



Perencanaan Penggantian Komponen Mobil Penumpang Muatan 15 Orang Periode 2026

Muhamad Dwi Kurniawan¹, Syamsul Hadi^{2*}, Muhammad Rangga³, Fernanda Yudha Firmansyah⁴, Marcellino Yoga⁵

^{1,3,4,5} Program Studi Diploma IV, Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

² Program Studi Doktor Terapan, Optimasi Desain Mekanik, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: mdkrwn@gmail.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id^{2*}, muhrangga869@gmail.com³, fernandayudha423@gmail.com⁴, marcellinoyoga5@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: sympol2003@yahoo.com

Abstract. The problem with a passenger car with a capacity of 15 people lies in its unscheduled maintenance and having broken down on the road. The purpose of component replacement planning is to obtain component replacement costs, maintenance and repair schedules for the 2026 period, and the maintenance cost-to-profit ratio. The planning method includes collecting previous maintenance data, applying the inspection-replace-repair-overhaul (IRRO) method, evaluating component conditions, estimating component lifespan, estimating labor costs, estimating supporting equipment to be used in maintenance, estimating the time to replace spare parts or reinstall repaired components, estimating maintenance and repair costs for the 2026 period, and calculating the maintenance cost-to-profit ratio. The results of component replacement planning obtained costs for the 2026 period are IDR 11,780,000 with an estimated passenger car rental rate of IDR 800,000/24 hours (day) which has the potential to be rented for 4,320 hours/year, and the ratio of maintenance costs to profits is 10.33% which implies that passenger cars with a capacity of 15 people are still prospective to generate profits and are suitable for use for the next few years.

Keywords: Component Life; Passenger Cars; Replacement Cost; Replacement Planning; Replacement Schedule.

Abstrak. Permasalahan pada mobil penumpang dengan kapasitas muatan 15 orang terletak pada tidak terjadwal perawatannya dan pernah mogok di perjalanan. Tujuan perencanaan penggantian komponen adalah untuk memperoleh biaya penggantian komponen, jadwal perawatan dan perbaikan pada periode 2026, dan rasio biaya perawatan terhadap laba. Metode perencanaan meliputi penghimpunan data perawatan sebelumnya, penerapan metode *inspection-replace-repair-overhaul* (IRRO), evaluasi kondisi komponen, estimasi umur pakai komponen, estimasi biaya tenaga kerja, estimasi peralatan pendukung yang akan digunakan dalam perawatan, estimasi waktu penggantian suku cadang atau pemasangan kembali komponen yang telah diperbaiki, estimasi biaya perawatan dan perbaikan periode 2026, dan perhitungan rasio biaya perawatan terhadap labanya. Hasil perencanaan penggantian komponen diperoleh biaya periode 2026 adalah Rp 11.780.000 dengan estimasi tarif sewa mobil penumpang Rp 800.000/24jam (hari) yang potensial disewa selama 4.320 jam/tahun, dan rasio biaya perawatan terhadap laba adalah 10,33 % yang berimplikasi bahwa mobil penumpang dengan kapasitas muatan 15 orang masih prospektif menghasilkan laba dan layak digunakan untuk beberapa tahun ke depan.

Kata kunci: Biaya Penggantian; Jadwal Penggantian; Mobil Penumpang; Perencanaan Penggantian; Umur Komponen.

1. LATAR BELAKANG

Mobil penumpang muatan maksimum 15 orang pertama kali digunakan tahun 2018, yang digunakan 8 jam/hari dan efektif sekitar 300 hari pertahun dengan perawatan yang relatif teratur dan tidak terjadwal dan pernah mogok di jalan.

Perencanaan penggantian komponen merupakan aspek krusial dalam manajemen kendaraan untuk memastikan keberlangsungan operasional dan efisiensi biaya (Gołębiowski et al., 2024). Perencanaan tersebut mencakup jadwal inspeksi, dan penggantian suku cadang pada titik tertentu dalam umur pakai komponen agar kendaraan tetap tersedia secara optimal.

Metode *inspection-replace-repair-overhaul* (IRRO) memungkinkan penjadwalan kegiatan perawatan secara sistematis melalui inspeksi, perbaikan, penggantian bagian yang tidak layak, sampai *overhaul* berkala untuk meminimalkan *downtime* dan biaya tak terduga (Hadi et al., 2021). Pendekatan *age replacement* diterapkan untuk menentukan interval perawatan preventif yang optimal agar komponen mesin dapat diganti sebelum mengalami kerusakan kritis, sehingga menurunkan frekuensi kegagalan dan biaya perawatan (Suryani et al., 2023).

Chen et al. (2023), mengembangkan model perencanaan *selective maintenance* tingkat armada berbasis probabilitas misi dengan pendekatan dua tahap untuk memaksimalkan *mission capability* dan meminimalkan biaya dan waktu perawatan, yang diuji pada armada kendaraan dengan fokus perawatan pada 15 komponen kritis dari total ± 30.000 komponen. Pendekatan tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan biaya perawatan dan meminimalkan *downtime* kendaraan dengan memperhatikan efisiensi ekonomi (Castillo & Parlikad, 2024).

Metode IRRO dipilih karena keunggulannya dalam memfokuskan tindakan perawatan pada komponen-komponen yang kritis dan berkontribusi signifikan terhadap kinerja kendaraan, sehingga mendukung perencanaan perawatan yang lebih jelas dan terukur bagi komponen-komponen utama mobil penumpang. Dengan pendekatan IRRO, inspeksi dan tindakan penggantian komponen dilakukan berdasarkan umur pakai yang diprediksi dan nilai yang diukur, dan *overhaul* dilakukan bila akumulasi jadwal menunjukkan kebutuhan perawatan berat.

2. METODE

Pendekatan IRRO digunakan dalam perencanaan penggantian dan perawatan komponen mobil penumpang berkapasitas 15 orang untuk menentukan tindakan perawatan yang optimal, serta dapat didukung oleh integrasi konsep *digital twin* dalam proses *operation and maintenance* armada transportasi secara lebih terintegrasi (Wojciechowsk et al., 2024). Metode IRRO melibatkan empat tahap utama yaitu inspeksi (*inspection*) untuk mendeteksi kondisi komponen, perbaikan (*repair*) untuk mengembalikan fungsi komponen jika memungkinkan, penggantian (*replace*) untuk komponen yang sudah tidak layak atau rusak, dan *overhaul* untuk peremajaan menyeluruh komponen tertentu agar dapat berfungsi optimal (Putri, 2020).



Gambar 1. Mobil Penumpang Tahun 2018.

Mobil penumpang tahun 2018 sebagaimana Gambar 1 digunakan sebagai objek perencanaan penggantian komponen yang memfokuskan pembahasan pada 12 komponen yang diganti dari total keseluruhan ± 30.000 komponen (Arena et al., 2022).

Komponen mobil penumpang yang akan dilakukan penggantian dan perawatan sebagaimana Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Fungsi Komponen yang Diganti.

No.	Komponen		Fungsi
1	Oli Mesin	:	Melumasi bagian dalam mesin agar gesekan berkurang dan temperatur tetap stabil
2	Filter Oli Mesin	:	Menyaring kotoran dari oli sebelum kembali bersirkulasi ke mesin
3	Filter Solar	:	Menyaring kotoran dan air dari bahan bakar agar injektor tidak tersumbat
4	Oli Transmisi	:	Melumasi komponen transmisi dan menjaga perpindahan gigi tetap halus
5	Kampas Rem	:	Menghasilkan gesekan untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan
No.	Komponen		Fungsi
6	Minyak Rem	:	Menghantarkan tekanan dari pedal ke sistem rem agar pengereman bekerja
7	Aki Kering	:	Menyediakan tenaga listrik untuk <i>starter</i> dan sistem elektronik kendaraan
8	Ban	:	Menopang beban kendaraan, memberi traksi, dan meredam guncangan
9	Sabuk V	:	Meneruskan putaran mesin ke komponen lain untuk alternator, AC, dan pompa air

10	Air Radiator	:	Menyerap panas mesin dan menurunkan suhu melalui radiator untuk mencegah <i>overheat</i>
11	Bearing Roda	:	Memungkinkan roda berputar halus dengan gesekan minimal
12	Kampas Kopling	:	Menghubungkan dan memutuskan putaran mesin ke transmisi saat perpindahan gigi

Tabel 2. Fungsi Komponen yang Dirawat.

No.	Komponen	Fungsi
1.	Suspensi :	Meredam guncangan dan menjaga stabilitas kendaraan di jalan
2	<i>Air Conditioner</i> :	Menyejukkan kabin dan menjaga kenyamanan saat berkendara
3	Sistem Audio :	Menyediakan hiburan dan informasi bagi pengemudi dan penumpang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perawatan dilakukan untuk mendapatkan kinerja mobil yang baik dengan melakukan inspeksi, penggantian, dan perawatan.

Kegiatan inspeksi dilakukan untuk memeriksa kebersihan, kondisi baik atau buruk komponen yang ada tercukupi, terkontaminasi atau kotor. Inspeksi tersebut dilakukan setiap minggu untuk memantau kesehatan komponen secara berkala (Vogl, 2019). Inspeksi mingguan dilakukan sebelum dan sesudah unit diberangkatkan oleh supir, tetapi dengan inspeksi visual dengan memeriksa langsung ke setiap bagian mobil (Gong et al., 2022). Hubungan yang baik antara supir dan mekanik perawatan membuat perawatan kendaraan menjadi lebih baik.

Perencanaan penggantian dan perawatan komponen mobil penumpang sebagaimana Gambar 2. Minggu ke-1 hingga minggu ke-52 dalam tahun 2026.

[illegible]

Gambar 2. Jadwal Penggantian dan Perawatan Komponen Mobil Penumpang.

Perawatan kendaraan dilakukan secara berkala berdasarkan pemakaian, untuk mencegah kerusakan mendadak (Ramadhan & Fitriani, 2024). Perencanaan perawatan kendaraan didasarkan pada prediksi kebutuhan perawatan komponen berdasarkan usia pakai dan kondisi

operasional yang mana beberapa komponen yang tidak tercantum dalam diagram utama untuk Sabuk V tetap memiliki interval penggantian berkala, yaitu setiap 52 minggu (1 tahun) atau setelah menempuh jarak 70.000 km, tergantung mana yang dicapai terlebih dahulu (Chen et al., 2025). Lalu untuk penggantian aki kering dilakukan dalam waktu 104 minggu (2 tahun) dan untuk penggantian air radiator dilakukan setiap 2 tahun sekali (Gouto & Kato, 2025).

Penentuan harga komponen utama dan komponen pendukung didasarkan pada harga pasar yang tersedia di *platform e-commerce* nasional. Pemilihan sumber tersebut dilakukan karena *e-commerce* menyediakan rentang harga yang relatif aktual, transparan, dan mudah diakses, sehingga dapat merepresentasikan kondisi harga suku cadang di pasaran. Harga yang digunakan merupakan nilai rata-rata dari beberapa penjual untuk setiap komponen dengan spesifikasi yang sesuai, sehingga diharapkan mampu menggambarkan estimasi biaya yang realistis dan mendekati kondisi aktual saat perencanaan perawatan dilakukan.

Harga Komponen Utama dan Komponen Pendukung sebagaimana Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Harga Komponen Utama dan Komponen Pendukung.

No.	Komponen	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Unit)	Jumlah Harga (Rp)
1	Oli Mesin 1 ℓ	90,000	7	630,000
2	Filter Oli Mesin	50,000	1	50,000
3	Filter Solar	100,000	1	100,000
4	Oli Transmisi 1 ℓ	100,000	3	300,000
5	Kampas Rem	110,000	4	440,000
6	Minyak Rem	80,000	1	80,000
7	Aki Kering	2,000,000	1	2,000,000
8	Ban	1,250,000	4	5,000,000
9	Vanbelt	500,000	1	500,000
10	Air Radiator	80,000	1	80,000
11	Bearing Roda	250,000	4	1,000,000
12	Kampas Kopling	1,000,000	1	1,000,000
13	Sheal Suspensi	150,000	4	600,000
			Total =	11,780,000

Tabel 4. Harga Komponen Pendukung.

No.	Komponen	Harga (Rp)	Jumlah (Unit)	Jumlah Harga (Rp)
1	Grease 500 g	55.000	1	55.000
2	Pelumas 220 ml	65.000	1	65.000
3	Lap Kain	500	12	6.000
No.	Komponen	Harga (Rp)	Jumlah (Unit)	Jumlah Harga (Rp)
4	Isolasi Hitam	10.000	1	10.000
5	Isolasi TBA	15.000	1	15.000
Total =				151.000

Komponen pendukung berperan penting dalam menunjang proses perawatan dan penggantian komponen pada Tabel 3. Komponen *grease* digunakan sebagai pelumas untuk menjaga kinerja *bearing* roda sekaligus mengurangi gesekan berlebih. Pelumas penetran membantu proses pembongkaran baut yang mengalami karat, sehingga pelepasannya menjadi lebih mudah. Lap kain diperlukan untuk membersihkan sisa kotoran, oli, serta debu pada area kerja agar setiap tahap perawatan dilakukan dengan rapi. Isolasi hitam digunakan sebagai pelindung dan perapihan kabel, terutama pada pekerjaan yang berkaitan dengan sistem AC dan audio. Sementara itu, isolasi TBA berfungsi menjaga kedap sambungan berulir, sehingga tidak terjadi kebocoran pada komponen yang membutuhkan penyegelan. Setiap komponen pendukung memiliki fungsi spesifik untuk memastikan proses perawatan berlangsung efektif, selamat, dan sesuai prosedur. Persediaan suku cadang dan komponen pendukung harus dikelola agar tersedia sewaktu dibutuhkan untuk perawatan rutin (Surojo et al., 2025).

Biaya tenaga kerja ditentukan berdasarkan tarif jasa teknisi bengkel kendaraan di Indonesia dengan pendekatan upah per jam. Perhitungan biaya tersebut disesuaikan dengan jenis aktivitas perawatan yang dilakukan, yaitu inspeksi, perawatan, dan penggantian komponen, serta durasi pengerjaan masing-masing aktivitas. Pendekatan tersebut digunakan untuk menggambarkan beban biaya tenaga kerja secara lebih rinci dan proporsional, sehingga mencerminkan kondisi nyata kegiatan perawatan kendaraan di bengkel umum maupun bengkel perawatan armada.

Tabel 5. Biaya Tenaga Kerja Berdasarkan Aktivitas Perawatan.

Tipe Aktivitas	Interval (Minggu)	Durasi (Jam)	Gaji Rerata (Rp/Jam)	Jumlah (Rp)
Inspeksi	52	2	15.000	1.560.000
Perawatan	15	4	15.000	900.000
Penggantian	11	3	15.000	495.000
Total Biaya Aktivitas				2,955,000

Biaya tenaga kerja mencakup inspeksi, perawatan, dan penggantian yang dilakukan sepanjang tahun. Inspeksi menjadi aktivitas dengan biaya terbesar karena dilakukan setiap minggu, sedangkan perawatan dan penggantian memiliki frekuensi lebih sedikit. Total biaya jasa teknisi mencapai Rp 2.955.000.

Total biaya perawatan merupakan akumulasi dari biaya komponen utama, biaya komponen pendukung, serta biaya tenaga kerja berdasarkan aktivitas perawatan yang dilakukan selama satu tahun. Perhitungan tersebut memberikan gambaran menyeluruh mengenai kebutuhan biaya perawatan kendaraan dalam periode perencanaan. Dengan menggabungkan seluruh komponen biaya tersebut, total biaya perawatan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi efisiensi strategi perawatan serta sebagai acuan dalam pengambilan keputusan manajemen terkait pengelolaan kendaraan.

Tabel 6. Total Biaya Perawatan.

Jenis Harga	Jumlah (Rp)
Harga Komponen	11.780.000
Harga Komponen Pendukung	151.000
Biaya Tenaga Kerja Berdasarkan Aktivitas Perawatan	2.955.000
Total Biaya Perawatan	14.886.000

Berdasarkan Tabel 6, total biaya perawatan terdiri atas harga komponen utama senilai Rp11.780.000, harga komponen pendukung senilai Rp 151.000, serta biaya jasa teknisi senilai Rp 2.955.000, sehingga akumulasi keseluruhan biaya perawatan mencapai Rp 14.886.000 dalam satu tahun. Komposisi biaya tersebut sejalan dengan pandangan bahwa biaya perawatan merupakan komponen signifikan dalam *lifecycle cost* sistem industri dan perlu dioptimalkan melalui strategi perawatan yang tepat, di mana estimasi biaya perawatan harus mencakup biaya *spare parts* (baik komponen utama maupun pendukung) serta biaya tenaga kerja atau teknisi dalam kegiatan perbaikan dan perawatan (Jonge & Scarf, 2020; Mobley & Wikoff, 2018).

Pendapatan operasional diperoleh dari estimasi tarif penyewaan mobil penumpang per hari yang berlaku di pasaran. Nilai pendapatan dihitung berdasarkan asumsi jumlah hari pemakaian kendaraan dalam satu bulan dan dikonversikan ke pendapatan tahunan. Pendekatan tersebut digunakan untuk merepresentasikan potensi pendapatan yang realistis dari operasional kendaraan, sehingga analisis rasio biaya perawatan terhadap pendapatan dapat dilakukan secara proporsional dan relevan dengan kondisi operasional sebenarnya.

Tabel 7. Pendapatan Operasional.

Frekuensi Waktu	Perhitungan	Total
Daily		800,000
Monthly ($\approx 15x$ beroperasi)	$800,000 \times 15$	12,000,000
Year	$12,000,000 \times 12$	144,000,000

Pendapatan kendaraan berdasarkan tarif sewa harian Rp 800.000 dengan asumsi penggunaan 15 hari per bulan yang mana dari perhitungan Tabel 7, pendapatan operasional tahunan diperoleh senilai Rp 144.000.000.

Rasio pendapatan merupakan perbandingan antara total biaya perawatan tahunan dengan total pendapatan operasi tahunan (Wang et al., 2022). Nilai rasio tersebut digunakan untuk menilai seberapa besar proporsi biaya perawatan terhadap pendapatan yang dihasilkan kendaraan.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Total Biaya Perawatan}}{\text{Pendapatan}} \times 100\% = \frac{\text{Rp } 14.886.000}{\text{Rp } 144.000.000} \times 100\% = \mathbf{10.33\%}.$$

Nilai 10,33% menunjukkan bahwa biaya perawatan hanya mengambil sekitar sepersepuluh dari total pendapatan yang diperoleh kendaraan dalam setahun. Kondisi tersebut dapat dikategorikan sehat, karena biaya perawatan berada pada kisaran yang wajar dan tidak membebani operasional secara keseluruhan.

Keterlibatan inspeksi rutin dan koordinasi antara pengemudi dan teknisi turut mendukung deteksi dini terhadap penurunan kinerja komponen, sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan secara tepat waktu.

Dari sisi ekonomi dan operasional, hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio biaya perawatan senilai 10,33 persen menandakan bahwa strategi perawatan yang diterapkan tidak membebani kinerja keuangan kendaraan, sekaligus mampu menjaga kontinuitas layanan sepanjang tahun. Dengan perencanaan perawatan yang lebih terprediksi, *downtime* kendaraan dapat ditekan, pemanfaatan unit menjadi lebih optimal, dan pengelolaan biaya dapat dilakukan secara lebih terkontrol dengan metode IRRO dapat dijadikan sebagai acuan dalam perencanaan

perawatan kendaraan penumpang untuk mendukung keselamatan, efisiensi biaya, dan keberlanjutan operasional jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Hasil perencanaan penggantian komponen mobil penumpang muatan 15 orang tahun 1998 diperoleh biaya penggantian komponen periode 2026 senilai Rp 11.780.000,0 dengan estimasi tarif sewa mobil penumpang Rp 800.000/24jam (hari) yang potensial disewa selama 4.320 jam/tahun, dan rasio biaya perawatan terhadap laba senilai 10,33 % yang berimplikasi bahwa mobil penumpang dengan kapasitas muatan 15 orang masih prospektif menghasilkan laba dan layak digunakan untuk beberapa tahun ke depan.

DAFTAR REFERENSI

- Arena, F., Collotta, M., Luca, L., Ruggieri, M., & Termine, F. G. (2022). Predictive maintenance in the automotive sector: A literature review. *Mathematical and Computational Applications*, 27(1), Article 2. <https://doi.org/10.3390/mca27010002>
- Castillo, A. C. D., & Parlikad, A. K. (2024). Dynamic fleet management: Integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost. *Reliability Engineering & System Safety*, 249, Article 110243. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110243>
- Chen, F., Jia, H., & Zhou, W. (2025). Vehicle maintenance demand prediction: A survey. *Applied Sciences*, 15(20), Article 11095. <https://doi.org/10.3390/app152011095>
- Chen, Q., Yang, Z., Wu, Q., & Li, X. (2023). Mission- and reliability-driven fleet-level selective maintenance. *Applied Sciences*, 13(3), Article 1594. <https://doi.org/10.3390/app13158600>
- Gołębiowski, W., Więckowski, D., & Gajek, A. (2024). Preventive maintenance in urban public transport: The role of engine oil analysis. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81728-w>
- Gong, Q., Yang, L., Li, Y., & Xue, B. (2022). Dynamic preventive maintenance optimization of subway vehicle traction system considering stages. *Applied Sciences*, 12(17), Article 8617. <https://doi.org/10.3390/app12178617>
- Gouto, R., & Kato, H. (2025). Maintenance and repair costs of passenger vehicles with different powertrains: Case study with vehicle owner survey in Japan. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 34, Article 101648. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101648>
- Hadi, S., Al Azis, A., Viyus, V., Puspitasari, E., Firdaus, A. H., & Setiawan, A. (2021). Planning for maintenance and repair of continuous ship unloader using the IRRO method. *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 21(1), 52–63. <https://doi.org/10.31940/logic.v21i1.2383>
- Jonge, B., & Scarf, P. (2020). A review on maintenance optimization. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.047>

- Mobley, R. K., Higgins, L. R., & Wikoff, D. J. (2018). Cost-oriented maintenance planning. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 24(2), 123–134.
- Putri, N. T., Silalahi, B. P., & Fahmi, F. (2020). Preventive maintenance scheduling through component modularity design. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 774–789. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.020>
- Ramadhan, I., & Fitriani, R. (2024). Optimalisasi efektivitas preventive maintenance berbasis usage-based maintenance untuk mengurangi downtime di PT PQR. *Journal of Integrated System*, 7(2), 166–183. <https://doi.org/10.28932/jis.v7i2.9760>
- Surojo, D., Setiawan, A., Harjono, T., Nugroho, A., Winarto, H., & Mandala, A. (2025). Inventory management and proactive maintenance to enhance operational efficiency in excavators: Focus on common spare parts issues. *Asiimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 7(1). <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v7i1.7770>
- Suryani, F., Syarifa, S. A., & Azhari. (2023). Analisis preventive maintenance komponen mesin pulp dengan metode age replacement. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering (JIME)*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i1.9498>
- Vogl, G., Weiss, B., & Helu, M. (2019). A review of diagnostic and prognostic capabilities for manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 19, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.11.001>
- Wang, Y. (2022). Optimizing the maintenance schedule for a vehicle fleet using simulation and evolutionary algorithms. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2021.1919888>
- Wojciechowska, S. W., Langer, M., Qian, C., & Paprocka, I. (2024). Digital twin approach for operation and maintenance of transportation fleet. *Sensors*, 24(7). <https://doi.org/10.3390/s24186069>