



Simulasi Distribusi Udara Dalam Kabin Mobil Listrik Berkapasitas Dua Orang Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics*

Adjie Agung Pratama^{1*}, Haolia Rahman², Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra¹

¹Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Magister Terapan Teknologi Manufaktur, Paska Sarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Sistem pendingin udara sudah menjadi pilihan standar pada sebagian besar kendaraan untuk meningkatkan kenyamanan dan keselamatan berkendara. Simulasi distribusi udara bertujuan untuk mengetahui penyebaran temperatur dan kecepatan pada kabin kendaraan dengan posisi grill yang sudah ditentukan. Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan yang dicari yaitu dengan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) menggunakan software SolidWorks-Flow Simulation. Model yang disimulasikan berupa kabin kendaraan berkapasitas dua orang dengan posisi duduk memanjang kebelakang. Variasi simulasi yang dipakai pada penulisan ini yaitu variasi kecepatan 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s yang keluar dari grill ketika temperatur kabin 30°C dan 46°C. Pada simulasi ini data didapatkan melalui eksperimen mulai dari beban radiasi, beban metabolic (manusia), suhu dan kecepatan grill. Hasil dari simulasi ini menunjukkan bahwa temperatur rata-rata dan kecepatan rata-rata pada skema pertama (suhu terendah kabin) dan skema kedua (suhu tertinggi kabin) meningkat seiring naiknya kecepatan udara pada outlet grill.

Kata-kata kunci: CFD, sistem pendingin udara, distribusi udara kabin, kecepatan, temperatur

Abstract

Air conditioning systems have become standard options on most vehicles to enhancing driving comfort and safety. The air distribution simulation aims to determine the spread of temperature and speed in the vehicle cabin with a predetermined grill position. The method used to achieve the desired goals is the Computational Fluid Dynamics (CFD) method using SolidWorks Flow Simulation software. The simulated model is a vehicle cabin with a capacity of two people with a sitting position extending backwards. The simulation variations used in this paper are variations in speed of 2 m/s, 3 m/s, and 4 m/s that come out of the grill when the cabin temperature is 30°C and 46°C. In this simulation, the data obtained through experiments ranging from radiation load, metabolic load (human), temperature and speed of the grill. The results of this simulation show that the average temperature and average velocity in the first scheme (lowest cabin temperature) and second scheme (highest cabin temperature) increase with the increase in air velocity at the outlet grill.

Keywords: CFD, air conditioning system, cabin air distribution, velocity, temperature

* Corresponding author E-mail address: adjie.agungpratama.tm19@mhs.w.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penggunaan kendaraan listrik di Indonesia naik secara signifikan karena banyaknya isu global akibat penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil serta semakin kompetitifnya produksi kendaraan listrik [1]. Di lain sisi, sistem pendingin udara sudah menjadi standar kenyamanan dalam berkendara, terutama pada iklim tropis [1]. Temperatur lingkungan di iklim tropis disiang hari yang rata-rata diatas batas temperatur kenyamanan serta radiasi matahari yang turut menambah kesan panas pada kabin kendaraan jika tidak dilengkapi dengan sistem pendingin udara. Namun demikian, karena besarnya penggunaan energi untuk sistem pendingin udara, hal ini dapat mengganggu cadangan energi (baterai) yang berujung pada berkurangnya jarak tempuh kendaraan. Untuk itu, jika kabin kendaraan listrik akan dipasang sistem pendingin udara tentunya harus mempertimbangkan aliran udara didalam kabin agar penyerapan kalor dapat maksimal dan kenyamanan dari pengemudi dapat diraih.

Studi aliran dan distribusi temperatur dan kecepatan udara sangat sulit dilakukan melalui studi eksperimental, untuk itu simulasi aliran udara atau *Computational Fluid Dynamic* (CFD) merupakan metode yang paling banyak digunakan [2]. Salah satunya studi yang dilakukan oleh Zhang [3] dimana menggunakan metode CFD dalam menganalisa aliran udara di dalam kompartemen kabin kendaraan berkapasitas 4 orang. Selain itu, hasil lainnya berupa visualisasi kecepatan dan temperatur udara pada kabin kendaraan.

Dalam hal ini, analisis simulasi CFD diperlukan untuk mensimulasikan *output data* dari alat yang dibuat untuk menghindari sulitnya simulasi secara eksperimental. Analisis simulasi CFD ini bisa memprediksi secara menyeluruh dengan satu atau lebih kondisi agar optimal dan membantu untuk menganalisis dengan cepat dan hemat biaya [2].

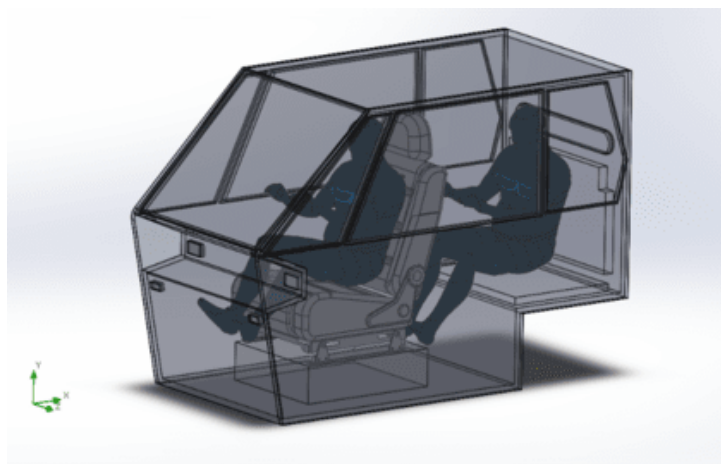
Tujuan dari studi ini untuk memodelkan aliran serta distribusi temperatur dan kecepatan udara pada kabin mobil listrik berkapasitas dua orang menggunakan prototipe sistem pendingin udara. Simulasi ini membutuhkan data input berupa dimensi kabin mobil listrik, beban radiasi, beban *metabolic* (manusia), temperatur keluaran dan kecepatan keluaran evaporator pada prototipe sistem pendingin udara, agar bisa menjalankan simulasi secara riil.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian mengadopsi metode kuantitatif dan kualitatif. Data hasil pengukuran eksperimental dipakai untuk analisis simulasi CFD yang menghasilkan bentuk angka dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan udara kabin mobil listrik.

Model Kabin Kendaraan

Model kabin kendaraan listrik berkapasitas dua orang yang akan di observasi dapat dilihat pada Gambar 1. Kendaraan ini mempunyai volume kabin $1,23 \text{ m}^3$ dan memiliki kaca transparan dengan luas 1.3 m^2 terdistribusi mengelilingi kabin penumpang dibagian depan, samping, dan belakang. Penumpang yang berada di kabin bagian depan dan belakang mengeluarkan panas 232,69 watt yang dihitung dengan asumsi bahwa berat badan rata-rata 60 kg dan luas permukaan $1,662 \text{ m}^2$.



Gambar 1. Model kabin kendaraan listrik berkapasitas 2 orang

Perangkat Lunak Simulasi

Perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi CFD adalah *software Solid Works* dengan menu *Flow Simulation*. Parameter yang diperlukan untuk menjalankan simulasi ini terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter simulasi CFD

No	Parameter	Unit	Keterangan
1.	Geometri Kabin	m	Pengukuran kabin
2.	Kecepatan udara keluar dari grill	m/s	Pengukuran melalui kecepatan di outlet evaporator
3.	Temperatur udara keluar dari grill	°C	Pengukuran melalui temperature di outlet evaporator
4.	Kecepatan inlet blower	m/s	Pengukuran melalui kecepatan di inlet blower
5.	Suhu udara luar kabin	°C	Pengukuran di luar kabin
6.	Kelembapan relatif	%	Pengukuran di luar dan di dalam kabin

Variasi Pengukuran

Data untuk simulasi diambil dari eksperimen alat dengan mengukur/menghitung. Simulasi ini menggunakan variasi kecepatan 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s yang keluar dari grill ketika kondisi temperatur kabin 30°C dan 46°C. Disetiap kecepatan pada masing-masing kondisi didapatkan total 14 poin pengukuran, yaitu:

Tabel 2. Parameter pengukuran suhu dan kecepatan pada simulasi CFD

Jumlah	Parameter
1 poin	Temperatur rata-rata kabin
1 poin	Kecepatan rata-rata kabin
4 poin	Temperatur dan kecepatan di kepala (pengemudi dan penumpang)
4 poin	Temperatur dan kecepatan di dada (pengemudi dan penumpang)
4 poin	Temperatur dan kecepatan di kaki (pengemudi dan penumpang)

Skema Simulasi

Skema Pertama

Skema pertama dibuat untuk mengetahui aliran dan distribusi temperatur dan kecepatan udara ketika kondisi temperatur terendah pada kabin kendaraan, yang dilakukan pada kondisi temperatur udara luar kendaraan 36°C dengan kelembapan relatif 51,1% dan kondisi temperatur udara dalam kendaraan 30°C dengan kelembapan relatif 80%. Untuk itu, panas yang masuk akibat transmisi radiasi matahari diasumsikan sebesar 480 watt. Beban transmisi panas akibat temperatur di luar kabin sebesar 32,33 watt. Sedangkan, beban ventilasi akibat adanya kebocoran sebesar 3,25 watt. Dijalankan dengan variasi 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s yang keluar dari grill.

Skema Kedua

Skema kedua dibuat untuk mengetahui aliran dan distribusi temperatur dan kecepatan udara ketika kondisi temperatur tertinggi pada kabin kendaraan, yang dilakukan pada kondisi temperatur udara luar kendaraan 48°C dengan kelembapan relatif 37,9% dan kondisi temperatur udara dalam kendaraan 46°C dengan kelembapan relatif 65%. Untuk itu, panas yang masuk akibat transmisi radiasi matahari diasumsikan sebesar 619,53 watt. Beban transmisi panas akibat temperatur di luar kabin sebesar 22,13 watt. Sedangkan, beban ventilasi akibat adanya kebocoran sebesar 0,71 watt. Dijalankan dengan variasi 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s yang keluar dari grill.

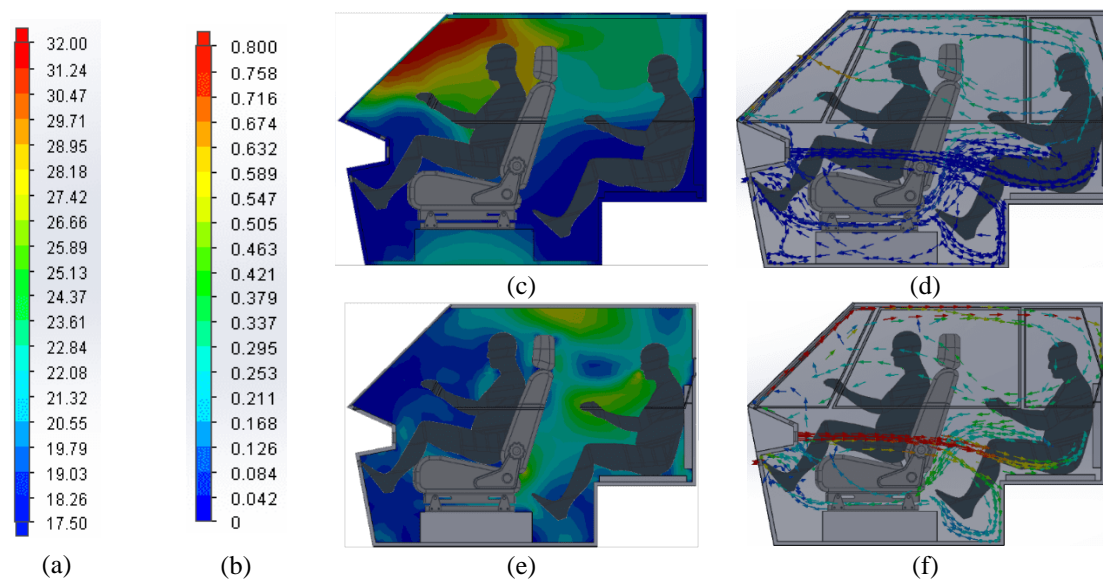
3. HASIL

Skema Pertama

Pada skema pertama dengan kecepatan 2 m/s menunjukkan temperatur rata-rata keluaran grill 12,83°C dengan kecepatan *inlet blower* 1,3 m/s. Data masukan untuk *boundary condition* yaitu volume grill bagian kanan dan kiri masing-masing sebesar $0,78 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, *inlet blower* kanan kiri masing-masing sebesar $1,36 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, udara nafas dua penumpang masing-masing sebesar $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan ventilasi dengan nilai tekanan 101325 Pa. Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada Tabel 3 dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan pada kabin tampak samping ditunjukkan oleh Gambar 2 dengan kondisi stabil (*steady state*).

Tabel 3. Hasil kalkulasi Skema Pertama dengan kecepatan 2 m/s

Parameters	Lokasi	
	Pengemudi	Penumpang
Temperatur rata-rata kabin/°C	19,24	
Kecepatan rata-rata kabin/(m/s)	0,2	
Temperatur kepala/°C	29,09	23,05
Kecepatan Udara kepala/(m/s)	0,11	0,25
Temperatur dada/°C	25,09	19,78
Kecepatan Udara dada/(m/s)	0,14	0,31
Temperatur kaki/°C	17,96	18,13
Kecepatan Udara kaki/(m/s)	0,1	0,1

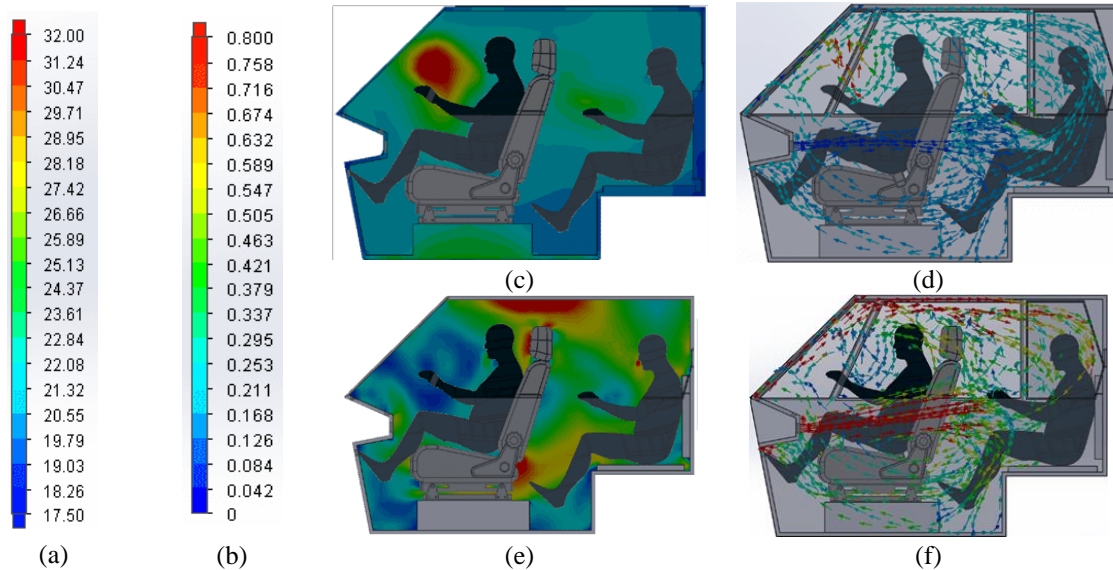


Gambar 2. Indikator temperatur (a), indikator kecepatan (b), area penyebaran temperatur udara tampak samping (c), lintasan aliran temperatur udara tampak samping (d), area penyebaran kecepatan udara tampak samping (e), dan lintasan aliran temperature udara tampak samping (f)

Sedangkan, pada skema pertama dengan kecepatan 3 m/s menunjukkan temperatur rata-rata keluaran grill 16,52°C dengan kecepatan *inlet blower* 2,1 m/s. Data masukan untuk *boundary condition* yaitu volume grill bagian kanan dan kiri masing-masing sebesar $1,17 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, *inlet blower* kanan kiri masing-masing sebesar $2,11 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, udara nafas dua penumpang masing-masing sebesar $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan ventilasi dengan nilai tekanan 101325 Pa. Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada Tabel 4 dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan pada kabin tampak samping ditunjukkan oleh Gambar 3 dengan kondisi stabil (*steady state*).

Tabel 4. Hasil kalkulasi Skema Pertama dengan kecepatan 3 m/s

Parameters	Lokasi	
	Pengemudi	Penumpang
Temperatur rata-rata kabin/°C	20,32	
Kecepatan rata-rata kabin/(m/s)	0,34	
Temperatur kepala/°C	22,04	21,36
Kecepatan Udara kepala/(m/s)	0,33	0,33
Temperatur dada/°C	23,31	21,83
Kecepatan Udara dada/(m/s)	0,3	0,36
Temperatur kaki/°C	20,62	20,26
Kecepatan Udara kaki/(m/s)	0,29	0,39

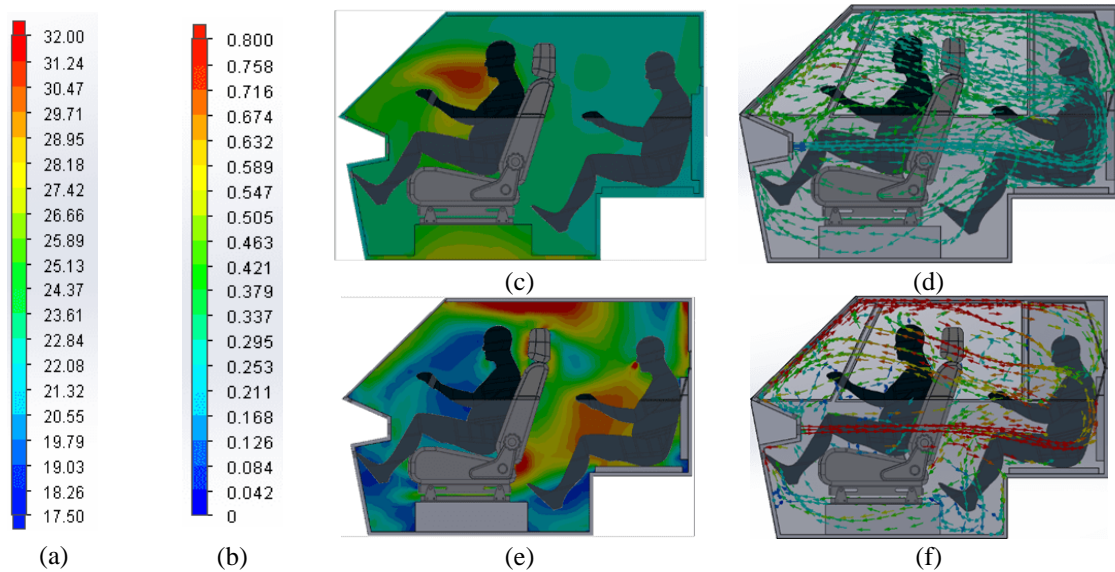


Gambar 3. Indikator temperatur (a), indikator kecepatan (b), area penyebaran temperatur udara tampak samping (c), lintasan aliran temperatur udara tampak samping (d), area penyebaran kecepatan udara tampak samping (e), dan lintasan aliran temperature udara tampak samping (f)

Sementara, pada skema pertama dengan kecepatan 4 m/s menunjukkan temperatur rata-rata keluaran grill 19,5°C dengan kecepatan *inlet blower* 2,5 m/s. Data masukan untuk *boundary condition* yaitu volume grill bagian kanan dan kiri masing-masing sebesar $1,57 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, *inlet blower* kanan kiri masing-masing sebesar $2,51 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, udara nafas dua penumpang masing-masing sebesar $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan ventilasi dengan nilai tekanan 101325 Pa. Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada Tabel 5 dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan pada kabin tampak samping ditunjukkan oleh Gambar 4 dengan kondisi stabil (*steady state*).

Tabel 5. Hasil kalkulasi Skema Pertama dengan kecepatan 4 m/s

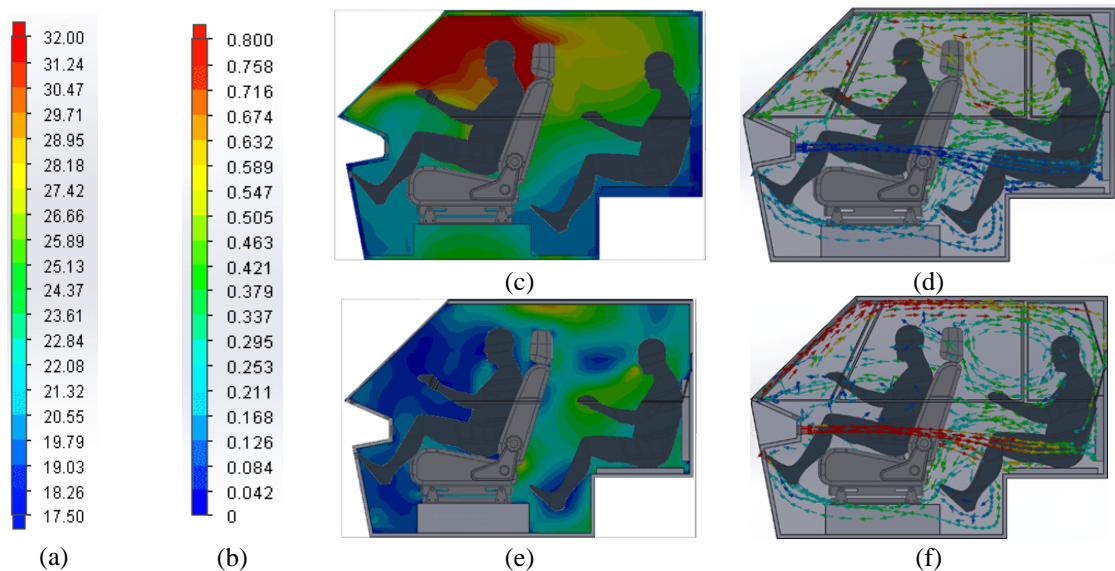
Parameters	Lokasi	
	Pengemudi	Penumpang
Temperatur rata-rata kabin/°C	22,79	
Kecepatan rata-rata kabin/(m/s)	0,38	
Temperatur kepala/°C	24,1	22,54
Kecepatan Udara kepala/(m/s)	0,15	0,25
Temperatur dada/°C	27,64	23,24
Kecepatan Udara dada/(m/s)	0,16	0,26
Temperatur kaki/°C	23,00	22,81
Kecepatan Udara kaki/(m/s)	0,18	0,16



Gambar 4. Indikator temperatur (a), indikator kecepatan (b), area penyebaran temperatur udara tampak samping (c), lintasan aliran temperatur udara tampak samping (d), area penyebaran kecepatan udara tampak samping (e), dan lintasan aliran temperature udara tampak samping (f)

Skema Kedua

Pada skema kedua dengan kecepatan 2 m/s menunjukkan temperatur rata-rata keluaran grill 23,65°C dengan kecepatan *inlet blower* 1,3 m/s. Data masukan untuk *boundary condition* yaitu volume grill bagian kanan dan kiri masing-masing sebesar $0,78 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, *inlet blower* kanan kiri masing-masing sebesar $1,36 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, udara nafas dua penumpang masing-masing sebesar $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan ventilasi dengan nilai tekanan 101325 Pa. Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada Tabel 6 dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan pada kabin tampak samping ditunjukkan oleh Gambar 5 dengan kondisi stabil (*steady state*).

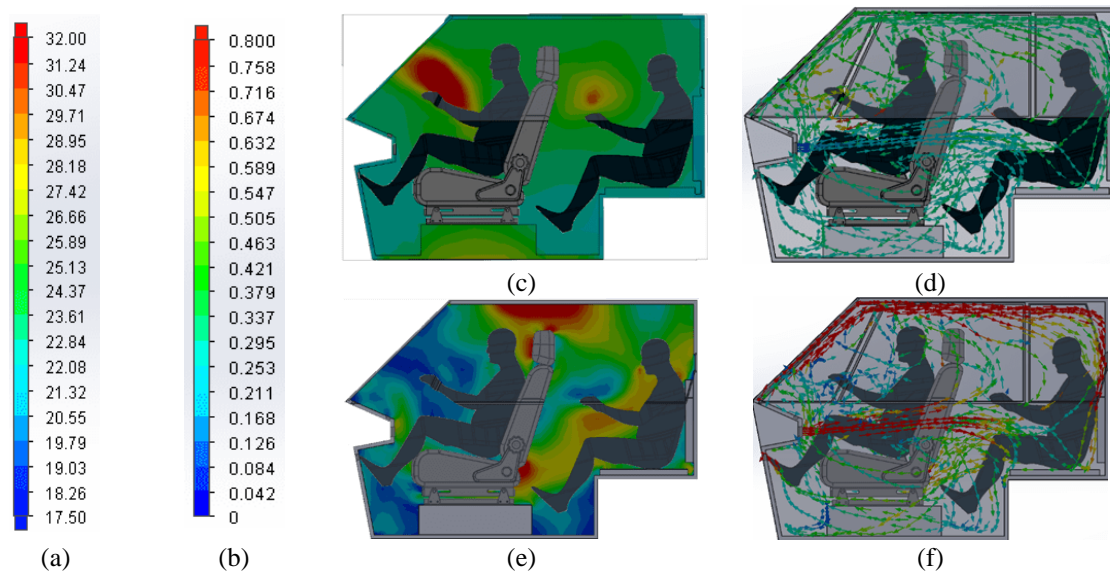


Gambar 5. Indikator temperatur (a), indikator kecepatan (b), area penyebaran temperatur udara tampak samping (c), lintasan aliran temperatur udara tampak samping (d), area penyebaran kecepatan udara tampak samping (e), dan lintasan aliran temperature udara tampak samping (f)

Tabel 6. Hasil kalkulasi Skema Kedua dengan kecepatan 2 m/s

Parameters	Lokasi	
	Pengemudi	Penumpang
Temperatur rata-rata kabin/°C	30,54	
Kecepatan rata-rata kabin/(m/s)	0,21	
Temperatur kepala/°C	39,6	34,72
Kecepatan Udara kepala/(m/s)	0,08	0,22
Temperatur dada/°C	35,89	31,26
Kecepatan Udara dada/(m/s)	0,14	0,26
Temperatur kaki/°C	29,21	28,91
Kecepatan Udara kaki/(m/s)	0,13	0,09

Sedangkan, pada skema kedua dengan kecepatan 3 m/s menunjukkan temperatur rata-rata keluaran grill 26,87°C dengan kecepatan *inlet blower* 2,1 m/s. Data masukan untuk *boundary condition* yaitu volume grill bagian kanan dan kiri masing-masing sebesar $1,17 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, *inlet blower* kanan kiri masing-masing sebesar $2,11 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, udara nafas dua penumpang masing-masing sebesar $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan ventilasi dengan nilai tekanan 101325 Pa. Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada Tabel 7 dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan pada kabin tampak samping ditunjukkan oleh Gambar 6 dengan kondisi stabil (*steady state*).



Gambar 6. Indikator temperatur (a), indikator kecepatan (b), area penyebaran temperatur udara tampak samping (c), lintasan aliran temperatur udara tampak samping (d), area penyebaran kecepatan udara tampak samping (e), dan lintasan aliran temperature udara tampak samping (f)

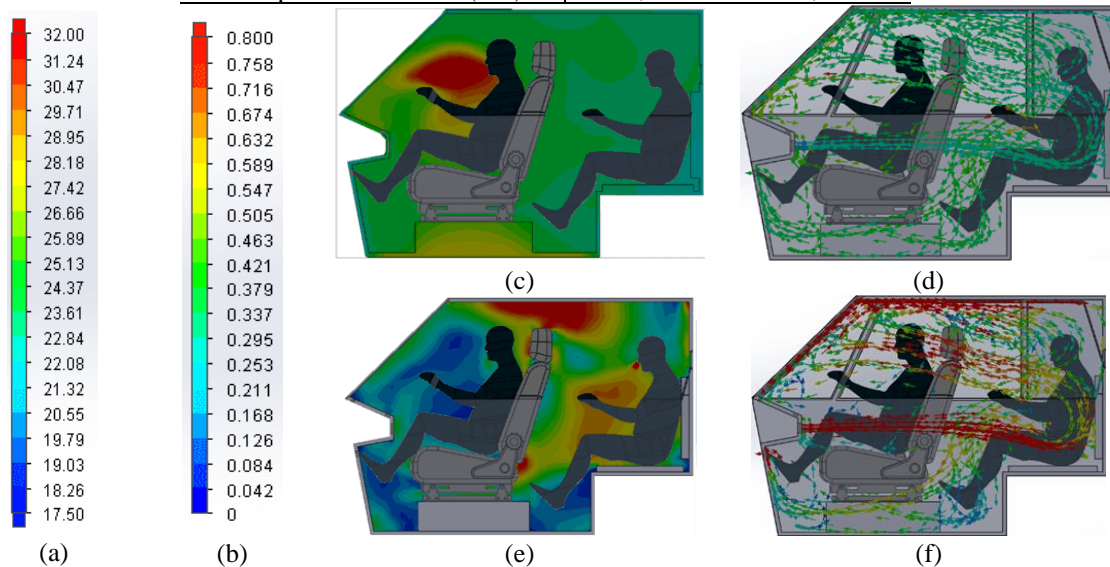
Tabel 7. Hasil kalkulasi Skema Kedua dengan kecepatan 3 m/s

Parameters	Lokasi	
	Pengemudi	Penumpang
Temperatur rata-rata kabin/°C	30,9	
Kecepatan rata-rata kabin/(m/s)	0,33	
Temperatur kepala/°C	32,74	32,18
Kecepatan Udara kepala/(m/s)	0,34	0,35
Temperatur dada/°C	32,62	31,69
Kecepatan Udara dada/(m/s)	0,32	0,54
Temperatur kaki/°C	30,94	30,55
Kecepatan Udara kaki/(m/s)	0,21	0,25

Sementara, pada skema kedua dengan kecepatan 4 m/s menunjukkan temperatur rata-rata keluaran grill 28,42°C dengan kecepatan *inlet blower* 2,5 m/s. Data masukan untuk *boundary condition* yaitu volume grill bagian kanan dan kiri masing-masing sebesar $1,57 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, *inlet blower* kanan kiri masing-masing sebesar $2,51 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, udara nafas dua penumpang masing-masing sebesar $0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, dan ventilasi dengan nilai tekanan 101325 Pa. Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada Tabel 8 dan visualisasi distribusi temperatur dan kecepatan pada kabin tampak samping ditunjukkan oleh Gambar 7 dengan kondisi stabil (*steady state*).

Tabel 8. Hasil kalkulasi kondisi kedua dengan kecepatan 4 m/s

Parameters	Lokasi	
	Pengemudi	Penumpang
Temperatur rata-rata kabin/°C	31,74	
Kecepatan rata-rata kabin/(m/s)	0,37	
Temperatur kepala/°C	32,7	31,64
Kecepatan Udara kepala/(m/s)	0,21	0,25
Temperatur dada/°C	36,61	31,62
Kecepatan Udara dada/(m/s)	0,11	0,56
Temperatur kaki/°C	32,0	31,74
Kecepatan Udara kaki/(m/s)	0,18	0,19



Gambar 7. Indikator temperatur (a), indikator kecepatan (b), area penyebaran temperatur udara tampak samping (c), lintasan aliran temperatur udara tampak samping (d), area penyebaran kecepatan udara tampak samping (e), dan lintasan aliran temperature udara tampak samping (f)

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi berbagai variasi kecepatan dan beberapa skema, dapat diketahui bahwa naiknya kecepatan udara keluar dari grill berbanding lurus dengan naiknya temperatur rata-rata dan kecepatan rata-rata dalam kabin. Ketika kabin dalam keadaan temperatur terendah atau skema pertama mendapatkan temperatur rata-rata terendah 19,2°C dan tertinggi 22,8°C dengan kecepatan rata-rata terendah 0,2 m/s dan tertinggi 0,38 m/s, sedangkan ketika kabin dalam keadaan temperatur tertinggi atau skema kedua mendapatkan temperatur rata-rata terendah 30,54°C dan tertinggi 31,74°C dengan kecepatan rata-rata terendah 0,21 m/s dan tertinggi 0,37 m/s.

Dengan demikian bahwa hasil kecepatan rata-rata udara kabin pada dua skema mempunyai selisih kecil, tetapi hasil temperatur rata-rata udara kabin pada dua skema mempunyai selisih yang besar.

REFERENSI

1. Arief Subekti, R., Sudibyoy, H., Susanti, V., Maja Saputra, H. and Hartanto, A., (2014). *Peluang dan Tantangan Pengembangan Mobil Listrik Nasional*. 1st ed. Jakarta: LIPI Press, anggota Ikapi.
2. "Manfaat CFD Proses Simulasi CFD." *Manfaat CFD Proses Simulasi CFD*, text-id.123dok.com, <https://text-id.123dok.com/document/oy8192rqr-manfaat-cfd-proses-simulasi-cfd.html>.
3. C.-Y. Tseng, Y.-A. Yan, and J. C. Leong, "Thermal Accumulation in a General Car Cabin Model," *J. Fluid Flow, Heat Mass Transf.*, vol. 1, pp. 48–56, (2014), doi: 10.11159/jffhmt.2014.008.
4. H. Zhang, L. Dai, G. Xu, Y. Li, W. Chen, and W. Tao, "Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part II: Simulation results and discussion," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 10, pp. 2028–2036, (2009), doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.10.006.
5. H. H. Al-Kayiem, M. F. B. M. Sidik, and Y. R. A. L. Munusammy, "Study on the thermal accumulation and distribution inside a parked car cabin," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 784–789, (2010), doi: 10.3844/ajassp.2010.784.789.
6. A. Rameshkumar, S. Jayabal, and P. Thirumal, "Computational Analysis of Air Flow and Temperature Distribution in an Air Conditioned Car: a Review," *Int. J. Adv. Eng. Res. Dev.*, vol. 2, no. 04, pp. 1–6, (2015), doi: 10.21090/ijaerd.020473.
7. H. M. Kamar, N. Kamsah, and A. M. Mohammad Nor, "Numerical analysis of air-flow and temperature field in a passenger car compartment," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1440, pp. 854–862, (2012), doi: 10.1063/1.4704296.
8. T. Orzechowski and Z. Skrobacski, "Evaluation of thermal conditions inside a vehicle cabin," *EPJ Web Conf.*, vol. 114, pp. 1–5, (2016), doi: 10.1051/epjconf/201611402085.
9. T. Thumma and S. R. Sheri, "Unsteady MHD Free Convection Flow past a Vertical Porous Plate Considering Radiation and Volume Fraction Effects in a Nanofluid," *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 197–205, (2015), doi: 10.17148/IARJSET.
10. T. Advancements, S. Singh, A. Mehta, and V. Gupta, "Car Cabin Thermal Accumulation Analysis of At Various Points," *Int. J. Sci. Tech. Adv.*, vol. 2, no. 4, pp. 151–154, (2016).
11. S. Ibrahim and R. C. Mehta, "An investigation of air flow and thermal comfort of modified conventional car cabin using computational fluid dynamics," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 11, no. Specialissue, pp. 141–150, (2018), doi: 10.36884/jafm.11.SI.29431.
12. T. Han, L. Huang, S. Kelly, C. Huizenga, and Z. Hui, "Virtual thermal comfort engineering," *SAE Tech. Pap.*, no. January (2003), doi: 10.4271/2001-01-0588.