

ANALISIS BEBAN PENDINGINAN PADA RUANG PENUMPANG KERETA REL LISTRIK MRT JAKARTA

Annes Citra Berlianti, Ramon Trisno

Universitas Pancasila, Indonesia

annescitra.ac@gmail.com

Abstract (English)

In the world of mass transportation, especially the implementation of operational train there are three factors that points that should be always fulfilled, the salvation of, security and a course that it is also important to comfort factor. There are all sorts of the cause of train users fire did not feel comfortable in the use of train transportation tickets. Case in point: temperature, noise, vibration, and the scent of smell. Is in a train, these things can be influenced by the supporting several components, as a means of, infrastructures and of its operation system. In operational train mrt jakarta prime service be motto which must be preserved, one of them is by fulfilled comfort passengers during on train. One of the factors comfort to when on a train the state of the air felt users the train service mrt Jakarta. Hence in accordance with the minister of transportation number 175 years 2015 to 22 - 26°C on regulating temperetur, with speed the flow of air maximum 0,5 m / seconds and relative humidity of 50 - 60%. To meet these requirements with weather conditions in jakarta, it can be a cooling in the analysis of the train passengers mrt performance for the sake of the train in the operation to. One of the efforts to address the failure of AC on a train MRT hold analysis the cooling weather conditions corresponding in Jakarta. Cooling capacity calculation methods used in this research is by using Cooling Load Temperature Difference (CLTD). Of the results of the analysis obtained the calculation on burden cooling on the highest ac train MRT Jakarta for 139.389 watts occurred at 2 pm. From the these calculations condition capacity AC existing not according to weather conditions and condition of the maximum operational train.

Article History

Submitted: 3 August 2026

Accepted: 12 August 2026

Published: 13 August 2026

Key Words

Comfortable, Cooling Load, CLTD

Abstrak (Indonesia)

Dalam dunia transportasi massal, khususnya penyelenggaraan operasional kereta api terdapat tiga faktor yang penting yang harus selalu dipenuhi, yaitu keselamatan, keamanan dan tentu saja yang tidak kalah penting faktor kenyamanan. Ada berbagai macam penyebab pengguna transportasi kereta api tidak merasa nyaman dalam menggunakan transportasi kereta api. Contohnya : suhu, kebisingan, getaran, serta aroma bau. Dalam operasional kereta api, hal-hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa komponen penunjang, seperti sarana, prasarana maupun dari sistem operasinya. Pada fase 1 ini kereta MRT Jakarta beroperasi pada jalur sepanjang 16 kilometer yang terdiri dari jalur layang dan jalur bawah tanah. Pada operasional kereta MRT Jakarta pelayanan prima menjadi motto yang harus dijaga, salah satunya dengan memperhatikan kenyamanan penumpang saat dikereta. Salah satu faktor kenyamanan pada saat didalam kereta yaitu kondisi udara yang dirasakan pengguna jasa kereta MRT Jakarta. Oleh karena itu sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 175 Tahun 2015 tentang pengaturan temperetur sebesar 22 – 26 °C, dengan kecepatan aliran udara maksimal 0,5 m/detik serta kelembaban *relative* sebesar 50 – 60 %. Untuk memenuhi persyaratan tersebut dengan kondisi cuaca di Jakarta, maka dapat dilakukan analisa beban pendinginan pada ruang penumpang kereta MRT Jakarta demi menjaga performa kereta dalam keadaan laik operasi. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menanggulangi terjadinya kegagalan kerja AC pada kereta MRT Jakarta adalah dengan melakukan analisa beban pendinginan yang sesuai pada kondisi cuaca Jakarta. Metode perhitungan kapasitas pendinginan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD). Dari hasil analisa didapatkan hasil perhitungan beban pendinginan tertinggi pada AC kereta MRT Jakarta sebesar 139.389 Watt yang

Sejarah Artikel

Submitted: 3 August 2026

Accepted: 12 August 2026

Published: 13 August 2026

Kata Kunci

Kenyamanan, Beban pendinginan, CLTD

terjadi pada pukul 14.00 WIB. Dari hasil perhitungan tersebut kondisi kapasitas AC yang sudah ada tidak sesuai dengan kondisi cuaca dan kondisi maksimal operasional kereta.

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan transportasi masyarakat dan keterbatasan kapasitas layanan transportasi jalan darat menjadikan kereta api sebagai salah satu moda transportasi massal yang semakin penting dan kompetitif. Perkeretaapian dikembangkan untuk mendukung perpindahan orang dan barang secara aman, nyaman, cepat, tertib, dan efisien. Perkembangan transportasi berbasis kereta api juga terlihat pada pengoperasian Mass Rapid Transit (MRT) Jakarta sebagai salah satu moda transportasi massal yang dirancang untuk mendukung mobilitas masyarakat perkotaan. Dalam pengoperasiannya, aspek keselamatan dan kenyamanan penumpang menjadi bagian penting yang perlu diperhatikan, termasuk kondisi lingkungan termal di dalam ruang penumpang.

Salah satu komponen yang berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal adalah sistem pengkondisian udara (Air Conditioning/AC). Sistem AC berfungsi mengatur temperatur dan kelembaban udara sehingga kondisi ruang penumpang tetap berada pada tingkat kenyamanan yang sesuai. Pada kereta api, sistem pengkondisian udara harus mampu bekerja pada berbagai kondisi operasional dan lingkungan. Penelitian mengenai sistem pengkondisian udara pada kereta api menunjukkan bahwa temperatur dan kondisi termal ruang penumpang merupakan aspek penting dalam mendukung kenyamanan pengguna selama perjalanan (Prianto, 2015). Selain itu, pengembangan desain sistem pengkondisian udara pada kereta api juga diarahkan untuk memenuhi kebutuhan kenyamanan penumpang sekaligus mendukung kinerja operasional sarana perkeretaapian (Hidayat et al., 2017).

MRT Jakarta memiliki karakteristik operasional yang berbeda karena kereta beroperasi pada jalur layang (elevated) dan jalur bawah tanah (underground). Perbedaan kondisi lingkungan tersebut dapat memengaruhi temperatur udara luar, kelembaban, infiltrasi udara, serta besarnya beban panas yang harus ditangani oleh sistem AC. Dalam kondisi operasional dengan jumlah penumpang yang tinggi, beban panas dari manusia dan peralatan di dalam kereta juga menjadi faktor yang perlu diperhitungkan. Oleh karena itu, penentuan kapasitas pendinginan yang tepat menjadi penting agar sistem AC mampu mempertahankan kondisi termal ruang penumpang sesuai kebutuhan.

Permasalahan sistem AC pada MRT Jakarta ditunjukkan oleh adanya beberapa gangguan selama pengoperasian, antara lain high pressure compressor, suara abnormal pada sistem AC, dan AC error. Gangguan tersebut ditemukan baik pada saat start-up maupun ketika kereta sedang beroperasi, khususnya pada jalur bawah tanah. Berdasarkan data operasional yang tersedia, kegagalan AC terjadi pada beberapa rangkaian dan car dengan bentuk gangguan yang berbeda. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keandalan sistem pengkondisian udara tidak hanya berkaitan dengan pemeliharaan komponen, tetapi juga perlu dikaji dari kesesuaian antara kapasitas sistem pendingin dan beban pendinginan aktual yang terjadi selama operasi. Pemeliharaan sarana kereta secara berkala merupakan bagian penting untuk mempertahankan kinerja operasional dan mencegah terjadinya gangguan selama pelayanan (Purwono et al., 2019).

Beban pendinginan pada ruang yang dikondisikan berasal dari berbagai sumber panas, baik internal maupun eksternal. Beban internal dapat berasal dari penumpang, pencahayaan, dan peralatan listrik, sedangkan beban eksternal dapat berasal dari konduksi melalui dinding, atap, dan kaca, radiasi matahari, serta infiltrasi dan ventilasi udara. Perhitungan beban pendinginan diperlukan untuk menentukan kapasitas sistem AC yang sesuai dengan kondisi

ruang dan lingkungan. Susanto et al. (2017) menunjukkan bahwa metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD) dapat digunakan untuk menganalisis kebutuhan beban pendinginan dengan mempertimbangkan berbagai sumber beban panas pada ruang yang dikondisikan. Konsep perhitungan tersebut juga relevan untuk menganalisis kebutuhan pendinginan pada ruang penumpang kereta yang memiliki karakteristik beban internal dan eksternal yang dinamis.

Kebutuhan beban pendinginan pada kereta api tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik ruang, tetapi juga oleh jumlah penumpang, kondisi lingkungan, dan karakteristik sistem pengkondisian udara yang digunakan. Penelitian mengenai optimasi sistem pengkondisian udara pada kereta rel listrik menunjukkan pentingnya penyesuaian kinerja sistem pendingin dengan kondisi operasional kereta (Novtian et al., 2017). Demikian pula, analisis temperatur dan sistem pengkondisian udara pada kereta eksekutif menunjukkan bahwa kondisi termal di dalam kereta perlu diperhatikan untuk mencapai tingkat kenyamanan penumpang yang sesuai (Prianto, 2015).

Selain kenyamanan termal, kapasitas sistem pendinginan juga berkaitan dengan konsumsi dan efisiensi energi. Sistem AC dengan kapasitas yang tidak sesuai dapat menyebabkan kinerja pendinginan tidak optimal dan berpotensi meningkatkan konsumsi energi. Analisis konsumsi energi listrik pada sistem pendingin menunjukkan bahwa karakteristik beban pendinginan dan kinerja sistem AC merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan energi (Yani, 2017). Oleh sebab itu, perhitungan beban pendinginan tidak hanya diperlukan untuk memastikan kenyamanan penumpang, tetapi juga dapat menjadi dasar dalam mengevaluasi kesesuaian kapasitas dan kinerja sistem pengkondisian udara.

Perhitungan beban pendinginan dapat dilakukan menggunakan beberapa pendekatan, salah satunya adalah metode Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factor (CLTD/CLF). Metode ini mempertimbangkan berbagai sumber beban panas yang terjadi pada ruang yang dikondisikan dan dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan kapasitas pendinginan (Rudoy, 1998). Pada ruang penumpang kereta, perhitungan perlu mempertimbangkan beban panas dari penumpang, pencahayaan, peralatan, konduksi, radiasi matahari, infiltrasi, dan ventilasi. Dengan mempertimbangkan seluruh komponen tersebut, kebutuhan kapasitas pendinginan dapat ditentukan secara lebih representatif sesuai kondisi operasi.

Meskipun sistem AC MRT Jakarta telah dirancang untuk menunjang kenyamanan penumpang, masih ditemukan gangguan operasional berupa kegagalan AC dan ketidaktercapaian kondisi temperatur yang ditetapkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengevaluasi apakah kapasitas pendinginan yang terpasang telah sesuai dengan beban pendinginan ruang penumpang, khususnya pada kondisi operasi yang berbeda antara jalur layang dan jalur bawah tanah. Penelitian mengenai sistem pengkondisian udara pada kereta juga menunjukkan bahwa desain, kapasitas, dan kinerja sistem pendingin perlu disesuaikan dengan karakteristik operasional sarana kereta (Hidayat et al., 2017; Novtian et al., 2017).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menghitung beban pendinginan yang dibutuhkan pada ruang penumpang MRT Jakarta berdasarkan kondisi lingkungan dan operasional kereta, serta mengevaluasi kecukupan kapasitas pendinginan yang telah terpasang. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan komponen beban panas internal dan eksternal yang memengaruhi kebutuhan pendinginan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar teknis dalam mengevaluasi kinerja sistem pengkondisian udara, mendukung peningkatan kenyamanan penumpang, mengurangi potensi

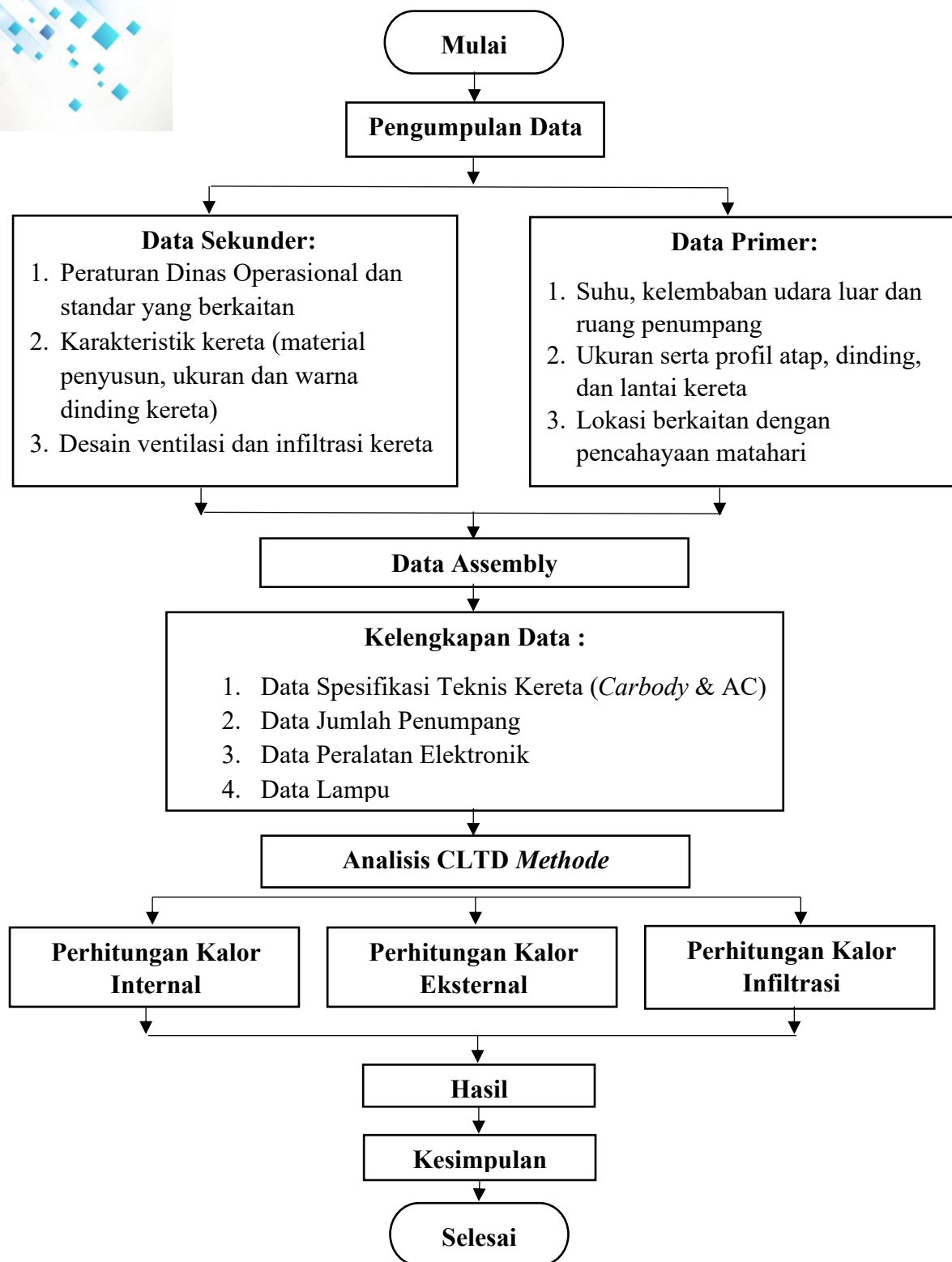
kegagalan sistem AC, serta menjadi pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan sistem pendinginan pada sarana MRT di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis kebutuhan beban pendinginan pada ruang penumpang Kereta Rel Listrik (KRL) MRT Jakarta. Objek penelitian adalah ruang penumpang kereta tipe M yang menggunakan sistem pengkondisian udara (*Air Conditioning/AC*) sentral. Kereta tipe M dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki kapasitas penumpang maksimum yang lebih besar dibandingkan tipe Tc. Sistem AC pada setiap kereta terdiri atas dua unit AC yang dikendalikan melalui *Air Conditioning Control Power* (ACCP). Pengamatan dan perhitungan dilakukan berdasarkan jam operasional MRT Jakarta, yaitu pukul 05.00–24.00 WIB.

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung pada ruang penumpang, meliputi temperatur dan kelembaban udara serta pengukuran dimensi ruang, atap, dinding, dan lantai kereta. Data sekunder diperoleh dari *maintenance manual*, standar operasional kereta, data teknis sarana, karakteristik material penyusun *carbody*, serta desain ventilasi dan infiltrasi. Pengukuran dimensi dilakukan menggunakan *roll meter* dan jangka sorong digital, sedangkan temperatur dan kelembaban udara diukur menggunakan termohigrometer.

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, pemeriksaan kelengkapan data, pengukuran kondisi ruang penumpang, pengolahan data, perhitungan beban kalor, dan evaluasi kapasitas sistem AC. Data yang dikumpulkan mencakup spesifikasi teknis kereta dan AC, jumlah penumpang, peralatan elektronik, pencahayaan, material penyusun kereta, serta kondisi ventilasi dan infiltrasi. Data primer dan sekunder selanjutnya diintegrasikan sebagai dasar perhitungan beban pendinginan ruang penumpang.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Analisis beban pendinginan dilakukan menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD). Metode ini digunakan untuk menghitung beban kalor dari masing-masing komponen internal dan eksternal ruang dengan mengacu pada tabel dan koefisien dalam *ASHRAE Cooling Load Calculation*. Beban eksternal yang diperhitungkan meliputi perpindahan panas melalui dinding, atap, dan lantai, sedangkan beban internal meliputi panas yang berasal dari penumpang, penerangan, dan peralatan. Selain itu, beban panas akibat udara luar yang masuk melalui ventilasi dan infiltrasi turut diperhitungkan.

Perhitungan beban panas penumpang dilakukan berdasarkan jumlah penumpang yang dapat ditampung oleh kereta dengan mempertimbangkan kalor sensibel, kalor laten, dan *Cooling Load Factor* (CLF). Nilai CLF ditentukan berdasarkan lama keberadaan penumpang di dalam ruang yang disesuaikan dengan waktu tempuh atau jam operasional kereta. Beban panas dari penerangan dihitung berdasarkan jumlah dan daya lampu serta lama pengoperasiannya, sedangkan beban panas peralatan dihitung berdasarkan jumlah dan daya peralatan listrik yang terdapat di dalam ruang penumpang.

Beban panas eksternal dihitung berdasarkan karakteristik konstruksi dinding, lantai, dan atap kereta serta kondisi lingkungan. Karakteristik material penyusun konstruksi digunakan untuk menentukan nilai resistansi termal dan koefisien perpindahan panas. Kondisi lingkungan yang digunakan dalam perhitungan meliputi temperatur dan kelembaban udara luar yang diperoleh dari data kondisi geografis Kota Jakarta.

Selanjutnya, beban ventilasi dan infiltrasi dihitung berdasarkan udara luar yang masuk ke ruang penumpang. Seluruh komponen beban kalor, yang terdiri atas beban internal, beban eksternal, ventilasi, dan infiltrasi, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh beban pendinginan total. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian kebutuhan beban pendinginan dengan kapasitas sistem AC yang terpasang pada ruang penumpang MRT Jakarta.

Dengan demikian, metode penelitian berfokus pada pengukuran kondisi aktual ruang penumpang dan perhitungan seluruh komponen beban kalor menggunakan metode CLTD. Hasil akhir analisis berupa nilai total beban pendinginan yang selanjutnya menjadi dasar dalam menilai kecukupan kapasitas sistem pengkondisian udara pada kereta MRT Jakarta.

HASIL

Kondisi Temperatur Ruang Penumpang dan Lingkungan

Pengukuran temperatur dilakukan pada ruang penumpang kereta tipe M selama periode operasional MRT Jakarta, yaitu pukul 05.00–24.00 WIB. Data temperatur ruang penumpang (*T_{ra}*) dan temperatur udara luar (*T_{oa}*) digunakan sebagai data dasar dalam perhitungan beban pendinginan menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur ruang penumpang berada pada rentang 22–26 °C, sedangkan temperatur udara luar berada pada rentang 26–34 °C. Temperatur ruang tertinggi sebesar 26 °C tercatat pada pukul 13.00, 16.00, dan 17.00 WIB. Sementara itu, temperatur udara luar tertinggi sebesar 34 °C tercatat pada pukul 12.00 WIB. Setelah periode siang, temperatur udara luar cenderung menurun hingga mencapai 28 °C pada pukul 20.00–24.00 WIB. Temperatur ruang juga menurun dan mencapai 22 °C pada pukul 21.00–24.00 WIB.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Temperatur Ruang Penumpang dan Udara Luar

Waktu	Temperatur ruang (°C)	Temperatur luar (°C)
05.00	23	26
06.00	24	26
07.00	23	27
08.00	24	29
09.00	24	30
10.00	24	32
11.00	25	33
12.00	25	34
13.00	26	30
14.00	25	31
15.00	25	31
16.00	26	32
17.00	26	31
18.00	25	30
19.00	25	29
20.00	24	28
21.00	22	28
22.00	22	28
23.00	22	28
24.00	22	28

Sumber: Data hasil pengukuran penelitian.

Hasil Perhitungan Beban Kalor Eksternal

Perhitungan beban kalor eksternal mencakup beban konduksi melalui dinding luar, lantai, atap, kaca jendela, dan partisi serta beban radiasi matahari melalui kaca. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besarnya beban kalor eksternal mengalami perubahan pada setiap jam operasi. Perubahan tersebut ditunjukkan oleh variasi nilai beban konduksi pada masing-masing bagian konstruksi kereta.

Beban melalui dinding luar pada awal operasi menunjukkan nilai negatif, yaitu sebesar -262,64 W pada pukul 05.00 dan -72,45 W pada pukul 06.00. Nilai tersebut kemudian meningkat seiring perubahan kondisi temperatur lingkungan. Pada pukul 08.00, beban melalui dinding luar mencapai 1.593,95 W dan meningkat menjadi 2.495,07 W pada pukul 10.00. Beban melalui atap dan lantai juga mengalami peningkatan pada periode pagi hingga siang. Pada pukul 12.00, beban melalui atap mencapai 2.392,43 W, sedangkan beban melalui lantai mencapai 3.493,29 W. Nilai beban melalui ketiga komponen tersebut kemudian mengalami perubahan kembali pada sore hingga malam hari.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa beban eksternal merupakan komponen yang berubah sesuai dengan kondisi temperatur lingkungan dan karakteristik konstruksi ruang penumpang. Oleh karena itu, perhitungan beban eksternal dilakukan pada setiap jam selama periode operasi untuk memperoleh kebutuhan pendinginan yang merepresentasikan kondisi operasi kereta.

Hasil Perhitungan Beban Kalor Internal

Beban kalor internal terdiri atas beban dari penerangan, penghuni, dan peralatan yang menghasilkan panas di dalam ruang penumpang. Berdasarkan data penelitian, sistem penerangan terdiri atas *salon light*, *emergency light*, *door open light*, dan *side destination display*. Selain itu, terdapat *passenger information display* dan *linier fan* sebagai bagian dari peralatan internal.

Tabel 2. Beban Internal Penerangan

Jenis penerangan	Jumlah	Daya/unit (W)	Total daya (W)	Beban kalor (W)
<i>Salon light</i>	16	22	352	356,928
<i>Emergency light</i>	8	22	176	178,464
<i>Door open light</i>	2	6,4	12,8	12,979
<i>Side destination display</i>	8	60	480	486,720

Sumber: Hasil perhitungan penelitian.

Beban panas penghuni dihitung berdasarkan jumlah penumpang dalam kondisi duduk dan berdiri. Pada perhitungan penelitian, jumlah penghuni yang digunakan terdiri atas 54 orang dalam kondisi duduk dan 269 orang dalam kondisi berdiri. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban sensibel dan laten penghuni masing-masing sebesar 88.059 W dan 27.839 W pada perhitungan total beban. Beban penghuni merupakan salah satu komponen utama dalam pembentukan total beban pendinginan ruang penumpang.

Beban peralatan juga diperhitungkan sebagai bagian dari beban internal. Berdasarkan hasil perhitungan, *linier fan* menghasilkan beban sensibel sebesar 80,15 W, sedangkan HP penumpang menghasilkan beban sensibel sebesar 73,55 W. Beban laten dari kedua peralatan tersebut bernilai nol. Dengan demikian, total beban sensibel peralatan yang digunakan dalam perhitungan adalah 154 W.

Hasil Perhitungan Beban Infiltrasi dan Ventilasi

Beban infiltrasi dihitung berdasarkan udara yang masuk melalui bukaan pintu, sedangkan beban ventilasi dihitung berdasarkan kebutuhan udara luar yang masuk ke ruang penumpang. Kedua komponen tersebut menghasilkan beban sensibel dan laten yang berbeda pada setiap jam operasi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban infiltrasi meningkat pada periode ketika perbedaan kondisi udara ruang dan udara luar semakin besar. Pada pukul 05.00, beban sensibel infiltrasi sebesar 14,414 W dan beban laten sebesar 32,870 W. Nilai tersebut meningkat menjadi 34,219 W dan 78,030 W pada pukul 12.00. Selanjutnya, nilai beban infiltrasi mengalami perubahan mengikuti kondisi temperatur dan kelembaban udara luar.

Beban ventilasi menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan beban infiltrasi. Pada pukul 05.00, beban sensibel ventilasi sebesar 2.672,276 W dan beban laten sebesar 8.355,99 W. Beban sensibel ventilasi meningkat hingga 8.016,828 W pada pukul 12.00, sedangkan beban laten mencapai 8.719,30 W pada pukul 07.00 berdasarkan hasil perhitungan penelitian.

Total Beban Pendinginan

Total beban pendinginan diperoleh dari penjumlahan seluruh komponen beban kalor yang terdiri atas beban eksternal, beban internal, ventilasi, dan infiltrasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan pendinginan berubah pada setiap jam selama periode operasi MRT Jakarta.

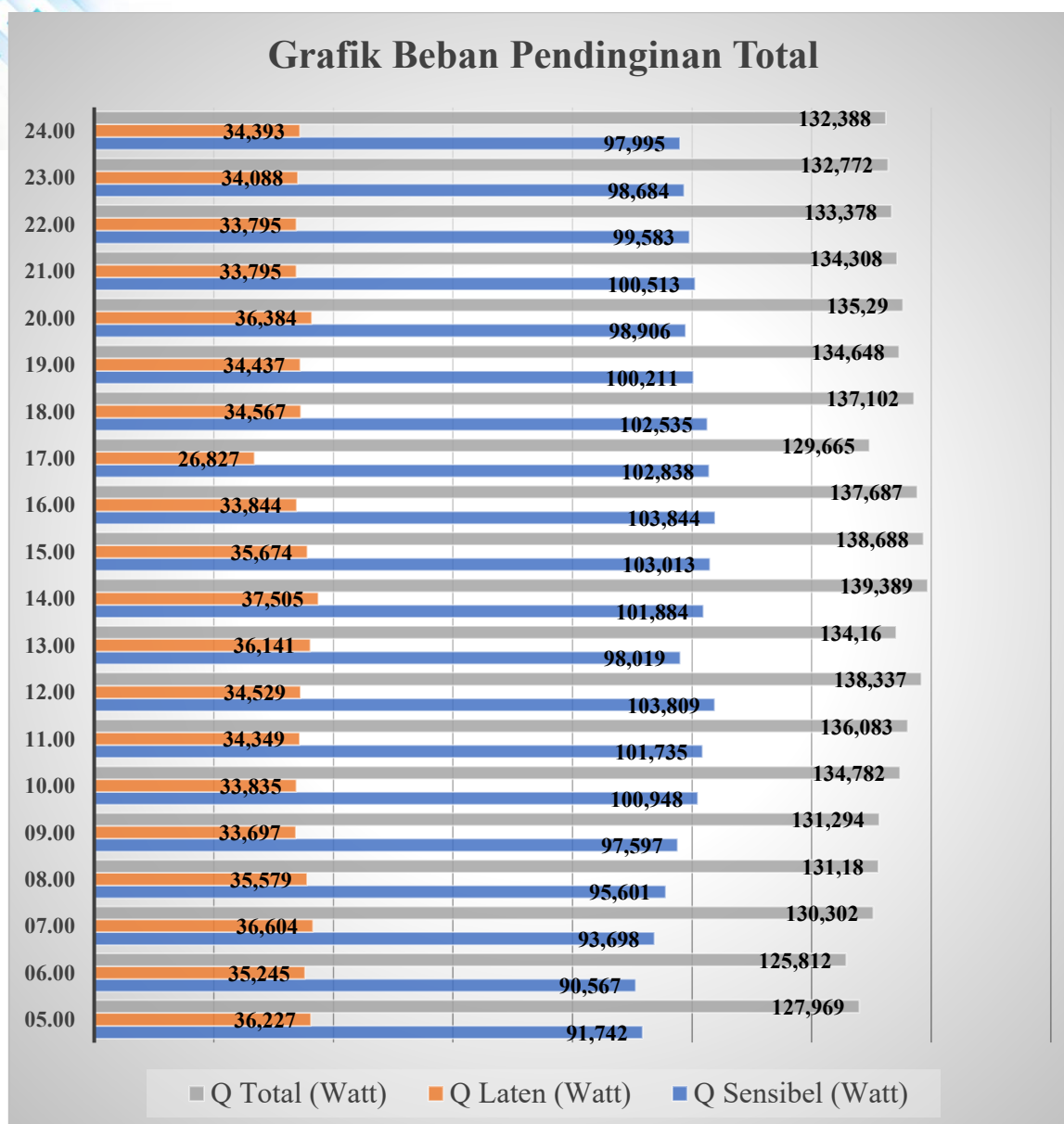
Tabel 3. Total Beban Pendinginan Ruang Penumpang

Waktu	Q Sensibel (W)	Q Laten (W)	Q Total (W)	Q Total (PK)
05.00	91.742	36.227	127.969	174,1
06.00	90.567	35.245	125.812	171,2
07.00	93.698	36.604	130.302	177,3
08.00	95.601	35.579	131.180	178,5
09.00	97.597	33.697	131.294	178,6
10.00	100.948	33.835	134.782	183,4
11.00	101.735	34.349	136.083	185,1
12.00	103.809	34.529	138.337	188,2
13.00	98.019	36.141	134.160	182,5
14.00	101.884	37.505	139.389	189,6
15.00	103.013	35.674	138.688	188,7
16.00	103.844	33.844	137.687	187,3
17.00	102.838	26.827	129.665	176,4
18.00	102.535	34.567	137.102	186,5
19.00	100.211	34.437	134.648	183,2
20.00	98.906	36.384	135.290	184,1
21.00	100.513	33.795	134.308	182,7
22.00	99.583	33.795	133.378	181,5
23.00	98.684	34.088	132.772	180,6
24.00	97.995	34.393	132.388	180,1

Sumber: Hasil perhitungan penelitian.

Berdasarkan Tabel 3, beban sensibel berada pada rentang 90.567–103.844 W, sedangkan beban laten berada pada rentang 26.827–37.505 W. Total beban pendinginan terendah tercatat sebesar 125.812 W pada pukul 06.00 atau sebesar 171,2 PK. Sebaliknya, total beban pendinginan tertinggi sebesar 139.389 W terjadi pada pukul 14.00 atau sebesar 189,6 PK.

Secara umum, total beban pendinginan mengalami peningkatan dari awal operasi menuju periode siang hari. Nilai beban meningkat dari 127.969 W pada pukul 05.00 menjadi 138.337 W pada pukul 12.00. Pada pukul 14.00, beban mencapai nilai tertinggi sebesar 139.389 W. Setelah mencapai nilai tersebut, beban pendinginan kembali mengalami fluktuasi hingga akhir periode operasi.



Gambar 1. Grafik Total Beban Pendinginan Ruang Penumpang MRT Jakarta

Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa beban pendinginan ruang penumpang kereta tipe M bervariasi selama jam operasional. Variasi tersebut tercermin pada perubahan beban sensibel dan laten serta perubahan total beban pendinginan dari pagi hingga malam. Nilai beban pendinginan total yang diperoleh selanjutnya menjadi dasar untuk melakukan evaluasi terhadap kapasitas sistem AC pada bagian pembahasan.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban pendinginan ruang penumpang kereta tipe M MRT Jakarta berubah sepanjang jam operasional. Variasi tersebut merupakan konsekuensi dari perubahan kondisi lingkungan dan kombinasi beban kalor yang berasal dari luar maupun dari dalam ruang. Dalam penelitian ini, beban pendinginan dihitung berdasarkan beban eksternal, beban internal, ventilasi, dan infiltrasi. Pendekatan tersebut sesuai dengan prinsip perhitungan beban pendinginan yang digunakan untuk menentukan kapasitas unit pendingin berdasarkan kondisi beban puncak (Rudoy, 1998). Penentuan beban puncak menjadi penting

karena kapasitas sistem AC harus mampu mengatasi beban kalor pada kondisi dengan kebutuhan pendinginan tertinggi.

Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Beban Pendinginan

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur udara luar berubah dari 26 °C pada awal periode operasi hingga mencapai 34 °C pada pukul 12.00, sedangkan temperatur ruang penumpang berada pada kisaran 22–26 °C. Perbedaan temperatur antara ruang dan lingkungan tersebut menyebabkan perpindahan kalor melalui selubung kereta berubah sepanjang waktu. Hasil perhitungan juga memperlihatkan bahwa beban konduksi melalui dinding, atap, dan lantai mengalami perubahan yang cukup besar dari pagi hingga siang hari.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik lingkungan luar merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kebutuhan pendinginan kereta. Pada saat temperatur luar meningkat, sistem AC harus mengeluarkan kalor yang lebih besar untuk mempertahankan temperatur ruang pada kondisi yang diinginkan. Hal ini menjadi semakin penting pada MRT Jakarta karena kereta beroperasi pada lintasan *elevated* dan *underground* yang memiliki kondisi lingkungan berbeda. Perbedaan kondisi udara luar dan udara segar yang disirkulasikan ke ruang penumpang dapat memengaruhi kebutuhan kapasitas pendinginan.

Temuan tersebut sejalan dengan Prianto (2015) yang menunjukkan bahwa analisis temperatur dan sistem pengkondisian udara pada kereta perlu mempertimbangkan kondisi termal ruang selama operasi. Dengan demikian, evaluasi kapasitas AC pada kereta tidak cukup hanya berdasarkan kapasitas nominal unit, tetapi perlu mempertimbangkan kondisi lingkungan aktual dan variasinya selama perjalanan.

Kontribusi Beban Internal

Selain beban eksternal, beban internal memberikan kontribusi penting terhadap total kebutuhan pendinginan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban penghuni merupakan komponen utama beban internal. Pada kondisi kapasitas maksimum, panas sensibel dan laten yang berasal dari penghuni mencapai masing-masing 88.059 W dan 27.839 W. Besarnya kontribusi tersebut berkaitan langsung dengan jumlah penumpang yang digunakan dalam perhitungan, yaitu kondisi maksimum kereta tipe M.

Penggunaan kapasitas maksimum sebagai kondisi analisis merupakan pendekatan konservatif karena memberikan gambaran kebutuhan pendinginan ketika kereta berada pada kondisi beban penumpang tinggi. Kondisi tersebut relevan dengan karakteristik MRT sebagai transportasi massal yang melayani jumlah penumpang besar, terutama pada periode sibuk. Oleh karena itu, sistem AC tidak hanya harus mampu mengatasi panas dari konstruksi kereta, tetapi juga harus mengeluarkan panas yang dihasilkan oleh penumpang.

Selain penghuni, penerangan dan peralatan elektronik turut memberikan tambahan beban panas. Namun, kontribusinya relatif lebih kecil dibandingkan beban penghuni. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah penumpang dapat memberikan dampak yang lebih besar terhadap kebutuhan pendinginan dibandingkan perubahan kecil pada beban peralatan. Novtian et al. (2017) juga menekankan pentingnya penyesuaian sistem pengkondisian udara dengan kondisi operasional kereta dalam upaya memperoleh sistem yang optimal.

Peran Ventilasi dan Infiltrasi

Ventilasi dan infiltrasi merupakan komponen lain yang perlu diperhitungkan karena berkaitan dengan masuknya udara luar ke ruang yang dikondisikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban ventilasi lebih besar daripada beban infiltrasi. Pada kondisi tertentu, beban sensibel ventilasi mencapai lebih dari 8.000 W. Besarnya beban ini

menunjukkan bahwa udara luar yang masuk ke ruang penumpang dapat memberikan tambahan beban yang signifikan terhadap sistem AC.

Beban infiltrasi relatif lebih kecil, tetapi tetap memiliki pengaruh terhadap total beban pendinginan. Pada kereta, infiltrasi terutama berkaitan dengan pembukaan pintu ketika penumpang naik dan turun. Setiap pembukaan pintu memungkinkan udara luar masuk dan udara terkondisikan keluar sehingga sistem AC harus kembali mengkondisikan udara tersebut. Dengan demikian, pola pemberhentian kereta dan frekuensi pembukaan pintu merupakan faktor operasional yang berpotensi memengaruhi kebutuhan pendinginan.

Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa kebutuhan pendinginan kereta berbeda dengan ruang bangunan yang relatif statis. Pada kereta, sistem AC menghadapi perubahan beban akibat perpindahan kendaraan, perubahan kondisi lingkungan, jumlah penumpang, dan pembukaan pintu. Hidayat et al. (2017) menegaskan bahwa pengembangan sistem pengkondisian udara kereta perlu mempertimbangkan karakteristik operasional dan kebutuhan kenyamanan penumpang.

Kondisi Beban Puncak

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban pendinginan total berada pada rentang 125.812–139.389 W, dengan nilai tertinggi sebesar 139.389 W pada pukul 14.00. Kondisi tersebut dapat digunakan sebagai kondisi beban puncak dalam mengevaluasi kebutuhan kapasitas pendinginan. Pemilihan kondisi puncak penting karena kapasitas AC harus ditentukan berdasarkan kondisi dengan kebutuhan pendinginan tertinggi, bukan hanya berdasarkan kondisi rata-rata.

Beban puncak yang terjadi pada siang hari menunjukkan bahwa peningkatan beban eksternal dan kondisi lingkungan memberikan kontribusi terhadap peningkatan kebutuhan pendinginan. Pada periode tersebut, temperatur udara luar relatif tinggi sehingga perpindahan kalor dari lingkungan menuju ruang penumpang meningkat. Kondisi ini kemudian berinteraksi dengan beban internal dan beban udara luar sehingga menghasilkan kebutuhan pendinginan total yang lebih besar.

Konsep tersebut sesuai dengan Rudoy (1998) yang menjelaskan bahwa perhitungan beban pendinginan digunakan untuk menentukan kapasitas unit pendingin yang sesuai dengan beban kalor, terutama pada kondisi puncak. Oleh karena itu, nilai 139.389 W menjadi parameter penting dalam mengevaluasi kecukupan kapasitas sistem AC kereta tipe M.

Evaluasi terhadap Sistem Pengkondisian Udara

Hasil penelitian memberikan indikasi bahwa evaluasi gangguan AC pada MRT Jakarta tidak dapat hanya didasarkan pada asumsi bahwa kegagalan disebabkan oleh kekurangan kapasitas pendinginan. Latar belakang penelitian menunjukkan adanya gangguan berupa *high pressure compressor*, suara bising AC, dan *AC error*, termasuk gangguan yang ditemukan ketika kereta beroperasi pada jalur *underground*. Namun, perhitungan beban pendinginan pada penelitian ini terutama digunakan untuk menentukan kebutuhan kalor yang harus ditangani sistem AC. Dengan demikian, hubungan langsung antara kegagalan AC dan kekurangan kapasitas tidak dapat dinyatakan hanya berdasarkan hasil perhitungan beban pendinginan.

Hal tersebut penting karena kegagalan sistem AC dapat berkaitan dengan aspek lain dalam sistem pengkondisian udara, termasuk kondisi komponen, tekanan refrigeran, kontrol temperatur, sirkulasi udara, dan sistem kelistrikan. Sistem AC MRT Jakarta sendiri menggunakan sistem AC sentral dengan dua unit AC pada setiap kereta yang dikendalikan melalui ACCP. Dengan konfigurasi tersebut, kemampuan sistem dalam mempertahankan kondisi termal ruang tidak hanya ditentukan oleh kapasitas pendinginan, tetapi juga oleh kondisi aktual dan kinerja setiap komponen sistem.

Oleh karena itu, hasil penelitian lebih tepat digunakan sebagai dasar evaluasi kapasitas termal sistem AC, sedangkan diagnosis penyebab kegagalan operasional membutuhkan pemeriksaan teknis lebih lanjut terhadap kondisi unit AC. Pendekatan ini juga sejalan dengan Purwono et al. (2019) yang menunjukkan pentingnya pemeliharaan dan pemeriksaan berkala untuk mempertahankan kinerja sarana perkeretaapian.

Implikasi terhadap Perencanaan dan Pemeliharaan AC

Hasil penelitian menunjukkan pentingnya penggunaan kondisi beban puncak sebagai dasar evaluasi sistem pengkondisian udara. Beban pendinginan yang berubah sepanjang waktu menunjukkan bahwa sistem AC harus mampu beradaptasi terhadap variasi beban eksternal dan internal. Dalam konteks operasional MRT Jakarta, kemampuan tersebut penting untuk mempertahankan kenyamanan termal penumpang sekaligus mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan akibat sistem bekerja pada kondisi beban yang tinggi.

Selain itu, hasil perhitungan dapat digunakan sebagai salah satu dasar dalam perencanaan sistem AC untuk pengembangan sarana kereta berikutnya. Data kebutuhan pendinginan berdasarkan kondisi lingkungan Jakarta dapat digunakan untuk memperkirakan kapasitas yang diperlukan sehingga desain sistem tidak hanya mengacu pada kondisi nominal. Hal ini relevan dengan penelitian Hidayat et al. (2017) mengenai pengembangan desain sistem pengkondisian udara kereta api serta Novtian et al. (2017) mengenai optimasi sistem pengkondisian udara pada kereta rel listrik.

Dengan demikian, hasil penelitian memperlihatkan bahwa penentuan kapasitas pendinginan harus mempertimbangkan kombinasi beban eksternal, beban internal, ventilasi, dan infiltrasi. Nilai beban puncak sebesar 139.389 W menunjukkan kebutuhan pendinginan maksimum berdasarkan kondisi yang dianalisis. Nilai tersebut dapat menjadi acuan teknis untuk mengevaluasi kapasitas AC yang terpasang dan mendukung perencanaan sistem pengkondisian udara pada kereta MRT Jakarta.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis beban pendinginan pada ruang penumpang Kereta Rel Listrik (KRL) MRT Jakarta, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi temperatur ruang yang dikondisikan sebesar 25 °C dan temperatur udara luar sebesar 34 °C pada pukul 14.00 WIB, beban pendinginan optimal mencapai 139.389 W, termasuk beban infiltrasi yang terjadi akibat proses buka-tutup pintu pada setiap stasiun.

Kapasitas AC KRL MRT Jakarta yang saat ini digunakan adalah sebesar 86.000 W. Jika dibandingkan dengan hasil analisis, kapasitas tersebut belum mampu memenuhi kebutuhan beban pendinginan pada kondisi beban puncak, terutama ketika kereta beroperasi pada kondisi cuaca Jakarta dengan jumlah penumpang maksimum dalam satu kereta (Car M). Kondisi ketidaksesuaian antara kapasitas AC dan kebutuhan beban pendinginan tersebut berpotensi meningkatkan beban kerja sistem AC selama operasional. Beban kerja yang tinggi dapat berkontribusi terhadap terjadinya gangguan operasional dan berpotensi memengaruhi umur pakai (lifetime) komponen AC. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai kinerja dan umur pakai setiap komponen AC untuk memastikan keandalan sistem pengkondisian udara KRL MRT Jakarta tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Fajarani, R. M., et al. (2019). Analisis beban pendinginan pada *cold storage* untuk penyimpanan daging. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), 12–22.
- Hidayat, T., et al. (2017). Pengembangan desain sistem pengkondisian udara kereta api oleh PT. INKA (Persero). *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 19(1), 13–36.

- Homzah, O. F., et al. (2018). Rancang bangun mesin mini pengkondisian udara tipe *water cooled condenser* dengan pengontrolan temperatur kabin berbasis mikrokontroler Arduino. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(2), 1–8.
- Novtian, W. S., et al. (2017). Optimasi sistem pengkondisian udara pada kereta rel listrik. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(4), 277–281.
- Prianto, Y. T. (2015). *Analisis temperatur dan sistem pengkondisian udara pada kereta eksekutif malam Bangunkarta*.
- Puspitasari, M. D. (2018). Analisa perbandingan efisiensi daya dan kapasitas pendinginan antara AC central dan AC split pada kereta ekonomi. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, 2(2), 110–119.
- Purwono, A., et al. (2019). Analisis kinerja perawatan bulanan (P1, P3, P6) Dipo KRL Depok. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, 3(1), 62–69.
- Rudoy, W. (1998). *Cooling and heating load calculation manual*.
- Setiawan, G. P., et al. (2018). Studi eksperimental pendingin udara (*air cooler*) dengan *thermo-electric* pada kabin mobil. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 79–84.
- Sumitomo Corporation. (2018). *Resubmission of maintenance manual* (Chapter 8).
- Susanto, A., et al. (2017). Analisis kebutuhan beban pendingin dengan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) pada ruang lobby Gedung Simulator Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia. *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru*, 10(3), 31–41.
- Yani, R. D. (2017). Analisis konsumsi energi listrik pada sistem pendingin ruangan (*air conditioning*) di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak. *Jurnal ELKHA*, 9(1), 13–18.