 2	Gol 4	Gol 5A	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A2
Rabu	29865	6175	1783	30	950	127	61
Kamis	32783	6434	1748	19	990	71	72
Jumat	26679	6540	1810	37	909	103	71
Sabtu	25850	6015	1905	41	1017	41	64
Minggu	18237	5084	1123	24	181	36	1
Senin	23682	7318	1984	37	741	102	41
Selasa	26965	6540	2187	32	640	105	52
Total per Gol	184061	44106	12540	220	5428	585	362
Total	247302						

Sumber: Olah Data Desember 2024

Hasil survei menunjukkan bahwa terdapat 7 (tujuh) kalsifikasi kendaraan yang menggunakan ruas Jalan Drs. Esau Sesa, yaitu kendaraan golongan 1 (sepeda motor), kendaraan golongan 2 (mobil penumpang, sedan, dan sejenisnya), kendaraan golongan 4 (*pick up*), kendaraan golongan 5A (bus kecil), kendaraan golongan 6A (truk kecil), kendaraan golongan 6B (bus sedang dan truk sedang), dan kendaraan golongan 7A2 (truk besar dan sejenisnya). Data LHR pada Tabel 1 merupakan data LHR pada tahun 2024. Volume kendaraan tertinggi yaitu pada golongan 1 sebesar 184.061, kemudian diikuti oleh kendaraan golongan 2 sebesar 44.106, kendaraan golongan 4 sebesar 12.540, kendaraan golongan 6A sebesar 5.428, dan berturut-turut kendaraan golongan 6B sebesar 585, kendaraan golongan 7A2 sebesar 362, serta kendaraan golongan 5A sebesar 220. LHR total yang didapatkan yaitu sebesar 247.302.

3.2. Cumulative Standard Axel Load (CESAL)

Penentuan nilai CESAL dilakukan berdasarkan data volume lalu lintas pada tahun 2024. CESAL merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas pada lajur selama umur rencana.

$$CESAL = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \tag{1}$$

Dimana nilai R didapatkan melalui rumus berikut.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \tag{2}$$

LHR_{JK} merupakan lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan (satuan kendaraan per hari), VDF_{JK} merupakan faktor ekuivalen beban (*vehicle damage factor*) tiap jenis kendaraan yang terdapat dalam MDPJ 2024, DD merupakan faktor distribusi arah, DL merupakan faktor distribusi lajur, dan R merupakan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif yang dipengaruhi oleh umur rencana (UR) dan faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i).

Nilai VDF kendaraan niaga yang digunakan yaitu nilai VDF regional pada zona wilayah Papua (MDPJ 2024) dan nilai VDF jenis kendaraan golongan 2 (Suryawan, 2009). Sementara itu untuk nilai faktor distribusi arah ditetapkan 0,50 untuk jalan 2 lajur 2 arah. Sedangkan untuk faktor distribusi lajur yaitu 100%, dikarenakan jumlah lajur tiap arah dari ruas Jalan Drs. Esau Sesa adalah satu. Penentuan nilai DD dan DL mengacu pada MDPJ 2024. Kemudian untuk menentukan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif, terlebih dahulu perlu diketahui faktor laju pertumbuhan lalu lintasnya. Oleh karena ruas jalan yang diteliti

merupakan jalan perkotaan, maka ditetapkan nilai i yaitu 4,75 yang merupakan nilai i rata-rata Indonesia (MDPJ 2024).

Hasil perhitungan nilai CESAL untuk proyeksi 20 tahun ke depan pada ruas Jalan Drs. Esau Sesa disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Parameter Perhitungan *Cumulatif Axel Load* (CESAL)

Jenis Kendaraan	LHR 2024	LHR 2025	LHR 2034	LHR 2044	VDF5		DD	DL	R 1 tahun	R 10 tahun	R 20 tahun
					Faktual	Normal					
Gol 1	184.061	192.804	292.753	465.632	-	-	-	-	-	-	-
Gol 2	44.106	46.201	70.152	111.578	0,038	0,038	0,5	1	1	12,43	32,21
Gol 4	12.540	13.136	19.945	31.723	0,038	0,038	0,5	1	1	12,43	32,21
Gol 5A	220	230	350	557	0,2	0,2	0,5	1	1	12,43	32,21
Gol 6A	5.428	5.686	8.633	13.732	0,4	0,4	0,5	1	1	12,43	32,21
Gol 6B	585	613	930	1.480	0,8	0,3	0,5	1	1	12,43	32,21
Gol 7A2	362	379	576	916	2,6	6,2	0,5	1	1	12,43	32,21

Sumber: Olah Data Tahun 2025

Tabel 3. *Cumulatif Axel Load* (CESAL)

Jenis Kendaraan	CESA5 2025		CESA5 2034		CESA5 2044	
	Beban Faktual	Beban Normal	Beban Faktual	Beban Normal	Beban Faktual	Beban Normal
Gol 1	-	-	-	-	-	-
Gol 2	316.694	316.694	5.978.203	5.978.203	24.631.940	24.631.940
Gol 4	90.041	90.041	1.699.693	1.699.693	7.003.231	7.003.231
Gol 5A	8.411	8.411	158.782	158.782	654.226	654.226
Gol 6A	415.066	415.066	7.835.148	7.835.148	32.283.097	32.283.097
Gol 6B	89.467	33.550	1.688.858	633.322	6.958.589	2.609.471
Gol 7A2	179.928	429.059	3.396.482	8.099.303	13.994.497	33.371.492
Jumlah ESA	1.099.607	1.292.821	20.757.165	24.404.450	85.525.581	100.553.458
ESA	2.392.429		45.161.615		186.079.039	
	CESA5 2025		CESA5 2034		CESA5 2044	

Sumber: Olah Data Tahun 2025

Jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas didapatkan dari hasil penjumlahan seluruh beban faktual dan beban normal, sehingga didapatkan nilai CESAL untuk tahun 2025 sebesar 2.392.429 ESAL, selanjutnya CESAL proyeksi periode 10 tahun sebesar 45.161.615 ESAL, dan CESAL proyeksi periode 20 tahun yakni pada tahun 2044, sebesar 186.079.039 ESAL.

3.3. Remaining Life (RL)

Umur sisa perkerasan jalan atau *remaining life* (RL) adalah estimasi waktu operasional atau masa pakai yang masih tersisa pada suatu perkerasan jalan sebelum rusak parah, berdasarkan kondisi aktualnya saat ini. Untuk menentukan umur sisa perkerasan dapat ditentukan melalui total lalu lintas yang telah melewati ruas jalan dengan total lalu lintas pada akhir umur layanan yang dalam hal ini pada tahun terakhir hasil proyeksi lalu lintas 20 tahun. Perhitungan umur sisa perkerasan didapatkan dengan rumus berikut.

$$RL = 100 \times \left(1 - \frac{Np}{N_{1,5}}\right) \quad (3)$$

Nilai RL dinyatakan dalam persen, sedangkan lalu lintas total sekarang (Np) dalam 18 kip atau 80 kN dinyatakan dalam ESAL. Begitu pula dengan nilai lalu lintas total ketika perkerasan hancur ($N_{1,5}$) juga dinyatakan dalam ESAL.

Perhitungan umur sisa perkerasan selama proyeksi 20 tahun, yaitu dari tahun 2024 sampai dengan tahun 2044 dapat dilihat pada Tabel 4.

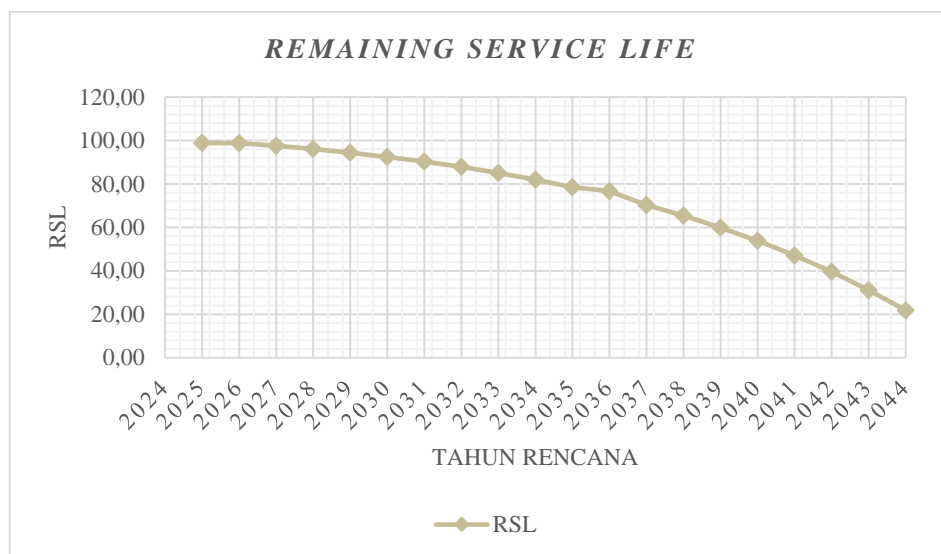
Tabel 4. Remaining Service Life (RL)

Tahun	CESA5	RL
2024	2.283.941	
2025	2.392.429	98,91
2026	5.131.176	98,86
2027	8.255.323	97,56
2028	11.808.004	96,07
2029	15.836.822	94,38
2030	20.394.287	92,47
2031	25.538.312	90,30
2032	31.332.753	87,85
2033	37.847.996	85,10
2034	45.161.615	82,00
2035	49.049.762	78,52
2036	62.534.548	76,67
2037	72.791.720	70,25
2038	84.244.794	65,37
2039	97.019.497	59,93
2040	111.254.236	53,85
2041	127.101.343	47,08
2042	144.728.460	39,54
2043	164.320.046	31,16
2044	186.079.039	21,84

Sumber: Olah Data 2025

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada tahun 2025, umur sisa perkerasan yaitu sebesar 98.91%, kemudian mengalami penurunan seiring dengan makin bertambahnya beban lalu lintas kendaraan yang melintasi selama umur proyeksi layanan 20 tahun. Pada tahun 2025 sampai dengan tahun 2038, ruas Jalan Drs. Esau Sesa memerlukan pemeliharaan rutin karena nilai RSL masih di atas 60%, sedangkan pada tahun 2039 sampai dengan tahun 2043, perlu dilakukan pemeliharaan berkala atau perkuatan lapisan (*overlay*) karena nilai RSL kurang dari 60% tetapi masih di atas 30%. Pada tahun terakhir, yaitu tahun 2044, RL sebesar 21,84% atau kurang dari 30% sehingga perlu untuk dilakukan rehabilitasi atau rekonstruksi.

Namun pada kenyataannya, berdasarkan hasil pengamatan visual, kondisi perkerasan jalan pada ruas Jalan Drs. Esau Sesa sudah banyak mengalami kerusakan pada permukaan perkerasan, seperti retak dan lubang. Sehingga perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mengevaluasi lebih dalam penyebab kerusakan pada permukaan jalan selama umur layanan.



Gambar 1. Tren Penurunan RSL
 (Sumber: Olah Data Tahun 2025)

3.4. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan beban lalu lintas ekuivalen (ESAL) pada ruas Jalan Drs. Esau Sesa di Manokwari, diketahui bahwa umur sisa perkerasan pada tahun 2025 masih cukup tinggi, yaitu sebesar 98,91%, menunjukkan bahwa kondisi struktural jalan masih dalam kategori baik dan hanya memerlukan pemeliharaan rutin. Namun, seiring dengan pertumbuhan volume dan beban lalu lintas yang terus meningkat, terutama akibat aktivitas kendaraan niaga dan distribusi logistik di kawasan perkotaan Manokwari, nilai sisa umur perkerasan menunjukkan tren penurunan yang signifikan hingga mencapai 21,84% pada tahun 2044. Penurunan ini menggambarkan bahwa beban kumulatif lalu lintas (CESAL) selama 20 tahun telah mendekati batas kapasitas desain perkerasan, sehingga pada periode 2039-2043 diperlukan tindakan pemeliharaan berkala berupa *overlay*, dan pada tahun 2044 perkerasan memerlukan rehabilitasi menyeluruh. Fenomena tersebut sejalan dengan pengamatan visual di lapangan yang menunjukkan adanya kerusakan permukaan seperti retak dan lubang, yang kemungkinan diperparah oleh kondisi lingkungan tropis dengan curah hujan tinggi, dan sistem drainase yang belum optimal.

Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya evaluasi berkelanjutan terhadap kondisi struktural jalan dan pembaruan strategi pemeliharaan berbasis data lalu lintas aktual guna menjaga kinerja perkerasan dan efisiensi transportasi di wilayah Manokwari.

4. KESIMPULAN

Berangkat dari hasil analisis perhitungan data lalu lintas, didapatkan nilai umur sisa perkerasan atau *remaining service life* (RSL) pada ruas Jalan Drs. Esau Sesa, Manokwari, Papua Barat pada tahun 2025 yaitu sebesar 98,91% dengan nilai CESAL sebesar 2.392.429 ESAL, kemudian mengalami penurunan seiring bertambahnya beban lalu lintas dan umur layanan hingga pada tahun 2044, umur sisa perkerasan menjadi 21,84% dengan nilai CESAL sebesar 186.079.039 ESAL. Berdasarkan klasifikasi AASHTO (1993), kondisi jalan memerlukan pemeliharaan rutin hingga tahun 2038, *overlay* pada 2039-2043, dan rehabilitasi pada tahun 2044.

REFERENSI

- [1] Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- [2] Bina Marga. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum.
- [3] Hidayah, A. A., Prihutomo, N. Z., & Saputro, D. E. (2022). Analisis Umur Sisa dan Tebal Perkerasan Jalan Tol Akibat Beban Berlebih. *Construction and Material Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 11-22, <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>.
- [4] Hardiyatmo, H. C. (2015). *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [5] Safitri, P. A., Sendow, T. K., & Pandey, S. V. (2019). Analisis Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado - Bitung). *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7, No. 3, pp. 319-328.
- [6] Setyowati, R. & Kusumo, P. A. (2021). Analisis Level of Service (LOS): Studi Kasus di jalan Drs. Esau Sesa, Kabupaten anokwari, Provinsi Papua Barat. *INTAN: Jurnal Penelitian Tambang*, Vol. 4, No. 1, pp. 24-30..
- [7] Pambudi, M. F. K., Sunarjono, S., & Harnaeni, S. R. (2024). Evaluasi Umur Sisa Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Tol Solo-Ngawi. *PADUKARSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-10, <https://doi.org/10.22225/pd.13.1.8925.1-10>
- [8] Bina Marga (2023). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum.
- [9] AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [10] Suryawan, A. (2009). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*. Yogyakarta: Beta Offset.