

Analisis Numerik Pengaruh Modifikasi Desain Saluran Hvac Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) pada Kereta Bandara Adi Soemarmo

Nur Aziza Fawziya dan Prabowo

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: prabowohirokiyo@gmail.com

Abstrak—Efisiensi energi dalam kereta sangat tergantung pada peran penting perangkat pendingin udara. Kenyamanan termal juga harus dicapai walaupun dilakukan suatu efisiensi energi. Suplai temperatur, tingkat kelembaban, dan sirkulasi udara yang optimal dari lingkungan sekitar menjadi faktor utama untuk mencapai kenyamanan termal. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, Kereta Rel Diesel Elektrik membutuhkan kapasitas pendinginan minimal sebesar 44273 W. Udara dari AC akan dialirkan ke dalam Kereta Rel Diesel Elektrik melalui saluran dual-ducting yang merupakan desain existing dan disimulasikan dengan variasi single duct tanpa pengarah dan single duct dengan 45° grill dengan variasi kecepatan 9 m/s dan 18 m/s sebagai simulasi satu evaporator dan dua evaporator. Metodologi yang dipakai untuk meneliti distribusi aliran udara pada saluran serta distribusi temperatur pada Kereta Rel Diesel Elektrik BIAS, maka dilakukan desain simulasi dalam penelitian ini. Dilakukan studi literatur untuk memahami beban pendinginan, diagram psikrometrik dan system pengondisian udara, memodelkan geometri pada Solidworks 2021 sesuai dengan data yang diberikan, lalu disimulasikan dalam ANSYS FLUENT 2021. Pada tahap ini, diambil 15 titik untuk mengambil sampel kecepatan dan temperatur udara. Dari hasil analisis, dapat dipilih desain yang lebih baik dari *existing design* atau *single duct design with 45° grill* and 9 m/s inlet velocity yang keduanya sama-sama memenuhi standar *temperature*, kecepatan area kepala dan RH. Dari hasil tersebut, variasi yang paling memenuhi tujuan adalah *Single duct design with 45° grill and 9 m/s inlet velocity* dengan penggunaan 1 evaporator, temperatur rata-rata 23.46°C, rata-rata kecepatan area kepala 0.27 m/s dan RH 58.99%.

Kata Kunci—Beban Pendinginan, CFD, Efisiensi Energi, Kereta Rel Diesel Elektrik, Sistem Pengkondisian Udara.

I. PENDAHULUAN

EFISIENSI energi pada AC kereta menjadi isu penting dalam mengoptimasi biaya operasional. Peningkatan efisiensi harus tetap memperhatikan kenyamanan thermal penumpang. Parameter kenyamanan tersebut meliputi temperatur, nilai kelembaban udara relative dan kecepatan pada area kepala. Sistem HVAC pada kereta harus mampu menangani perubahan suhu dan kelembaban udara, serta menjaga kualitas udara dalam ruangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan yang baik untuk meningkatkan efisiensi energi HVAC pada kereta. Dibutuhkan suatu pilihan yang lebih sederhana dan ekonomis.

Selain itu, sirkulasi udara juga merupakan faktor penting dalam meningkatkan kenyamanan udara pada kereta. Pemilihan jenis dan ukuran ducting yang tepat serta perencanaan layout sistem HVAC yang baik dapat membantu meningkatkan kenyamanan thermal dan dapat menghemat konsumsi energi pada kereta.

Selanjutnya, perencanaan layout sistem HVAC yang baik juga perlu diperhatikan. Penempatan unit HVAC pada kereta harus mempertimbangkan ruang yang tersedia dan ketersediaan energi listrik yang cukup. Selain itu, pemilihan material yang tepat untuk insulasi dan ducting juga dapat membantu meningkatkan efisiensi energi HVAC pada kereta [1].

Dalam skripsi ini, akan dilakukan penelitian mengenai efisiensi energi HVAC pada kereta dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi perancangan sistem HVAC yang lebih pada kereta.

Spesifikasi dimensi dan segala jenis proses manufaktur yang diatur tersebut dirancang untuk menyesuaikan Standar Internasional yang telah disebutkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM. No. 42 tahun 2010 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta dengan Penggerak Sendiri. Telah ditentukan bahwa suhu ruangan harus di sekitar 22-26°C, dengan kecepatan di area kepala <0,5 m/s dan RH sekitar 50-80% [2].

Kelembaban Udara Relatif (RH) adalah kemampuan udara untuk menyerap uap air atau perbandingan antara tekanan uap dengan tekanan jenuh air. Nilai RH dapat diperoleh dari diagram psikrometrik, yaitu pada titik perpotongan nilai entalpi dan suhu bola kering. Untuk mendapatkan nilai h , digunakan persamaan berikut,

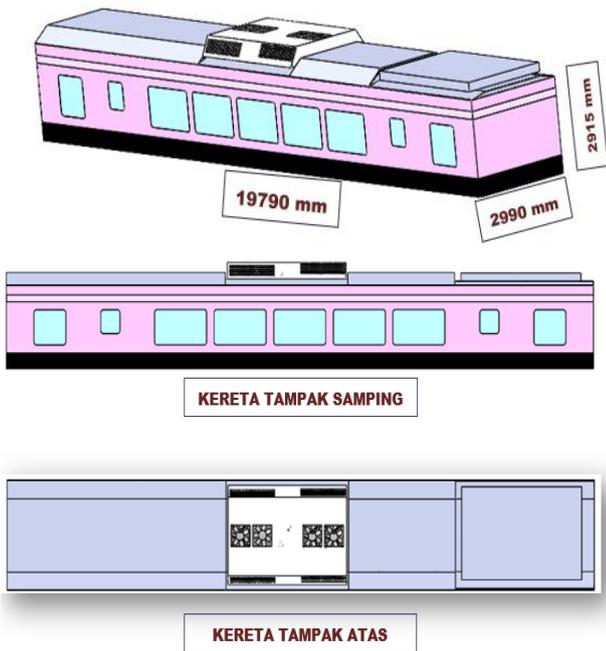
$$h = (1,006.T_{db}) + [W.(2501 + 1,805.T_{db})] \quad (1)$$

Nilai kelembaban udara relatif dikelompokkan menjadi beberapa kategori, diantaranya: (a) $RH \leq 40\%$, udara tidak nyaman dan dapat menyebabkan kulit terasa kering yang tidak wajar, (b) $50\% \leq RH \leq 80\%$, udara terasa nyaman, tidak terlalu kering atau terlalu lembab, (c) $80\% < RH \leq 90\%$, udara terasa hangat dan nyaman, tetapi dapat membuat kulit terasa lembab. (d) $RH > 90\%$, udara tidak nyaman dan dapat membuat kulit terasa sangat lembab, serta mengakibatkan udara terasa pengap dan berat.

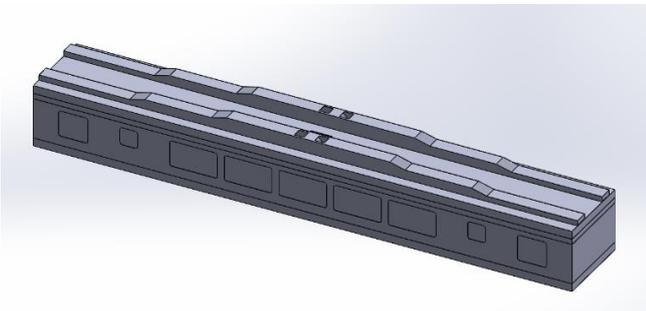
Kenyamanan termal di daerah tropis dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan temperatur efektif, yaitu: (a) Sejuk nyaman: berkisar antara 20,5°C hingga 22,8°C, (b) Nyaman optimal: berkisar antara 22,8°C hingga 25,8°C, (c) Hangat nyaman: berkisar antara 25,8°C hingga 27,1°C.

Temperatur udara kering berpengaruh besar pada kalor yang dilepaskan melalui pengiapan dan konveksi. Oleh karena itu, pengaturan suhu dan kelembaban udara perlu diperhatikan untuk menciptakan kondisi yang nyaman bagi penghuni di dalam ruangan [3].

Kecepatan udara di atas kepala penumpang menjadi faktor penting untuk menjaga kenyamanan termal selama perjalanan



Gambar 1. Domain model keseluruhan 3D kereta tiga dimensi.



Gambar 2. Domain model kereta yang diteliti (kabin dan duct).

kereta. Untuk memastikan kenyamanan termal di dalam kereta, kecepatan udara yang terasa di atas kepala penumpang tidak boleh terlalu besar, idealnya tidak lebih dari 0,5 m/s.

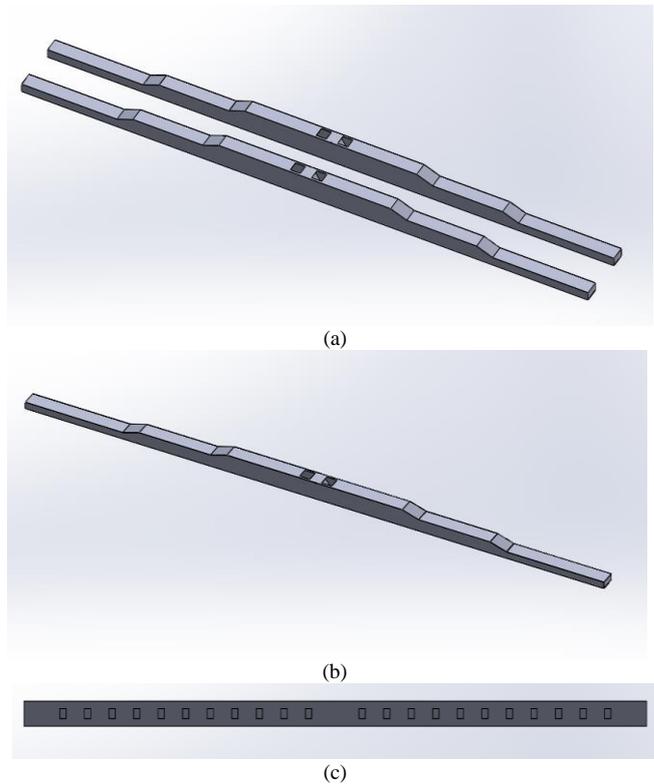
Maka, pada penelitian ini dilakukan perbandingan variasi antara dua jenis saluran sistem AC, yaitu *dual duct* dan *single duct*, dengan fokus pada penggunaan dua evaporator dibandingkan penggunaan satu evaporator dalam bagian *single duct*. Dalam keseluruhan penelitian, perbandingan antara dua jenis saluran AC dan penggunaan dua evaporator versus satu evaporator akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang dampaknya terhadap distribusi aliran udara dan kenyamanan termal dalam ruangan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengoptimalan desain sistem AC, sehingga mencapai keseimbangan yang tepat antara kinerja dan kenyamanan bagi penghuni ruangan.

II. METODOLOGI

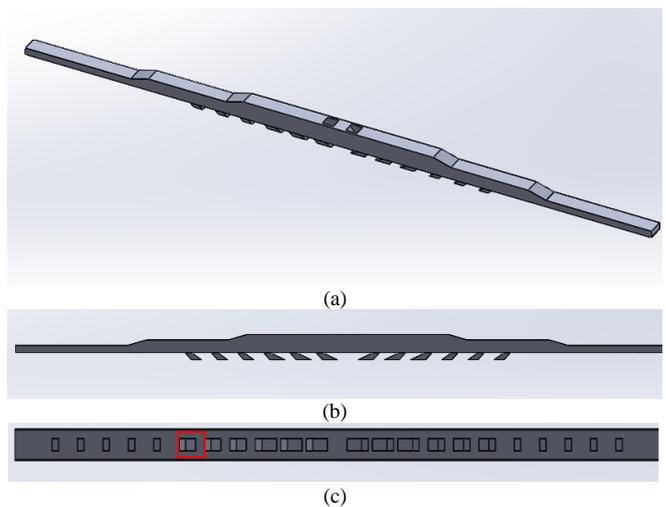
A. Domain Komputasi

Gambar 1 adalah pemodelan ANSYS FLUENT yang dilakukan pada penelitian ini. Kabin kereta memiliki Panjang 19790 mm, lebar 2990 mm dan tinggi 2915 mm. HVAC diletakkan pada bagian atas kereta. HVAC memiliki 2 evaporator untuk mengalirkan udara ke dua saluran pada desain *existing*.

Simulasi dilakukan pada kabin dan saluran. Pemodelan desain saluran *existing* ada pada Gambar 2. Outlet terletak di



Gambar 3. (a) Duct untuk *existing design*, (b) Variasi duct (c) Variasi duct tampak bawah.

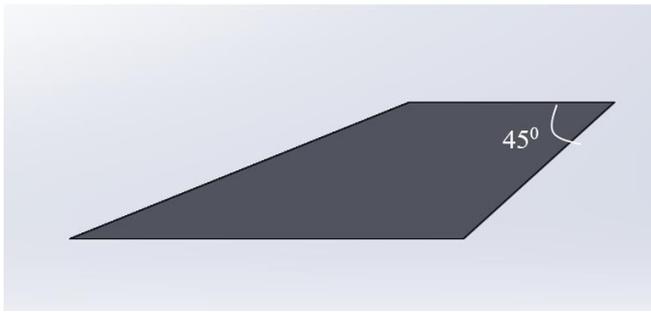


Gambar 4. (a) Variasi duct dengan 45° grill (b) Variasi duct dengan 45° tampak samping (c) Variasi duct dengan 45° grill tampak bawah.

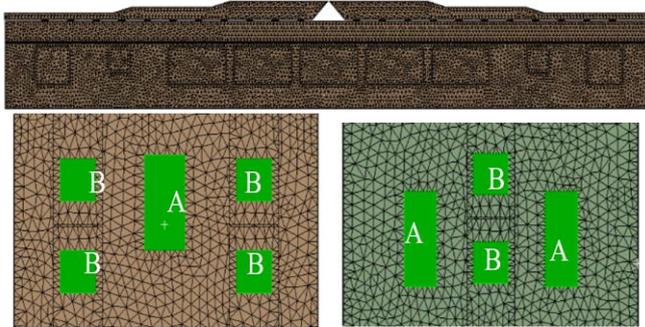
tengah atap kereta dengan lubang *inlet* masing-masing 2 pada satu saluran. Aliran udara masuk melalui inlet, berputar di dalam kabin sebelum akhirnya kembali ke atas dan keluar melalui *outlet* pada bagian tengah kereta.

Gambar 3 adalah visualisasi saluran yang dipakai. Pada bagian bawah terdapat lubang untuk menyalurkan udara. Kecepatan *default* pada kereta adalah 9 m/s per evaporator tiap saluran. Pada penelitian ini, divariasikan saluran menjadi satu untuk mengoptimalkan penggunaan evaporator. Dengan pemakaian satu saluran, diharapkan satu evaporator cukup untuk mencapai kenyamanan termal sesuai dengan *customer requirement* yang telah disebutkan sebelumnya, terkait suhu, kecepatan area kepala dan RH.

Gambar 4 dan Gambar 5 adalah detil dari variasi saluran yang lainnya, yaitu dengan menambahkan pengarah. Pengarah yang dipakai adalah 45°. Dasar pemilihan pengarah tersebut adalah berdasarkan hasil simulasi yang menunjukkan



Gambar 5. Detail sudut pengarah pada variasi.



Gambar 6. Meshing keseluruhan variasi, kiri bawah: double duct, kanan bawah: single duct A = outlet, B = inlet.

bagian tengah kereta dengan *existing design* memberikan suhu udara yang lebih panas daripada kabin bagian ujung depan dan belakang kabin. Kemudian, upenelitian sebelumnya yang dilakukan oleh S. A. Safitri pada tahun 2017 membuktikan bahwa hasil pengaliran udara melalui pengarah 45° bisa membuat suhu bagian tengah pada kabin menjadi lebih dingin dengan grafik yang paling konstan dan tidak fluktuatif dibandingkan dengan sudut pengarah lainnya [4].

B. Meshing

Selanjutnya dilakukan meshing geometri dengan menggunakan model Tetrahedral. Model Tetrahedral dipilih karena sesuai dengan bentuk geometri kekotakan yang telah dibuat. Pada saat melakukan *meshing*, masing-masing elemen dikondisikan dengan menggunakan element sizing pada *face* dan *edge*. Hal itu dilakukan untuk mencegah lapisan batas (*boundary layers*) yang telah dibuat menjadi hilang karena diperhalus secara otomatis jika menggunakan mesh volume. Gambar 6 adalah hasil *meshing* yang dilakukan menggunakan ANSYS dengan *element size* 50 mm. Bagian A merupakan *Outlet*, dan B adalah *Inlet*.

C. Boundary Condition

Boundary condition simulasi diberikan pada Tabel 1 dan Gambar 7. Penggunaan *inlet* adalah *velocity* yang menggambarkan kecepatan udara AC yang masuk ke dalam kabin sebesar 9 m/s. untuk satu evaporator. Dikarenakan penelitian ini membandingkan penggunaan 1 evaporator dan 2 evaporator, maka digunakan juga kecepatan sebesar 18 m/s untuk dua evaporator pada variasi satu saluran. Bagian lainnya adalah *wall* yang diberikan *heat flux* sesuai dengan perhitungan *cooling load*.

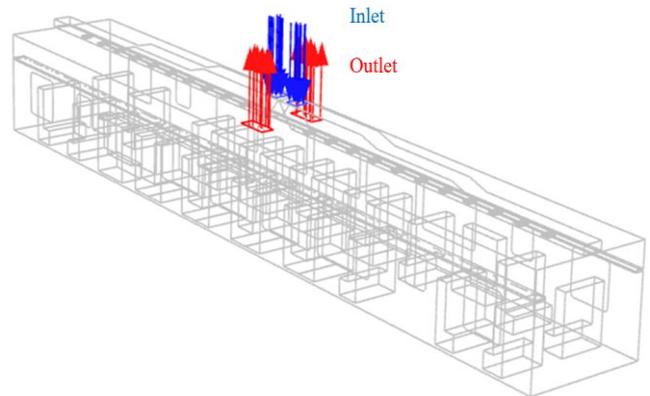
Gambar 7 adalah visualisasi *inlet* dan *outlet* pada variasi satu saluran.

D. Beban Pendinginan

Cooling Load atau beban pendinginan merujuk pada energi

Tabel 1.
Boundary condition simulasi

Domain	Tipe Kondisi Batas
Dinding Belakang	Wall
Dinding Depan	Wall
Dinding Kanan	Wall
Dinding Kiri	Wall
Atap	Wall
Lantai	Wall
Jendela	Wall
Penumpang	Wall
<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>
<i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>



Gambar 7. *Boundary condition* simulasi.

yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhu dan kelembapan udara dalam suatu ruangan sesuai dengan kebutuhan manusia yang berada di dalamnya, seperti yang dijelaskan oleh W. F. Stoecker [5]. Untuk mempertahankan kondisi udara yang nyaman dan sesuai dengan kebutuhan manusia dalam sebuah ruangan, sistem pengkondisian udara memainkan peranan penting dengan mengatur suhu, kelembapan, sirkulasi udara, dan kualitas udara. Dalam tahap perencanaan sistem pengkondisian udara, perhitungan beban pendinginan menjadi kunci penting dalam menentukan jenis dan kapasitas peralatan yang dibutuhkan. Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD) sering digunakan untuk memperkirakan besarnya beban pendinginan yang dipengaruhi oleh tiga jenis beban panas, yaitu beban panas akibat konduksi, beban panas akibat radiasi, dan beban panas internal [6]. Berikut adalah beban panas yang diperhitungkan:

1. Beban Panas Akibat Konduksi
$$Q = U \times A \times CLTD \tag{2}$$

2. Beban Panas Akibat Radiasi
$$Q_{Kc} = A_{Kc} SC \times SHGF \times CLF_{Kc} \tag{3}$$

3. Beban Infiltrasi dan Ventilasi
$$Q_S = 1.1 \times CFM \times TD \tag{4}$$

4. Beban Panas Penumpang
$$Q_L = 0.68 \times CFM \times (W'_{OA} - W'_i) \tag{5}$$

5) Beban Panas Peralatan
$$Q_{orangS} = q_s \times n \times CLF_p \tag{6}$$

$$Q_{orangL} = q_L \times n \tag{7}$$

5) Beban Panas Peralatan
$$Q_{Equipment} = (q_{eqs} \times CLF_{Eq}) + q_{eql} \tag{8}$$

Tabel 2.
Beban pendinginan konduksi kabin kereta

$A (m^2)$	U	$T Indoor$	$T Outdoor$	Q
65.09	2.18	Beban pada Atap 24 35		1560.8582
33.10	2.184	Beban pada Dinding Kiri 24 35		795.1944
33.10	2.184	Beban pada Dinding Kanan 24 35		795.1944
5.18	2.185	Beban pada Dinding Depan 24 35		124.5013
5.18	2.185	Beban pada Dinding Belakang 24 35		124.5013
59.17	2.185	Beban pada Lantai 24 35		1422.15095
9.41	4.682	Beban pada Kaca Jendela 24 35		484.63382

Tabel 3.
Beban pendinginan radiasi kabin kereta

n	A	τn	I_n	Q
3	1.36	0.5	859	1756
2	1.36	0.5	859	1171
2	0.5	0.5	859	430
3	1.36	0.5	129	264
2	1.36	0.5	129	176
2	1.36	0.5	129	65

Tabel 4.
Beban pendinginan penumpang kabin kereta

Q_n	N	Q
76	126	9576

Tabel 5.
Beban Pendinginan Peralatan Kabin Kereta

Jenis	Jumlah	Daya W	Q W
Dispenser	1	250	250
Monitor CCTV	2	60	120
Speaker	6	5	30

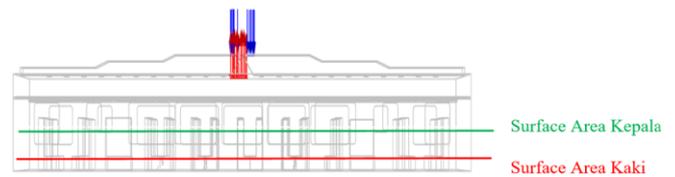
Tabel 6.
Beban Pendinginan Infiltrasi dan Ventilasi Kabin Kereta

Beban Infiltrasi (W)				
Beban Sensibel		516.6 W		
Beban Laten		1809.6 W		
Beban Ventilasi (W)				
$V (m^3/h)$	io (Wh/kg)	ii(Wh/kg)	$V (m^3/kg)$	$Q(W)$
1008	29.34	14.72	0.787	18716
TOTAL				21042.2

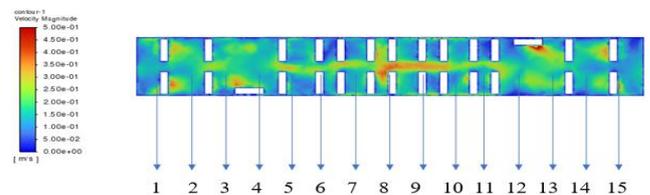
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Beban Pendinginan

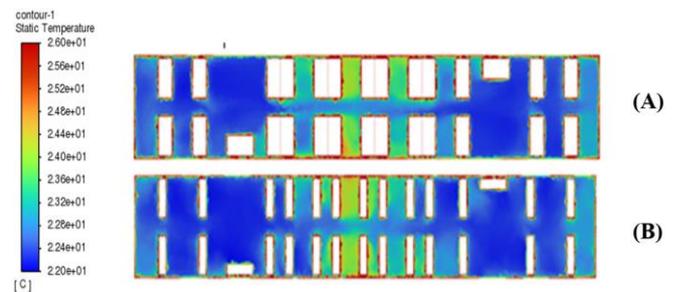
Beban pendinginan adalah energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhu dan kelembapan udara dalam suatu ruangan sesuai dengan kebutuhan manusia yang berada di dalamnya. Berikut pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 adalah perhitungan berdasarkan data yang diberikan oleh PT. INKA untuk mencari tahu total beban



Gambar 8. Letak *surface* pengambilan sampel temperatur.

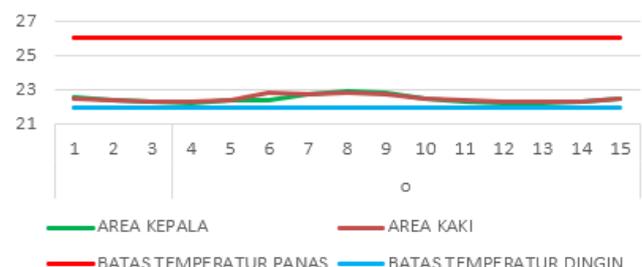


Gambar 9. Letak *points* pengambilan sampel temperatur dan kecepatan udara.



Gambar 10. Hasil *contour* temperatur pada desain *existing*. (A) area kaki, (B) area kepala.

TEMPERATUR DALAM KABIN EXISTING DESIGN



Gambar 11. Grafik pengambilan sampel temperatur pada desain *existing*.

pendinginan. Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD) digunakan untuk memperkirakan besarnya beban pendinginan oleh beban panas akibat konduksi, beban panas akibat radiasi, dan beban panas internal.

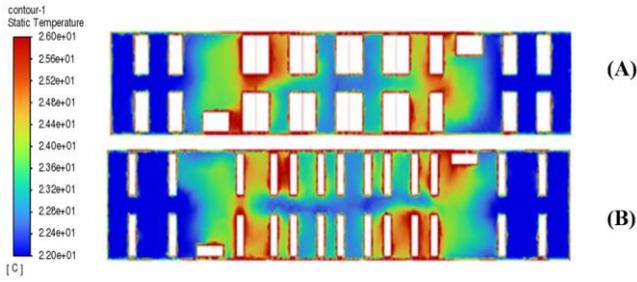
Kemudian ditambah dengan beban penerangan adalah 4085.4 W. Total dari seluruh beban pendinginan tersebut adalah 44273 W. Dengan *safety factor* 5%, maka beban pendinginan aktual yang terjadi adalah 46486.65 W.

B. Analisis Hasil Simulasi

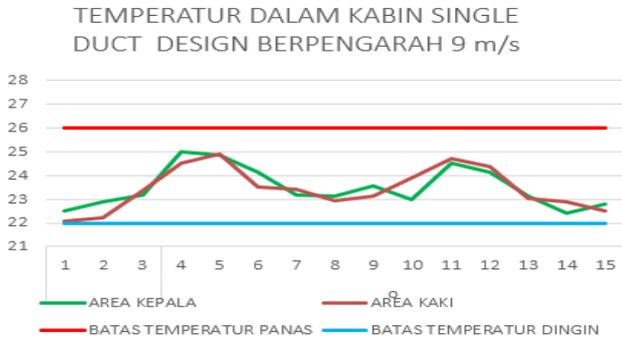
Simulasi dilakukan untuk mencari tahu hasil temperatur pada area kepala dan kaki. Tujuan dari simulasi ini adalah mencari jenis penggunaan saluran dan evaporator yang paling efisien tetapi tetap harus menyesuaikan *customer requirement*.

Gambar 8 menunjukkan letak pengambilan *surface* untuk kontur yang ditampilkan pada hasil simulasi.

Gambar 9 menunjukkan letak titik-titik untuk mengambil sampel temperatur udara agar tervalidasi semua bagian kereta memenuhi *customer requirement*, bukan hanya rata-ratanya. Selain temperatur, kecepatan udara juga mengikuti titik-titik



Gambar 12. Hasil *contour* temperatur pada variasi *single duct 45° grill* dengan 1 evaporator (9 m/s inlet velocity). (A) area kaki, (B) area kepala.



Gambar 13. Grafik pengambilan sampel temperatur pada variasi *single duct 45° grill* dengan 1 evaporator (9 m/s inlet velocity).

Tabel 7. Perhitungan RH

Design	Temp. (Tdb) °C	Wet Bulb Temp (Twet) °C	Enthalpy (h) kJ/kg	Absolute Humidity (w) kg water / kg dry air	Relative Humidity (RH) %
Existing Design	22.48	17.66	69.69	0.01064	60
Single Duct Inlet 9 m/s	23.59	18.03	70.83	0.01064	58.53
Single Duct Inlet 18 m/s	22.6	17.7	69.81	0.01064	62.17
Single Duct with Grill 9 m/s	23.46	17.99	70.7	0.01064	58.99
Single Duct with Grill 18 m/s	22.36	17.62	69.57	0.01064	63.08

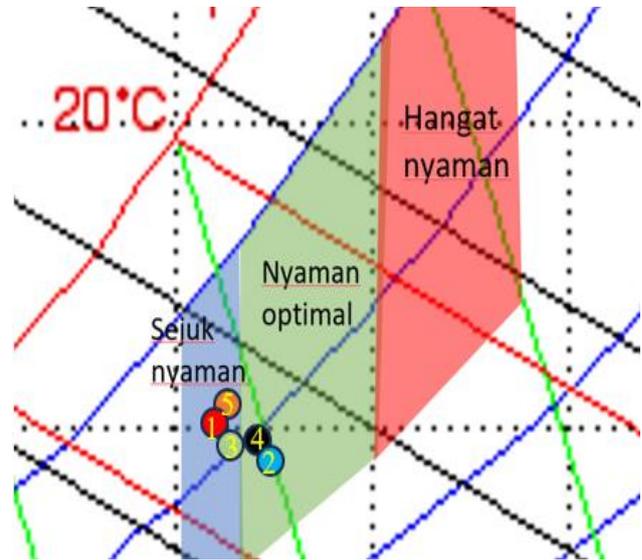
di atas. Pada artikel ini, dirangkum hasil simulasi pada dua variasi yang paling baik, yaitu *existing design* dan Variasi *Single Duct 45° Grill* dengan 1 Evaporator (9 m/s inlet velocity).

Gambar 10 dan 11 adalah hasil temperatur yang didapatkan simulasi untuk *design existing*. Hasil yang didapatkan sudah optimal, akan tetapi masih menggunakan 2 evaporator. Terlihat dari kontur dan grafik bahwa bagian tengah kereta lebih panas daripada bagian lainnya. Akan tetapi, semua masih dalam jangkauan *customer requirement*.

Gambar 12 dan 13 adalah hasil temperature yang didapatkan simulasi untuk variasi *Single Duct with Grill, 9 m/s*. Evaporator adalah 1 untuk 1 saluran. Hasil kontur dan grafik menunjukkan bahwa suhu yang didapatkan sudah sesuai dengan *customer requirement*.

C. Analisis Psikrometrik

Parameter lainnya yang dipakai untuk menentukan kenyamanan termal adalah RH. RH yang sesuai dengan



Gambar 14. *Comfort zone* pada diagram psikrometrik. (1) *existing design*, (2) *single duct inlet 9 m/s* (3) *single duct inlet 18 m/s* (4) *single duct with grill 9 m/s* (5) *single duct with grill 18 m/s*.

Tabel 8. Hasil pengambilan sampel pada 15 titik area kepala

Titik pengambilan sampel (jarak)	Existing Design (A)	Single Duct Inlet 9 m/s (B)	Single Duct Inlet 18 m/s (C)	Single Duct with Grill 9 m/s (D)	Single Duct with Grill 18 m/s (E)
(mm)					
1236.88	0.12	0.15	0.26	0.25	0.61
2473.75	0.15	0.45	0.76	0.28	0.7
3710.63	0.27	0.51	0.51	0.3	0.8
4947.50	0.2	0.27	0.31	0.109	0.31
6184.38	0.23	0.21	0.54	0.34	0.36
7421.25	0.24	0.18	0.53	0.33	0.74
8658.13	0.28	0.15	0.37	0.33	0.66
9895	0.33	0.19	0.34	0.32	0.24
11131.88	0.14	0.17	0.58	0.31	0.91
12368.75	0.26	0.23	0.68	0.29	0.79
13605.63	0.26	0.32	0.48	0.23	0.18
14842.50	0.18	0.22	0.72	0.23	0.24
16079.38	0.23	0.3	0.36	0.24	0.66
17316.25	0.21	0.29	0.62	0.31	0.52
18553.13	0.18	0.19	0.61	0.29	0.74
RATA-RATA	0.22	0.26	0.504	0.27	0.55

customer requirement adalah 50-80%. Nilai Tdb didapatkan dari simulasi.

Tabel 7 menunjukkan bahwa semua variasi sesuai dengan *customer requirement*. Data yang didapatkan kemudian divisualisasikan dalam suatu diagram psikrometrik, yang sudah dibagi areanya berdasarkan kategori kenyamanannya masing-masing (Sejuk Nyaman, Nyaman Optimal, dan Hangat Nyaman).

Gambar 14 menunjukkan titik-titik penempatan setiap variasi sesuai dengan RH dan Tdbnya. Variasi 1, 3, dan 5 masuk ke dalam kategori sejuk nyaman dan sisanya adalah nyaman optimal.

D. Analisis Kecepatan Udara di Sekitar Kepala

Selain parameter di atas, satu lagi faktor penentu kenyamanan termal penumpang adalah kecepatan pada area kepala menurut SNI 03-6572-2001. Kecepatan udara di kepala tidak boleh melebihi 0,5 m/s.

Berdasarkan hasil kecepatan rata-rata yang didapatkan pada Tabel 8, dapat disimpulkan bahwa variasi yang

Tabel 9.
Perbandingan hasil simulasi

Parameter	Existing Design (A)	Single duct design with 45° grill and 9 m/s inlet velocity (B)
Jumlah penggunaan evaporator	2	1
Rata-rata temperatur	22.47	23.46

memenuhi syarat adalah *existing design (A)* dan *Single Duct with Grill 9 m/s (D)*.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka: (1) Beban pendinginan untuk Kereta Rel Diesel Elektrik Bandara Internasional Adi Soemarmo adalah sebesar 46486.24 W dari beban konduksi pada kabin, beban radiasi pada kaca jendela, beban penumpang, beban penerangan, beban peralatan, beban infiltrasi dan ventilasi. (2) Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa berdasarkan hasil temperature rata-rata, seluruh jenis variasi saluran AC kereta memenuhi *customer requirement*. Namun, jika dilihat berdasarkan temperature minimum dan maksimum, hanya *existing design, single duct design with 18 m/s inlet velocity*, dan yang memenuhi standar atau tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin. Kemudian hasil lain yang dilihat adalah kecepatan udara pada area kepala. Pada hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa semua variasi desain *single duct* dengan kecepatan inlet 18 m/s tidak memenuhi standar atau melebihi 0,35m/s. Untuk analisis RH, didapatkan semua jenis variasi saluran udara terasa nyaman. (3) Dari hasil analisis, dapat

dipilih desain yang lebih baik dari *existing design* atau *single duct design with 45° grill and 9 m/s inlet velocity* yang keduanya sama-sama memenuhi standar temperature, kecepatan area kepala dan RH. Terdapat dua konsiderasi yang diberikan pada Tabel 9. (a) Efisiensi evaporator: Jika menggunakan A, maka dibutuhkan utilisasi dua evaporator untuk mengalirkan udara pada dua saluran AC. Jika menggunakan B, maka dua evaporator dapat digunakan secara bergantian. (b) Rata-rata temperature: Jika menggunakan A, maka didapatkan rata-rata suhu dalam kategori sejuk nyaman, yaitu 20,5°C hingga 22,8°C. Jika memilih B, maka didapatkan rata-rata suhu masuk ke dalam kategori nyaman optimal, berkisar antara 22,8°C hingga 25,8°C. Namun, keduanya masuk ke dalam *customer requirement*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ali, S. Riffat, and Y. Zhang, "Energy efficient HVAC systems: A review on insulation materials and duct design," *Appl. Energy*, vol. 233, no. 1, pp. 1245–1260, 2019.
- [2] PT. INKA (Persero), *Spesifikasi Teknik 4 (Empat) Trainset Sarana Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE)*. Madiun: PT. Kereta Api Indonesia (Persero), 2019.
- [3] S. Aman and A. Kumar, "Thermal comfort in indoor environments: A review," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 39, pp. 516–529, 2018.
- [4] S. A. Safitri, "Desain dan Analisis Sistem Pengkondisian Udara Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) pada Kereta Ukur Sulawesi di PT. INKA (Persero)," Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017.
- [5] W. F. Stoecker, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga, 1996. ISBN: 35-03-032-9.
- [6] ASHRAE, *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Georgia: ASHRAE, 2017. ISBN: 9781939200570.