Jurnal Ilmiah jurutera
Journal of Applied Engineering
ISSN 2356-5438

Thermal Performance Assessment of the Kaligung K3 New Image Passenger Coach Using OTTV and CLTD

M. Aditya Bintang Septian Nugraha [1], Althesa Androva [2], Muhamad Safi'i [3*]

[1, 2,3)]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang 50232, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 05 Juni 2026
Direvisi dari 20 Juni 2026
Diterima 26 Juni 2026
Dipublikasi 30 Juni 2026

***Keywoard's*:**
Thermal Performance;
Passenger Coach;
OTTV;
CLTD;
Cooling Load

DOI:
doi.org/10.55377/jurutera.v13i01.14535

A B S T R A C T

The Kaligung K3 New Image train is equipped with an air conditioning system to maintain passenger thermal comfort. Passenger comfort can be disturbed by heat from ambient temperature, the train envelope, passengers, lighting, and electronic equipment, thereby increasing the cooling load, the value of which is not yet known. This research aims to calculate heat transfer as an indicator of the thermal performance of the train envelope using the OTTV method and to find out the total cooling load of the passenger room when the train stops at Semarang Poncol Station during the day, during the train boarding process, from factors internal, external, ventilation, and infiltration, including the addition of a safety factor of 10% using the CLTD method. Data were obtained through field measurements, training technical documents, and thermal comfort regulations. The results show an OTTV value of 28.01 W/m² (less than or equal to 35 W/m², SNI 6389:2020) and a total cooling load of 35,237.69 kcal/h (<36,000 kcal/h), indicating that the cooling capacity is sufficient to handle the cooling load. This research concludes that the OTTV and CLTD approach methods are effective for analyzing heat transfer and cooling loads on trains and for evaluating existing cooling capacity.

A B S T R A K

Kereta Kaligung K3 *New Image* dilengkapi sistem pengkondisian udara untuk menjaga kenyamanan termal penumpang. Kenyamanan penumpang dapat terganggu akibat panas dari suhu lingkungan, karakteristik selubung kereta, penumpang, pencahayaan, dan peralatan elektronik, sehingga meningkatkan beban pendinginan yang nilainya belum diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung perpindahan panas sebagai indikator kinerja termal selubung kereta menggunakan metode OTTV, serta untuk mengetahui total beban pendinginan ruang penumpang saat kereta berhenti di Stasiun Semarang Poncol pada siang hari selama boarding, yang dipengaruhi oleh faktor *internal*, *eksternal*, ventilasi, dan infiltrasi, termasuk penambahan faktor keamanan sebesar 10% menggunakan metode CLTD. Data diperoleh melalui pengukuran lapangan, dokumen teknis kereta, dan regulasi terkait kenyamanan termal. Hasil menunjukkan nilai OTTV 28,01 W/m² (<35 W/m², SNI 6389:2020) dan total beban pendinginan 35.237,69 kcal/h (<36.000 *kcal/h*), sehingga kapasitas pendingin mampu menangani beban pendinginan tersebut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa metode pendekatan OTTV dan CLTD efektif untuk menganalisis perpindahan panas dan beban pendinginan pada kereta serta dapat mengevaluasi kapasitas pendinginan yang terpasang.

© 2026 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

E-mail Coresponden : muhamadsafii@upgris.ac.id
© 2026 ISSN. 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

1. Pendahuluan

Kereta api merupakan sarana transportasi massal yang mampu melayani perpindahan orang dalam jumlah besar dengan efisiensi energi, ketepatan waktu operasional, serta memiliki tingkat keamanan dan kenyamanan yang tinggi (1–4). Untuk menunjang kenyamanan, seluruh rangkaian kereta penumpang milik PT Kereta Api Indonesia (Persero), termasuk kereta kelas ekonomi Kaligung K3 jenis *New Image* milik Daop 4 Semarang telah dilengkapi sistem pengkondisian udara (*Air Conditioning*) (5,6). Sistem pengkondisian udara berfungsi mengatur suhu dan kelembaban suatu ruangan, agar kondisi termal ruang penumpang kereta dalam kondisi yang nyaman sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 15 Tahun 2011 dan Peraturan Menteri Perhubungan No. 63 Tahun 2019 (7–12). Namun, beberapa penumpang kereta mengeluhkan sistem pengkondisian udara yang terpasang tidak selalu dingin, sehingga menyebabkan kenyamanan termal penumpang tidak selalu optimal (13).

Kenyamanan termal penumpang kereta dapat terganggu karena panas yang berasal dari lingkungan luar maupun panas di dalam ruang kereta. Panas yang masuk ke dalam ruang penumpang dapat meningkatkan beban pendinginan yang harus dikeluarkan oleh sistem pengkondisian udara untuk mempertahankan kondisi termal ruang penumpang agar tetap nyaman sesuai kondisi yang diinginkan. Beban pendinginan berasal dari berbagai faktor, antara lain dari suhu lingkungan, radiasi matahari, karakteristik material selubung bangunan, panas dari jumlah dan aktivitas penghuni ruangan, peralatan pencahayaan dan elektronik, serta udara ventilasi dan infiltrasi (9,14–18). Untuk mengetahui faktor-faktor tersebut mempengaruhi kenyamanan termal, beberapa penelitian terdahulu dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem pengkondisian udara terhadap kebutuhan beban pendinginan pada ruang kereta api.

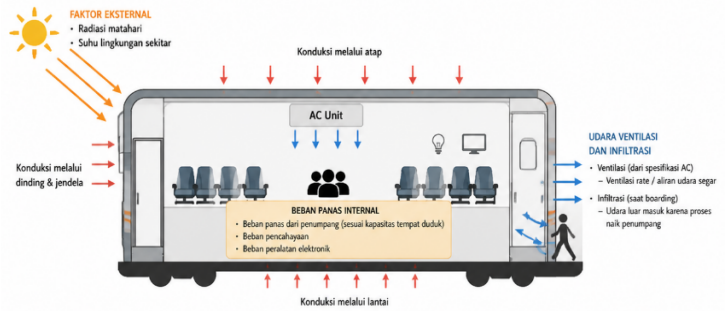
Penelitian oleh Srihanto et al, 2024 pada restorasi kereta cepat CR400AF menunjukkan nilai OTTV sebesar 11,626 W/m^2 tidak melebihi standar SNI 03-6389-2000 sebesar 45 W/m^2 dan kapasitas *Air Conditioning* yang terpasang 45 kW masih mampu mengatasi total beban pendinginan 44,26 kW, sehingga kenyamanan termal penumpang tetap terjaga. Selanjutnya, Ananta et al, 2025 pada Kereta Argo Lawu *New Generation* menggunakan metode CLTD menunjukkan kapasitas pendinginan *Air Conditioning* 40.000 kkal/jam masih mampu mengatasi kebutuhan beban pendinginan 37.814,93 kkal/jam. Selain itu, penelitian oleh Budiarto & Oktaria, 2024 pada kereta TMC PPI Madiun menunjukkan nilai OTTV 21,844 W/m^2 tidak melebihi standar SNI 03-6389-2000 sebesar 45 W/m^2 dan kapasitas pendinginan *Air Conditioning* yang terpasang 8,10 kW, sehingga mampu mengatasi beban pendinginan sebesar 4,719 kW (9,14,15). Meskipun metode OTTV dan CLTD pada penelitian sebelumnya terbukti efektif dalam menghitung nilai perpindahan panas dan beban pendinginan serta dapat mengevaluasi sistem pengkondisian udara yang terpasang memiliki kapasitas yang cukup dengan kebutuhan beban pendinginan yang dihitung. Namun, hasil pada setiap jenis kereta tersebut tidak dapat dijadikan acuan langsung untuk Kereta Kaligung K3 *New Image*, yang memiliki karakteristik material, jumlah penumpang, dan kondisi operasi berbeda, termasuk ketika kereta berhenti di Stasiun pada siang hari selama proses *boarding* penumpang, sehingga perlu mempertimbangkan semua faktor yang berpotensi meningkatkan beban pendinginan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perpindahan panas dan beban pendinginan ruang penumpang Kereta Kaligung K3 *New Image* menggunakan metode OTTV dan CLTD, dengan mempertimbangkan faktor *internal* (jumlah dan aktivitas penumpang, beban pencahayaan, peralatan elektronik), faktor *eksternal* (suhu lingkungan dan radiasi matahari), karakteristik material kereta, serta udara ventilasi dan infiltrasi selama *boarding* penumpang ketika kereta berhenti di Stasiun Semarang Poncol. Penelitian dilakukan menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan perhitungan dengan data dimensi ruang penumpang, spesifikasi material, kondisi lingkungan, dan sumber panas *internal*. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam mengevaluasi kapasitas sistem pengkondisian udara, menjaga kenyamanan termal penumpang, dan mendukung efisiensi operasional kereta Kaligung dengan jenis K3 *New Image*, serta menjadi dasar pengambilan keputusan dalam desain dan pengoperasian sistem pengkondisian udara pada sarana perkeretaapian.

2. Metode Penelitian

2.1 Model Fisik

Model fisik penelitian ini menggambarkan mekanisme sumber panas di ruang penumpang Kereta Kaligung K3 *New Image* yang membuat beban pendinginan meningkat. Model fisik digunakan untuk menggambarkan titik-titik pengamatan dan parameter yang dianalisis dapat ditentukan secara detail. Secara umum, beban pendinginan pada ruang penumpang kereta berasal dari beban panas *internal* (jumlah dan aktivitas penumpang, beban pencahayaan, serta beban peralatan elektronik), faktor *eksternal* (radiasi matahari, suhu lingkungan sekitar, serta konduksi panas melalui selubung kereta meliputi atap, dinding, lantai, dan jendela), serta udara ventilasi dan infiltrasi (ventilasi aliran udara segar sesuai spesifikasi teknis sistem pengkondisian udara dan infiltrasi udara dari proses *boarding* penumpang). Model fisik ini sebagai dasar perhitungan untuk mengetahui nilai perpindahan panas menyeluruh pada selubung kereta menggunakan metode OTTV dan menghitung total beban pendinginan menggunakan metode CLTD guna mengetahui besarnya beban pendinginan yang harus ditangani oleh sistem pengkondisian udara untuk menjaga kenyamanan termal penumpang dalam ruang kereta.



Gambar 1. Model Fisik Perpindahan Panas dan Beban Pendinginan Kereta Kaligung K3 *New Image*
Sumber: Dokumen Peneliti

2.2 Data Teknis Kereta Ekonomi Kaligung jenis K3 *New Image*

Penelitian dilakukan di Stasiun Semarang Poncol yang berlokasi di Jalan Imam Bonjol, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Pemilihan lokasi didasarkan pada kondisi rangkaian kereta Kaligung yang berhenti selama proses *boarding* penumpang di jalur 3 terutama pada kereta ekonomi 2 yang tidak mendapatkan atap peron.



Gambar 2. Kereta Ekonomi Kaligung Jenis K3 *New Image*
Sumber: Dokumen Peneliti

Data penelitian Kereta Kaligung jenis K3 *New Image* diperoleh dari pengukuran lapangan serta dokumen teknis PT KAI (Persero) dan PT INKA (Persero). Berikut adalah data spesifikasi teknis kereta yang disajikan pada **Tabel 1-2**.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Kereta

No	Data Teknis	Keterangan
1.	Panjang Badan Kereta	20.000 mm
2.	Panjang Ruang Penumpang	17.170 mm
3.	Lebar Kereta	2.990 mm
4.	Tinggi Kereta	2.550 mm
5.	Warna Kereta	Putih
6.	Material Kereta	Baja
7.	Rangkaian K3 *New Image*	6 Kereta Ekonomi
8.	Kapasitas Penumpang Setiap Kereta	80 Tempat Duduk
9.	Kepemilikan	PT. KAI
10.	Produsen	PT. INKA
11.	Kapasitas Pendinginan	36.000 kkal/jam
12.	Aliran Udara Segar	10 m^3/menit

Sumber: (19)

Tabel 2. Komponen Material Kereta

No	Komponen	Material	Tebal (m)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
1	Dinding	Plat Baja	0,002	47,6
		Rockwool	0,05	0,035
		Fiberglass	0,003	0,035
2	Atap	Plat Baja	0,002	47,6
		Rockwool	0,05	0,035
		Fiberglass	0,003	0,035
3	Lantai	Plat baja bergelombang	0,0012	47,6
		Vinyl	0,003	0,25
		Bitumen	0,003	0,17
4	Kaca	Kaca tempered laminasi kegelapan 60%	0,01414	1,053

Sumber: (19–21)

Jadwal kereta Kaligung berhenti di stasiun Semarang Poncol diperoleh berdasarkan Grafik Perjalanan Kereta Api dan pengamatan di lapangan selama proses *boarding* penumpang, yaitu pukul 13.43 – 14.45 WIB.

Tabel 3. Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan Kereta

Loop	Relasi	Jam Keberangkatan – Jam Kedatangan
1	Semarang Poncol – Cirebon Prujakan	05.00 – 08.50
2	Cirebon Prujakan – **Semarang Poncol**	09.20 – **13.43**
3	**Semarang Poncol** – Tegal	**14.45** – 17.00
4	Tegal - Semarang Poncol	17.55 – 20.06
5	Semarang Poncol – Tegal	21.00 – 23.35

Sumber: (22)

Penggunaan peralatan listrik dan pencahayaan pada kereta Kaligung K3 *New Image* diperoleh melalui pengamatan lapangan dan berdasarkan dokumen beban daya listrik kereta yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Komponen Beban Peralatan Elektronik

No	Jenis Komponen	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)
1	TV/LED Monitor 19”	2	20	40
2	*Indoor Running Text*	2	75	150
3	*Power Socket*	40	100	4000
Total Daya Peralatan Elektronik				4.190

Sumber: (23)

Tabel 5. Komponen Beban Pencahayaan

No	Jenis Komponen	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)
1	Lampu Ruang Penumpang Tipe 1 (LR1)	5	36	180
2	Lampu Ruang Penumpang Tipe 4 (LR4)	8	60	480
3	Lampu *Emergency* Tipe 1 (LE1)	3	36	108
Total Daya Pencahayaan				768

Sumber: (23)

Pengambilan data dimensi selubung kereta diperoleh peneliti melalui pengukuran langsung ketika kereta berhenti di Stasiun Semarang Poncol. Berikut dimensi serta orientasi masing-masing bidang pada selubung kereta Kaligung K3 *New Image*.

Tabel 6. Dimensi Selubung Kereta

No	Jenis	Lebar (m)	Tinggi (m)	Jumlah	Keterangan Orientasi Bidang
1	Jendela Tetap	0,89	0,73	22	11 Barat Daya dan 11 Timur Laut
2	Jendela Bawah Ventilasi	0,875	0,405	4	2 Barat Daya dan 2 Timur Laut
3	Jendela Ventilasi Darurat	0,955	0,225	4	2 Barat Daya dan 2 Timur Laut
4	Kaca Lavatory Toilet	0,54	0,15	2	1 Barat Daya dan 1 Timur Laut
5	Kaca Pintu Bordes	0,495	0,865	4	2 Barat Daya dan 2 Timur Laut
6	Kaca Pintu Terusan	0,495	0,865	2	1 Barat Laut dan 1 Tenggara
7	Pintu Masuk Ke Bordes	0,88	1,83	4	2 Barat Daya dan 2 Timur Laut
8	Pintu Terusan	0,8	1,83	2	1 Barat Laut dan 1 Tenggara

Sumber: Pengukuran Lapangan

Beberapa parameter yang disajikan pada **Tabel 6** menimbulkan sumber panas. Selain itu, kondisi suhu dan kelembapan saat kereta berhenti selama proses *boarding* penumpang di stasiun juga menambah panas sehingga meningkatkan beban pendinginan. Pengukuran di lingkungan sekitar kereta ekonomi 2 memperoleh suhu sebesar 35℃ dan *relative humidity* (RH) sebesar 61,6% dan pengukuran di bordes kereta memperoleh suhu sebesar 30,8℃ dan *relative humidity* (RH) sebesar 61,3%, serta untuk suhu dan kelembaban pada ruang *interior* penumpang mengambil suhu minimal sebesar 22℃ mengacu regulasi rentang kenyamanan termal penumpang sesuai Peraturan Menteri Perhubungan No. 15 Tahun 2011 dan *relative humidity* (RH) sebesar 60% ketika kondisi penumpang padat sesuai SNI 03-6572-2001 untuk mengetahui apakah sistem pengkondisian udara mampu mengatasi beban pendinginan (11,24).

2.3 Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis perpindahan panas dan beban pendinginan pada ruang penumpang Kereta Kaligung K3 *New Image* saat kereta berhenti di Stasiun Semarang Poncol selama proses *boarding* penumpang. Metode deskriptif digunakan karena penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan kondisi aktual perpindahan panas dan beban pendinginan tanpa memberikan perlakuan atau memanipulasi variabel penelitian. Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan karena parameter penelitian berbentuk data numerik dan dianalisis menggunakan metode *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) dan *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD). **Gambar 3** dibawah ini merupakan proses perpindahan panas yang menyebabkan beban pendinginan meningkat pada kereta kaligung K3 *New Image*.



Gambar 3. Alur Penelitian Perpindahan Panas dan Beban Pendinginan Kereta Kaligung K3 *New Image*
Sumber: Dokumen Peneliti

Berdasarkan **Gambar 3**, penelitian diawali dengan identifikasi sumber panas saat kereta Kaligung K3 New Image berhenti di Stasiun Semarang Poncol pada siang hari, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan. Sumber panas *internal* diperoleh dari penumpang, pencahayaan, dan peralatan elektronik, sedangkan sumber panas *eksternal* meliputi radiasi matahari, suhu lingkungan, konduksi panas melalui selubung kereta (atap, dinding, lantai, dan jendela), serta udara ventilasi dan infiltrasi selama proses *boarding* penumpang. Selanjutnya, peneliti melakukan pengumpulan dan pengolahan data dalam bentuk tabel yang disajikan pada **Tabel 6**. Namun, saat peneliti melaksanakan observasi, kondisi peron sedang dalam perbaikan sehingga menyebabkan penumpang ekonomi 3 dan 4 yang akan naik ke kereta Kaligung dialihkan untuk naik melalui pintu kereta ekonomi 2 yang merupakan objek penelitian. Data tersebut digunakan untuk menghitung nilai perpindahan panas menyeluruh menggunakan metode OTTV dan total beban pendinginan menggunakan metode CLTD. Hasil perhitungan selanjutnya dievaluasi terhadap kapasitas pendinginan *Air Conditioning* yang terpasang untuk mengetahui kemampuan sistem pengkondisian udara dalam menangani total beban pendinginan yang dihitung ketika kereta berhenti di stasiun selama proses *boarding* penumpang.

2.4 Reduksi Data Penelitian

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi nilai perpindahan panas menyeluruh selubung kereta (OTTV) dan total beban pendinginan ruang penumpang (CLTD), yang menjadi indikator kemampuan sistem pengkondisian udara dalam menjaga kenyamanan termal penumpang. Metode OTTV digunakan untuk mengetahui nilai perpindahan panas dari dinding dan kaca pada setiap orientasi selubung kereta. Nilai OTTV untuk tiap orientasi bidang dihitung menggunakan persamaan berikut: (20)

$$OTTV \quad = \alpha.[(U_w.(1-WWR).TD_{EK}] + (U_f.WWRx\Delta T) + (SC.WWR.SF) \tag{1}$$

Dimana setiap parameter menyajikan nilai α (absorbtansi radiasi matahari), U (nilai transmitan material), WWR (perbandingan luas jendela terhadap dinding), TD_{EK} (beda temperatur ekuivalen), SC (koefisien peneduh kaca), dan SF (faktor radiasi matahari). OTTV total kemudian diperoleh dengan menghitung rata-rata dari nilai OTTV setiap orientasi bidang berdasarkan luas permukaannya yang dihitung sebagai berikut:

$$OTTV_{Total} = \frac{(OTTV_{o1}.A_{o1}) + (OTTV_{o2}.A_{o2}) + (OTTV_{o3}.A_{o3}) + (OTTV_{o4}.A_{o4})}{A_{orientasi1} + A_{orientasi2} + A_{orientasi3} + A_{orientasi4}} \tag{2}$$

Hasil nilai OTTV total digunakan untuk menilai apakah perpindahan panas pada selubung kereta Kaligung K3 *New Image* berada di bawah batas standar sebesar 35 W/m^2 sesuai SNI 6389:2020.

Selanjutnya, perhitungan beban pendinginan ruang penumpang menggunakan metode CLTD dengan mempertimbangkan faktor *internal*, *eksternal*, serta udara ventilasi dan infiltrasi berdasarkan SNI 03-6572-2001 dengan mengacu *ASHRAE Handbook Fundamentals 1997 Chapter 28 Tabel 29* (24,25). Faktor *internal* mencakup jumlah penumpang, beban peralatan elektronik, dan pencahayaan dengan persamaan:

$$q_{penumpang} = N\ x\ (penambahan\ kalor\ sensibel\ dan\ laten)\ x\ CLF \tag{3}$$

$$q_{peralatan} = P\ x\ E_f\ x\ (CLF) \tag{4}$$

$$q_{pencahayaan} = W\ x\ F_{ul}\ x\ F_{sa}\ x\ CLF \tag{5}$$

Dimana N (jumlah orang), penambahan kalor sensibel dan laten dari aktivitas manusia, *CLF* (faktor beban pendinginan), *P* (daya listrik yang digunakan), E_f (faktor efisiensi), *W* (Watt dari listrik yang digunakan), F_{ul} (faktor penggunaan pencahayaan) dan F_{sa} (faktor toleransi khusus).

Selanjutnya, faktor *eksternal* meliputi radiasi matahari dan konduksi panas melalui kaca, atap, dan dinding serta partisi dihitung dengan persamaan:

$q_{radiasi}$ = *A x (SC) x (SCL)* (6)

$q_{konduksi}$ = *U x A x (CLTD)* (7)

$q_{partisi}$ = $U\ x\ A\ x\ (t_b - t_{rc})$ (8)

Dimana *A* (luas permukaan selubung bangunan), *SC* (koefisien peneduh kaca), *SCL* (faktor beban pendinginan pada kaca), *U* (koefisien perpindahan kalor selubung bangunan), *CLTD* (perbedaan temperatur beban pendinginan), t_b (temperatur ruangan yang bersebelahan), t_{rc} (temperatur ruangan yang direncanakan).

Sedangkan beban pendinginan dari udara ventilasi dan infiltrasi dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$q_{Sensibel}$ = (1,23) x Q x $(t_0 - t_1)$ (9)

q_{laten} = (3.010) x Q x $(w_0 - w_1)$ (10)

Dimana Q adalah aliran udara ventilasi dan/atau infiltrasi, t_0 dan t_1 adalah temperatur udara luar dan di dalam ruangan, w_0 dan w_1 adalah kandungan uap air di luar dan di dalam ruangan. Selanjutnya, nilai setiap beban pendinginan yang telah diketahui melalui pertimbangan faktor *internal*, *eksternal*, ventilasi dan infiltrasi nilainya dijumlahkan. Namun, mengacu *ASHRAE 1997 Chapter 27* total perhitungan beban pendinginan harus ditambahkan dengan *safety factor* sebesar 10% untuk memperhitungkan rugi-rugi energi dan ketidakakuratan asumsi perhitungan.

Hasil perhitungan nilai OTTV dan CLTD selanjutnya dievaluasi terhadap kapasitas pendinginan sistem pengkondisian udara kereta Kaligung K3 *New Image* untuk menilai kemampuan sistem dalam menangani beban pendinginan aktual ketika kereta berhenti di Stasiun Semarang Poncol selama proses *boarding* penumpang saat kondisi peron dalam perbaikan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Nilai OTTV

Perhitungan nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) dilakukan untuk mengetahui besarnya panas yang masuk ke ruang penumpang kereta Kaligung K3 *New Image* selama proses *boarding* di Stasiun Semarang Poncol. Nilai OTTV setiap orientasi bidang dihitung untuk menentukan orientasi yang besar menerima panas dan untuk menilai efektivitas desain selubung kereta dalam membatasi panas masuk, sehingga mendukung kenyamanan termal penumpang. Berikut merupakan parameter input perhitungan OTTV berdasarkan spesifikasi teknis dan perhitungan dengan mengacu terhadap dokumen SNI 6389:2020, *ASHRAE Handbook Fundamentals 1997* serta regulasi mengenai kenyamanan ruang penumpang kereta (11,20,25).

Tabel 7. Parameter Input Perhitungan OTTV

No	Variabel	Nilai	Keterangan / Referensi
1	α	0,45	Perhitungan berdasarkan material dan warna kereta pada tabel 1, mengacu rumus absorbtansi matahari pada SNI 6389:2020 dan dokumen *ASHRAE Chapter* 3 Tabel 3 (20,25)
2	U_W	0,547 $W/m^2.K$	Perhitungan berdasarkan komponen material dinding pada tabel 2 dan mengacu rumus nilai transmitan termal pada SNI 6389:2020 (20)
3	$WWR_{BaratDaya}$	0,180	Perhitungan bedasarkan dimensi dinding kereta yang terdapat pada tabel 1 dan dimensi jendela pada tabel 6 serta mengacu rumus WWR pada SNI 6389:2020 (20)
4	$WWR_{TimurLaut}$	0,180	
5	$WWR_{BaratLaut}$	0,056	
6	$WWR_{Tenggara}$	0,056	
7	TD_{EK}	15 K	Perhitungan berdasarkan material dinding pada tabel 2 dan mengacu rumus beda temperatur ekuivalen pada SNI 6389:2020 (20)
8	*SC*	0,486	Perhitungan berdasarkan spesifikasi kaca pada tabel 2 dan mengacu rumus koefisien peneduh pada SNI 6389:2020 (20)
9	$SF_{BaratDaya}$	155	Pengukuran orientasi bidang berdasarkan tabel 6 dan mengacu tabel faktor radiasi matahari pada SNI 6389:2020 (20)
10	$SF_{TimurLaut}$	170	
11	$SF_{BaratLaut}$	191	
12	$SF_{Tenggara}$	138	
13	U_f	5,63 $W/m^2.K$	Perhitungan berdasarkan komponen material jendela pada tabel 2 dan mengacu rumus nilai transmitan termal pada SNI 6389:2020 (20)
14	$T_{ruangan}$	22,0℃	Temperatur minimal ruang *interior* penumpang kereta (11)
15	$T_{lingkungan}$	35,0℃	Pengukuran lapangan

Berdasarkan parameter input perhitungan OTTV pada **Tabel 7**, dapat diperoleh nilai konduksi dinding, konduksi kaca, dan radiasi kaca untuk setiap orientasi bidang yang disajikan pada **Tabel 8-10** dengan mengacu pada persamaan (1).

Tabel 8. Nilai Konduksi Dinding Setiap Orientasi Bidang

Orientasi Bidang	Nilai Konduksi Dinding				
	α	U_W	(1-WWR)	TD_{EK}	$\alpha.[(U_w.(1\text{-}WWR).TD_{EK}]$
Barat Daya	0,45	0,547	0,82	15	3,02
Timur Laut	0,45	0,547	0,82	15	3,02
Barat Laut	0,45	0,547	0,944	15	3,48
Tenggara	0,45	0,547	0,944	15	3,48

Tabel 9. Nilai Konduksi Kaca Setiap Orientasi Bidang

Orientasi Bidang	Nilai Konduksi Kaca			
	U_f	WWR	ΔT	$U_f.WWR.\Delta T$
Barat Daya	5,63	0,180	13	13,17
Timur Laut	5,63	0,180	13	13,17
Barat Laut	5,63	0,056	13	4,09
Tenggara	5,63	0,056	13	4,09

Tabel 10. Nilai Radiasi Kaca Setiap Orientasi Bidang

Orientasi Bidang	Nilai Radiasi Kaca			
	SC	WWR	SF	SC.WWR.SF
Barat Daya	0,486	0,180	155	13,55
Timur Laut	0,486	0,180	170	14,87
Barat Laut	0,486	0,056	191	5,19
Tenggara	0,486	0,056	138	3,75

Nilai dari ketiga parameter yang dihitung pada **Tabel 8-10** selanjutnya dijumlahkan untuk menunjukkan nilai OTTV pada setiap orientasi bidang. Hasil Perhitungan nilai OTTV disajikan pada **Tabel 11** dan **Gambar 3** berikut.

Tabel 11. Nilai OTTV Setiap Orientasi Bidang

Orientasi Bidang	OTTV			
	Konduksi Dinding	Konduksi Kaca	Radiasi Kaca	W/m^2
Barat Daya	3,02	13,17	13,55	29,74
Timur Laut	3,02	13,17	14,87	31,06
Barat Laut	3,48	4,09	5,19	12,76
Tenggara	3,48	4,09	3,75	11,32

Mengacu **Tabel 11** nilai OTTV setiap orientasi bidang kereta Kaligung K3 *New Image* telah diketahui dan disajikan dalam bentuk grafik yang seperti pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 3. Grafik Nilai OTTV Setiap Orientasi Bidang

Grafik nilai OTTV menunjukkan orientasi Timur Laut memiliki nilai OTTV tertinggi 31,06 W/m^2, selanjutnya Barat Daya 29,74 W/m^2, yang berarti keduanya menerima panas lebih besar dibandingkan orientasi lainnya. Sementara itu, orientasi Barat Laut 12,76 W/m^2 dan Tenggara 11,32 W/m^2 memiliki nilai OTTV lebih rendah, yang menunjukkan penerimaan panas lebih sedikit. Setelah memperoleh nilai OTTV setiap orientasi bidang, selanjutnya nilai OTTV total untuk selubung kereta dapat diketahui, menggunakan persamaan (2) yang disajikan pada **Tabel 12** berikut:

Tabel 12. Nilai OTTV Total

No	Orientasi Bidang	Nilai OTTV Setiap Orientasi (W/m^2)	Luas (m^2)	OTTV x A (W)
1	Barat Daya	29,74	51	1.516,74
2	Timur Laut	31,06	51	1.584,06
3	Barat Laut	12,76	7,62	97,23
4	Tenggara	11,32	7,62	86,26
Jumlah			117,24	3.284,29
$OTTV_{total} = \frac{\sum OTTV\ x\ A}{\sum A} = \frac{3.284{,}29\ \text{W}}{117{,}24\ \text{m}^2} = 28{,}01\ \text{W/m}^2$				

Hasil perhitungan nilai OTTV total kereta Kaligung K3 *New Image* ketika kereta berhenti di stasiun Semarang Poncol selama proses *boarding* penumpang adalah sebesar 28,01 W/m^2. Berdasarkan dokumen SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan, nilai OTTV tidak boleh melebihi 35 W/m^2. Dengan parameter tersebut disimpulkan bahwa nilai OTTV kereta Kaligung K3 *New Image* masih dibawah standar, sehingga desain selubung kereta efektif dalam membatasi panas yang masuk dan mendukung kenyamanan termal ruang penumpang.

3.2. Perhitungan Beban Pendinginan Metode CLTD

Perhitungan beban pendinginan ruang penumpang kereta Kaligung K3 *New Image* dilakukan menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD). Metode ini digunakan untuk menentukan besarnya beban pendinginan yang harus ditangani oleh sistem pengkondisian udara berdasarkan kondisi *internal* (penumpang, peralatan elektronik, dan pencahayaan), kondisi eksternal (radiasi matahari, konduksi melalui dinding, atap, dan lantai), serta udara ventilasi dan udara infiltrasi selama boarding penumpang ketika kereta berhenti, saat peron Stasiun Semarang Poncol dalam perbaikan. Berikut merupakan parameter input perhitungan CLTD berdasarkan spesifikasi teknis kereta, pengukuran lapangan, dokumen SNI 03-6572-2001 serta dokumen *ASHRAE Handbook Fundamentals* 1997 (19,24,25).

Tabel 13. Parameter Input Perhitungan Nilai CLTD

No	Variabel	Nilai	Keterangan/Referensi
1	$q_{penumpang}$	9.360 W	Perhitungan menggunakan persamaan 3 berdasarkan Tabel 1 kapasitas penumpang, mengacu SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 1997 Chapter* 28 Tabel 29
2	$q_{peralatanelektronik}$	4.190 W	Perhitungan menggunakan persamaan 4 berdasarkan Tabel 4, mengacu SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 1997 Chapter* 28 Tabel 29
3	$q_{pencahayaan}$	768 W	Perhitungan menggunakan persamaan 5 berdasarkan Tabel 5, mengacu SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 1997 Chapter* 28 Tabel 29
4	$q_{radiasijendela}$	1.724,72 W	Perhitungan menggunakan persamaan 6 berdasarkan tabel 6 jenis jendela nomor 1,2,3 dan 6 mengacu SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 1997 Chapter* 28 Tabel 36
5	$q_{jendela,atap,dinding}$	2.365,04 W	Perhitungan menggunakan persamaan 7 berdasarkan tabel 1, 6 dan 7 meliputi dimensi kereta dan selubung serta U value material
6	$q_{partisi}$	1.953,158 W	Perhitungan menggunakan persamaan 8 berdasarkan tabel 2 untuk partisi lantai mengacu SNI 03-6572-2001
7	$q_{ventilasi}$	8.734,81 W	Perhitungan menggunakan persamaan 9 berdasarkan tabel 1 aliran udara segar mengacu SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 1997 Chapter* 28 Tabel 29
8	$q_{infiltrasi}$	8.163,18 W	Perhitungan menggunakan persamaan 10 berdasarkan observasi lapangan mengacu SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 1997 Chapter* 28 Tabel 29

Berdasarkan parameter input perhitungan nilai CLTD pada **Tabel 13** di atas, selanjutnya dilakukan penjumlahan setiap faktor beban pendinginan meliputi beban *internal*, *eksternal*, udara ventilasi dan infiltrasi yang disajikan pada **Tabel 14-16** seperti berikut.

Tabel 14. Beban Pendinginan *Internal*

Komponen	Nilai
$q_{penumpang}$	9.360 W
$q_{peralatanelektronik}$	4.190 W
$q_{pencahayaan}$	768 W
Total Beban Pendinginan *Internal*	14.318 W

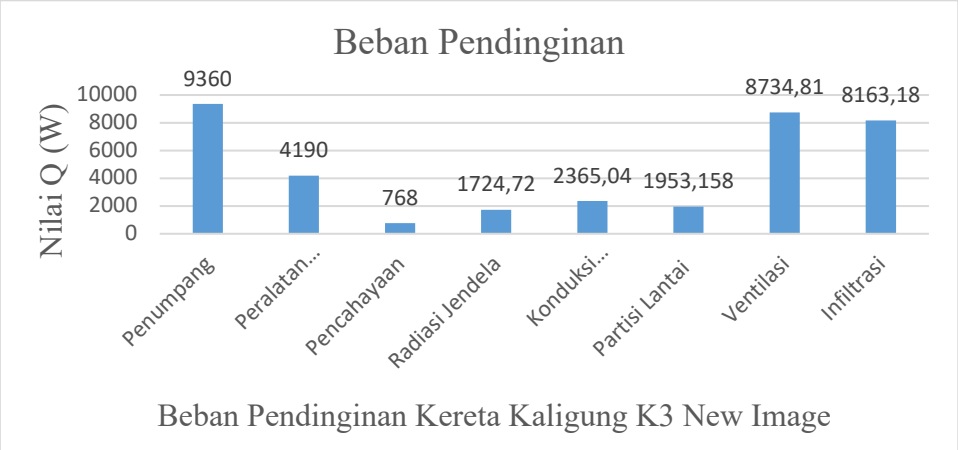
Tabel 15. Beban Pendinginan *Eksternal*

Komponen	Nilai
$q_{radiasijendela}$	1.724,72 W
$q_{jendela,atap,dinding}$	2.365,04 W
$q_{partisi}$	1.953,158 W
Total Beban Pendinginan *Eksternal*	6.042,918 W

Tabel 16. Beban Pendinginan Ventilasi dan Infiltrasi

Komponen	Nilai
$q_{ventilasi}$	8.734,81 W
$q_{infiltrasi}$	8.163,18 W
Total Beban Pendinginan Udara Ventilasi dan Infiltrasi	16.897,99 W

Mengacu **Tabel 14-16** beban pendinginan kereta Kaligung K3 *New Image* telah diketahui dan disajikan dalam bentuk diagram balok seperti pada **Gambar 4** berikut.



Gambar 4. Diagram Balok Masing-Masing Jenis Beban Pendinginan

Berdasarkan diagram di atas ditunjukkan bahwa beban pendinginan dari penumpang menjadi paling dominan sebesar 9.360 W, diikuti beban ventilasi dari aliran udara segar melalui sistem pengkondisian udara sebesar 8.734,81 W serta infiltrasi udara dari aktivitas penumpang saat proses *boarding* yang melewati objek penelitian sebesar 8.163,18 W. **Tabel 18** dibawah ini merupakan perhitungan beban pendinginan pada kereta Kaligung jenis K3 *New Image*.

Tabel 17. Beban Pendinginan Ventilasi dan Infiltrasi

Komponen	Nilai
Beban Pendinginan *Internal*	14.318 W
Beban Pendinginan *Eksternal*	6.042,918 W
Beban Pendinginan Udara Ventilasi dan Infiltrasi	16.897,99 W
Beban Pendinginan Berdasarkan Seluruh Faktor	**37.258,908 W**

Nilai dari faktor-faktor beban pendinginan yang dihitung pada **Tabel 17** selanjutnya dijumlahkan dengan *safety factor* sebesar 10% sesuai dengan dokumen *ASHRAE 1997 Chapter* 27 dengan hasil perhitungan pada **Tabel 18** berikut.

Tabel 18. Total Beban Pendinginan

Komponen	Nilai
Beban Pendinginan Berdasarkan Seluruh Faktor	37.258,908 W
Safety Factor	10%
Jumlah Total Beban Pendinginan	**40.984,79 W**
Konversi Watt ke kkal/jam	**35.237,69 kkal/jam**

3.3. Evaluasi Kemampuan Kapasitas Pendinginan

Berdasarkan **Tabel 1** mengenai data spesifikasi teknis kereta Kaligung K3 *New Image* dilengkapi sistem pengkondisian udara dengan kapasitas pendinginan sebesar 36.000 Kkal/jam. Hasil perhitungan total beban pendinginan menggunakan metode CLTD diperoleh sebesar 35.237,69 Kkal/jam. Perbandingan antara total kapasitas pendinginan dan total beban pendinginan disajikan pada **Tabel 19** berikut.

Tabel 19. Perbandingan Kapasitas Pendinginan dengan Total Beban Pendinginan

Parameter	Nilai
Total Kapasitas Pendinginan Terpasang	36.000 Kkal/h
Total Beban Pendinginan	35.237,69 Kkal/h
Selisih	762,31 Kkal/h

Dengan mengacu pada **Tabel 19**, disimpulkan bahwa kapasitas pendinginan ruang penumpang pada kereta Kaligung K3 New Image mampu menangani total panas yang masuk sebagai beban pendinginan ketika kereta berhenti di stasiun selama proses *boarding* penumpang.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tersebut, nilai OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) total pada selubung kereta Kaligung K3 *New Image* diperoleh sebesar 28,01 W/m^2, masih berada di bawah batas maksimum standar SNI 6389:2020 yaitu 35 W/m^2, sehingga selubung kereta efektif dalam membatasi perpindahan panas dan mendukung kenyamanan termal ruang penumpang. Perhitungan beban pendinginan menggunakan metode CLTD menunjukkan bahwa faktor dominan berasal dari beban internal penumpang sebesar 9.360 W, diikuti beban udara ventilasi sebesar 8.734,81 W, dan beban udara infiltrasi sebesar 8.163,18 W, sementara faktor lainnya memberikan kontribusi lebih kecil. Total beban pendinginan berdasarkan faktor-faktor yang telah dilakukan perhitungan adalah sebesar 37.258,908 W, namun setelah penambahan faktor keamanan sebesar 10%, total beban pendinginan menjadi 40.984,79 W atau setara 35.237,69 Kkal/jam. Sementara kapasitas pendinginan yang terpasang pada kereta Kaligung K3 *New Image* sebesar 36.000 Kkal/jam sehingga mampu menangani total panas yang masuk sebagai beban pendinginan dan mendukung kenyamanan termal penumpang. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa metode OTTV dan CLTD efektif untuk menganalisis perpindahan panas dan beban pendinginan pada kereta serta dapat mengevaluasi kapasitas pendinginan yang terpasang.

Terima Kasih Kepada

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatasi, Universitas PGRI Semarang atas dukungan akademik dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada PT Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi IV Semarang atas izin dan fasilitasi pengambilan data lapangan, serta kepada PT Industri Kereta Api (Persero) atas ketersediaan dokumen teknis yang mendukung proses analisis dan penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sriastuti DAN. Kereta Api Pilihan Utama Sebagai Moda Alternatif. Paduraksa. 2015;4(1):26–34.
2. Jati TBP, Yenita. Analisis Kepuasan Konsumen Terhadap Layanan Kereta Api Jarak Jauh Pt. Kereta Api Indonesia (Persero) Berdasarkan Marketing Mix 5P Di Daerah Operasi 1 Jakarta. PAPATUNG J Ilmu Adm Publik, Pemerintah dan Polit. 2023;6(1):34–41.
3. Ramli MI, Adisasmita SA, Sabil MI, et al. Sosialisasi Manfaat Moda Transportasi Publik Berbasis Rel untuk Peningkatan Animo Penggunaan Kereta Api di Rute Maros-Barru Sulawesi Selatan. J Tepat … [Internet]. 2025;8:94–103. Available from: https://eng.unhas.ac.id/tepat/index.php/Jurnal_Tepat/article/view/574%0Ahttps://eng.unhas.ac.id/tepat/index.php/Jurnal_Tepat/article/download/574/321
4. Ozkar F. Homzah. Studi Kinerja Mesin Pengkondisi Udara Tipe Terpisah (AC SPLIT) Pada Gerbong Penumpang Kereta Api Ekonomi. 2016;II(November):37–44.
5. Mariana Diah Puspitasari. Analisa Perbandingan Efisiensi Daya Dan Kapasitas Pendinginan Antara Ac Central Dan Ac Split Pada Kereta Ekonomi. Tek Elektro Perkeretaapi. 2018;2(2):110–9.
6. Saripudin EF, Moch Djaohar, Aris Sunawar. Analisis Efisiensi Sistem Pendingin Pada Kereta Api Kelas Ekonomi. J Electr Vocat Educ Technol. 2021;6(1):1–4.
7. Rahajeng Kurnianingtyas, Firda Julianita Pradina Putri BDH. Perhitungan Beban Pendinginan Ruang Perpustakaan Politeknik Negeri Indramayu Berbasis Metode CLTD Sebagai Upaya Peningkatan Kenyamanan Lingkungan Kerja. J PEDAMAS (Pengabdian Kpd Masyarakat) Vol 3, Nomor 1, Januari 2025 ISSN 2986-7819. 2025;3(November 2024):118–28.
8. Yunianto B. Pemanfaatan Evaporative Cooling untuk Meningkatkan Kenyamanan Ruang. Rotasi. 2018;20(1):29.
9. Ananta F, Trisma Jaya Saputra, Nurmala Dyah Fajarningrum. Analisis Beban Pendinginan Kereta Argo Lawu New Generation Menggunakan Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD). J Rekayasa Mesin. 2025;20(1):139–46.

10. M. Sugiri, Sigit Yulianto, Parman Sinaga, Nadif Abinaya Ramadhani. Analysis of air conditioning system capacity requirements on the support train. JTTM J Terap Tek Mesin. 2025;6(2):293–305.
11. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 15 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Kereta Yang Ditarik Lokomotif. 2011.
12. Kementerian Perhubungan. PM 63 Tahun 2019 tentang Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang dengan Kereta Api. Kementrian Perhub Republik Indones. 2019;(3):50.
13. Ikasari AU, Suryoko S, Nurseto S. PENGARUH NILAI PELANGGAN DAN KUALITAS PELAYANAN TERHADAP KEPUASAN PELANGGAN (Studi kasus pada penumpang KA Kaligung Mas di Stasiun Poncol Semarang). Diponegoro J Soc Polit. 2013;1–8.
14. Budiarto BW, Oktaria DS. Analisis Beban Pendinginan Pada Kereta TMC PPI Madiun. J Cahaya Mandalika [Internet]. 2024;755–67. Available from: https://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/view/3563%0Ahttps://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/download/3563/2845
15. Srihanto S, Sugiri M, Handika D. Analisis Beban Pendingin Pada Restorasi Kereta Cepat Jakarta-Bandung Cr400af Ukuran 25 X 3, 36 X 2, 05 M Kapasitas 75 Orang. Pros Snitt Poltekba. 2024;6:189–95.
16. Manurung D, Furkhan MA, G. GC, Alfian DGC, Silitonga DJ, Carlodinho S, et al. Analisis Beban Pendinginan di Ruang Kelas F212 Institut Teknologi Sumatera. Quantum Tek J Tek Mesin Terap. 2025;6(2):54–60.
17. Syah SS, Drastiawati NS, Taufan H. Perhitungan Cooling Capacity Yang Dibutuhkan Pada Kapal Tanker 17500 LTDW Cooling Capacity Calculations Required On Tanker Ship 17500 LTDW. Otopro. 2019;14(1):6.
18. Perfo E, Sist RMA, Mesin EM, In P. Efek beban pending in t erhadap perfo rma sist em mesin pending in.
19. PT. INKA Persero. Manual Produk Kereta Penumpang Kelas Ekonomi (Product Manual for Economy Class of Passenger Coach). Madiun; 2016. 1–88 p.
20. Badan Standarisasi Nasional. SNI 6389:2020 - Konservasi Energi Selubung Pada Bangunan Gedung. Jakarta: BSN; 2020. 1–73 p.
21. Rockwool Indonesia. ROCKWOOL stone wool products are made of basalt , a volcanic stone [Internet]. [cited 2026 Mar 13]. Available from: https://www.gias.co.id/img/download/14.pdf
22. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Keputusan Direktur Jenderal Perkeretaapian Nomor: KP DJKA 224 Tahun 2024 tentang Grafik Perjalanan Kereta Api Pada Jaringan Jalur Kereta Api Nasional di Jawa Tahun 2025 [Internet]. 2024. 1721 p. Available from: https://djka.dephub.go.id/uploads/201908/laptah2016.pdf
23. PT. Kereta Api Indonesia (Persero). Kajian Teknik Beban Daya Listrik Kereta. Bandung; 2019.
24. Badan Standarisasi Nasional. BSN. 2001. p. 1–55 SNI 03-6572-2001 – Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. Available from: https://www.endlessafe.com/wp-content/uploads/2022/03/SNI-03-6572-2001.pdf
25. ASHRAE. ASHRAE Handbook Fundamentals 1997 [Internet]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); 1997. 1–851 p. Available from: https://drive.google.com/drive/folders/1nXEsbCPM_zgW8w4EXFVG3fDHnRnaGuub