

Analisa Konfigurasi Arah Aliran Udara untuk Mendapatkan Kenyamanan Termal di Dalam Kabin SmarT EV 2 dengan Menggunakan Ansys CFX

Daniel P. Simaremare^{1,a}, Dominicus Danardono^{1,b*} dan Eko P. Budiana^{1,c}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

^adanieli0409013@gmail.com, ^bdanar1405@gmail.com, ^cbudiana.e@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi arah aliran udara yang terbaik sehingga memperoleh kenyamanan termal kabin yang dibutuhkan penumpang SmarT EV 2. Proses memperoleh kenyamanan termal ini dilakukan dengan cara simulasi menggunakan software Ansys CFX. Pada simulasi ini dilakukan perbandingan terhadap empat variasi arah aliran yaitu, variasi dengan arah aliran lurus, variasi dengan arah aliran 30° ke atas, variasi dengan arah aliran 30° ke bawah, variasi dengan arah aliran menuju ke penumpang. Tiap variasi dilakukan dua tahap simulasi untuk yang dilakukan, simulasi pembebanan panas kabin oleh radiasi matahari secara steady dan simulasi transient untuk simulasi pendinginan kabin oleh A/C outlet. Laju aliran massa dari A/C outlet adalah 0,076 kg/s dengan temperatur 18°C. Body kabin mobil terbuat dari material komposit glass-vinylester sedangkan kaca terbuat dari material glass plate. Hasil dari keempat variasi menunjukkan bahwa, variasi dengan arah aliran lurus, variasi dengan arah aliran 30° ke bawah, dan variasi dengan arah aliran mengarah ke penumpang mampu menghasilkan kenyamanan termal sesuai dengan kategori “A” standar ISO 7730. Sedangkan variasi dengan arah aliran 30° ke arah atas sesuai dengan kategori “C” standar kenyamanan termal dari ISO 7730.

Kata kunci : Kenyamanan termal, Mobil listrik, Simulasi, Ansys CFX, SmarT EV 2.

I. LATAR BELAKANG

Simulasi aliran udara dalam kabin penumpang menjadi semakin penting sebagai pelengkap pengujian *windtunnel* dan pengujian lapangan dalam membantu mencapai peningkatan kenyamanan termal sambil mengurangi waktu dan biaya pengembangan kendaraan. Analisis termal dari kompartemen penumpang tidak hanya melibatkan kompleksitas geometris tetapi juga interaksi yang kuat antara aliran udara dan tiga bentuk perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Selain itu, kebutuhan untuk mengurangi beban panas pada kabin penumpang telah menjadi isu penting dalam tahap awal desain kendaraan. Karena kapasitas sistem penyejuk udara yang terbatas, perlu untuk dikembangkan metode yang dapat memprediksi dampak dari berbagai desain kenyamanan termal penumpang pada awal proses desain.

Banyak studi mengenai aliran fluida dan karakteristik termal pada kabin kendaraan yang telah dilakukan, setiap studi itu menggabungkan antara eksperimen dan analisa numerik. Sebuah penelitian mengenai variasi kelembaban dan temperatur terhadap waktu pada sebuah bus dengan kapasitas 50 penumpang dengan menggunakan analisa numerik dan eksperimen [1]. Hasil prediksi dan eksperimen menunjukkan hasil

yang bagus namun terbatas oleh waktu pembebanan panas matahari yang hanya satu jam. Persamaan kesetimbangan energy dapat digunakan untuk mendiskripsikan *heat flux* pada kabin kendaraan dalam kondisi steady [2]. Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung interaksi termodinamik antara temperatur interior, temperatur atmosfer dan aliran udara di interior. Sebuah simulasi juga dikembangkan untuk mengetahui beban panas di kabin secara *steady* [3]. Beban panas tersebut termasuk radiasi solar melewati kaca, konduksi melewati dinding *body* kabin dan juga beban panas pada penumpang dan peralatan di dalam mobil. Simulasi 3-dimensi mengenai analisis transien penjemuran panas dan pendinginan kabin mobil yang disederhanakan, mampu memperoleh hasil yang sangat sesuai dengan data hasil percobaan [4]. Percobaan numerik CFD mengenai kabin kendaraan secara 2-D juga dilakukan berdasarkan persamaan diferensial parsial mengenai kekekalan massa, momentum, temperatur, energi turbulen dan laju disipasi dengan pendekatan beda volume. Persamaan aljabar dari turbulensi viscosity dan koefisien difusi dihitung menggunakan pemodelan 2-persamaan (k- ϵ). Hasilnya menunjukkan bahwa pemodelan turbulen k- ϵ sukses memprediksi aliran udara dan karakteristiknya [5]. Parameter

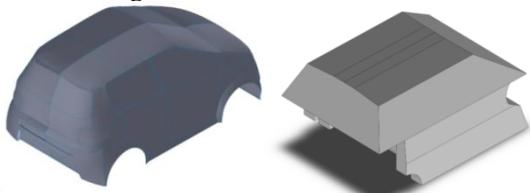
rasio sirkulasi udara digunakan dalam pemodelan kenyamanan thermal kabin mobil [6]. Hasil riset menunjukkan bahwa memperbesar atau memperkecil kabin 20% akan meningkatkan atau memperkecil temperatur 1,2 °C hingga 1,5 °C. Laju aliran masa dari A/C juga merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk memprediksi distribusi temperatur dari kabin mobil. Bentuk vent juga berpengaruh terhadap kenyamanan termal di dalam kabin. Ventilasi yang berbentuk lingkaran akan memberikan distribusi aliran udara yang lebih baik [7].

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan distribusi temperatur dan pola aliran udara di dalam kabin mobil listrik SmarT EV 2. Mobil listrik SmarT EV 2 merupakan mobil listrik nasional yang dikembangkan oleh Universitas Sebelas Maret (UNS).

II. METODE

1. Domain komputasi

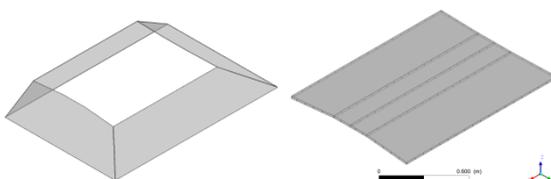
Model kabin mobil digambar dengan menggunakan SolidWorks (Gambar 1). Desain kabin disederhanakan untuk menghindari kompleksitas geometri yang akan mempersulit proses *meshing*.



(a) Desain Bodi (b) *Computational Air Domain*

Gambar 1. *Air Domain*

Panas dari radiasi matahari diasumsikan masuk melalui kaca dan atap. Bahan dari atap adalah komposit serat gelas-*vinylester* sedangkan material kaca adalah *temper glass plate*. Desain kaca dan atap yang disederhanakan ditampilkan pada Gambar 2.



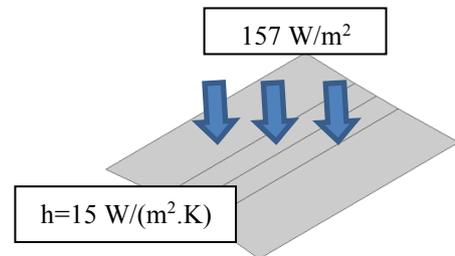
(a) Desain Kaca (b) Desain Atap

Gambar 2. Desain Kaca dan Atap

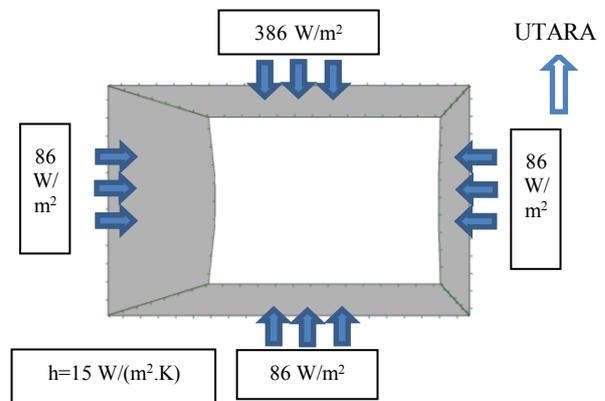
2. Kondisi Batas Penelitian

Pada simulasi ini udara yang masuk melalui Inlet sebesar 0,076 Kg/s dengan temperatur 18 °C, sedangkan *relative pressure* pada Outlet adalah 0

Pa. Pada kaca dan atap yang terkena radiasi matahari kondisi batas konveksinya adalah 15 W/(m².K), seperti ditampilkan pada Gambar 3 dan 4. Untuk bagian didalam mobil seperti kursi, dashboard, lantai kabin diasumsikan adiabatik dimana tidak ada panas yang masuk maupun keluar dari daerah tersebut.



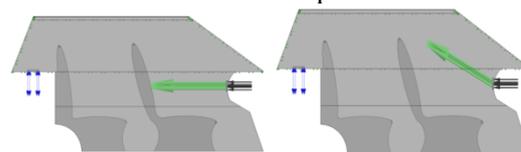
Gambar 3. Kondisi Batas untuk Atap



Gambar 4. Kondisi batas untuk Kaca

3. Variasi Penelitian

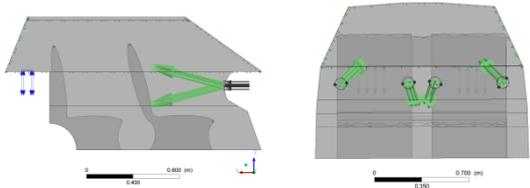
Pada penelitian ini, terdapat 4 variasi pada arah aliran udara yang keluar dari A/C (Gambar 5). Variasi 1 adalah aliran udara pada arah normal terhadap Inlet. Variasi 2 adalah arah aliran udara membentuk sudut 30° ke arah atas. Variasi 3 adalah arah aliran udara membentuk sudut 30° mengarah ke bawah. Variasi 4 adalah variasi dengan dua buah Inlet di bagian tengah diarahkan ke kursi belakang dan dua lainnya di sisi dekat kaca diarahkan ke kursi depan.



(a) Variasi 1 (b) Variasi 2



(c) Variasi 3



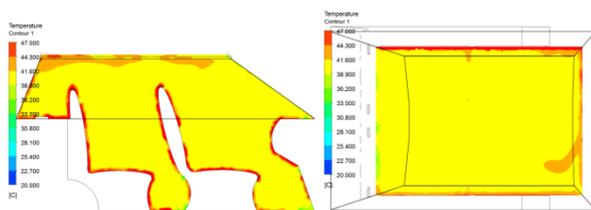
(d) Variasi 4

Gambar 5. Variasi arah aliran udara masuk

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Simulasi *Steady*

Radiasi yang diterima oleh kabin mengakibatkan temperatur di dalam kabin meningkat. Temperatur tinggi terdapat di daerah sekitar kaca, sedangkan di dalam kabin suhu mencapai rata-rata mencapai 41,7 °C. Temperatur maksimal terjadi pada kaca kanan dimana kaca kanan terpapar radiasi panas sebesar 386 W/m². Temperatur maksimal pada kaca adalah 46,11 °C.

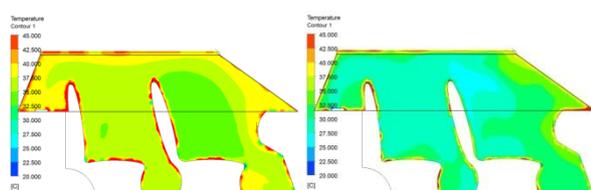


Gambar 6. Distribusi temperatur pembebanan panas pada kabin

Gambar distribusi temperatur (Gambar 6) menunjukkan bahwa temperatur pada kursi lebih tinggi dibanding temperatur pada sumber panas seperti pada atap. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kondisi batas pada atap dan kursi. Pada atap kondisi batas yang diterapkan adalah kondisi batas konveksi sedangkan pada kursi adalah kondisi batas adiabatik.

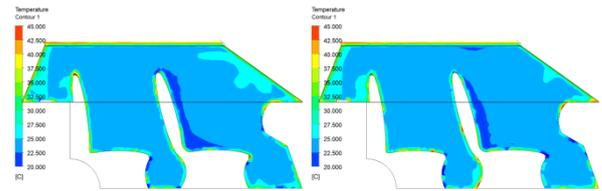
2. Hasil Simulasi Transient

a. Variasi 1



(a) Detik ke 10

(b) Detik ke 30

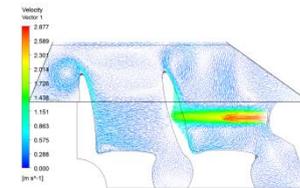


(c) Detik ke 300

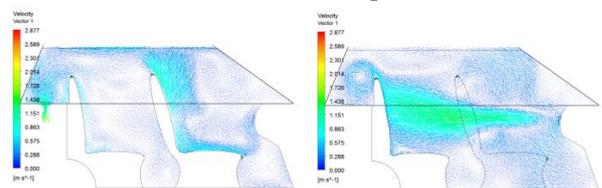
(d) Detik ke 600

Gambar 7. Distribusi temperatur variasi 1

Gambar 7 adalah distribusi temperatur hasil simulasi variasi pertama. Setelah 10 detik pendinginan, temperatur rata-rata di dalam kabin menurun hingga 36,35 °C. Pada detik ke 30 kembali turun menjadi 30,43 °C. Pada detik ke 300 dan 600 temperatur rata-rata berturut-turut adalah 24,75 °C dan 24,54 °C. Sedangkan *vertical temperature difference* di dalam kabin adalah 0,28 °C.



(a) *Inlet center plane*



(b) *Passenger center plane*

(c) *Cabin center plane*

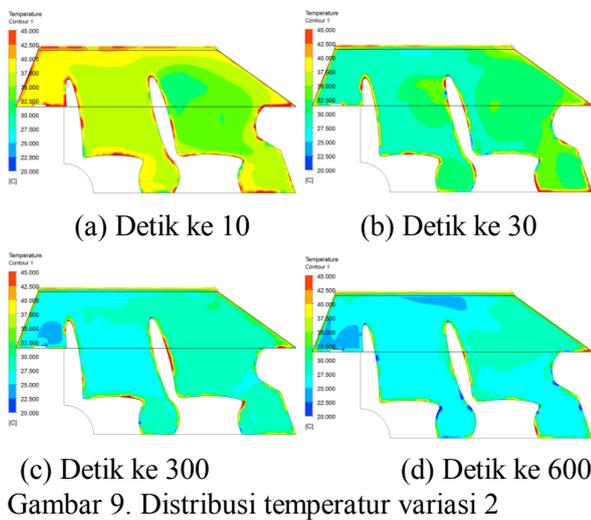
Gambar 8. Vektor kecepatan udara Variasi 1

Hasil simulasi pola aliran dan kecepatan udara (Gambar 8) menunjukkan kecepatan maksimal yang dihasilkan oleh variasi 1 mencapai 2,87 m/s. Udara yang masuk ke kabin melewati Inlet langsung bertabrakan dengan kursi depan yang dianggap sebagai *wall* mengakibatkan sirkulasi aliran yang menyebar ke seluruh bagian kabin. Banyaknya sirkulasi dengan kecepatan rata-rata yang rendah ini menyebabkan udara dingin lebih lama di dalam kabin dan menyebabkan variasi 1 mengalami proses pendinginan kabin lebih cepat dibanding dengan variasi yang lain. Pada *cabin center plane* terlihat bahwa aliran pada bidang ini menuju ke bagian belakang kabin melewati celah di antara kursi depan dan membuat temperatur di bagian belakang kabin menurun. Pada variasi 1 ini, kecepatan udara yang melewati kursi depan dan kursi belakang berturut-turut adalah 0,32 m/s dan 0,28 m/s. Berdasarkan analisa temperatur

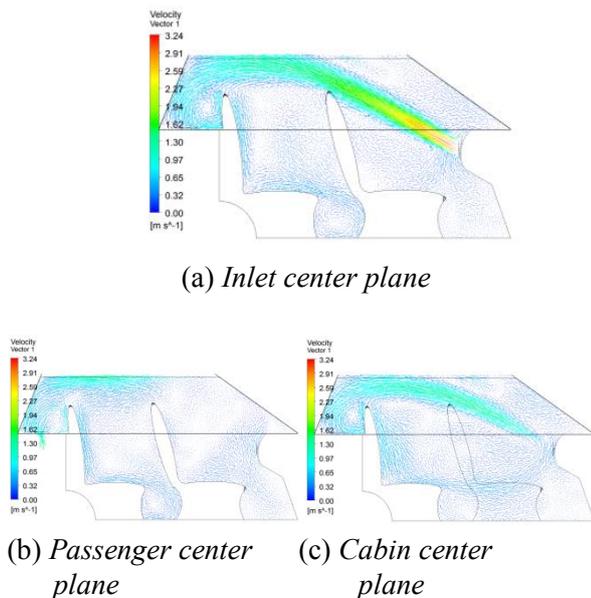
rata-rata, *vertical temperature difference* dan kecepatan rata-rata maka variasi 1 termasuk kenyamanan termal katagori A(ISO 3370).

b. Variasi 2

Gambar 9 menunjukkan bahwa temperatur rata-rata pada detik ke 10, 30, 300, dan 600, berturut-turut adalah 36,6 °C, 31,4 °C, 29,82 °C dan 27,4 °C. Setelah 10 menit pendinginan kabin dengan variasi aliran ke atas ini hanya mencapai temperatur 27,4 °C. Hal ini disebabkan oleh aliran udara yang memang tidak bersirkulasi didalam kabin. Udara yang keluar dari A/C langsung mengalir ke arah outlet dan keluar. Sedangkan *vertical temperature difference* adalah 0,37 °C.



Gambar 9. Distribusi temperatur variasi 2

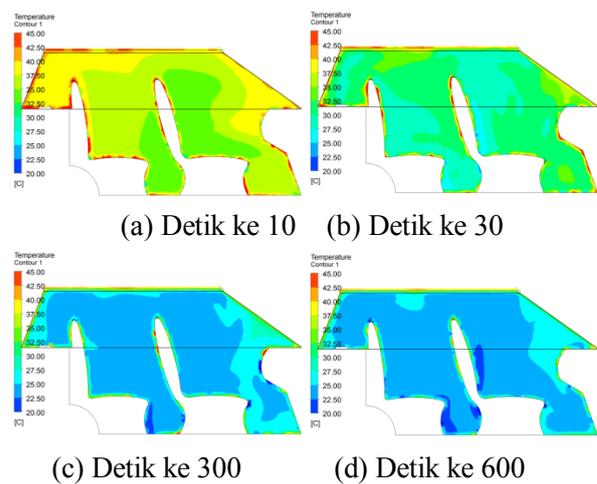


Gambar 10. Vektor kecepatan udara Variasi 2

Pada Gambar 10, pola kecepatan di tiap bidang menunjukkan bahwa aliran pada variasi 2 ini tidak bersirkulasi di dalam kabin tapi terlihat bahwa

udara yang masuk ke dalam kabin mengalir di permukaan atap kabin dan langsung keluar melewati outlet. Kecepatan maksimal pada variasi 2 adalah 3,24 m/s dan kecepatan rata-ratanya adalah 0,32 m/s. Variasi 2 (Gambar 10) memperlihatkan bahwa ketika konfigurasi arah aliran diarahkan secara 30° keatas, arah aliran akan langsung menuju ke bagian atap kabin dan kemudian langsung keluar melewati outlet. Kurangnya sirkulasi aliran udara di dalam kabin mengakibatkan temperatur kabin tidak mencapai zona kenyamanan termal. Pada variasi 2 ini, kecepatan udara yang melewati kursi depan dan kursi belakang berturut-turut adalah 0,32 m/s dan 0,39 m/s. Berdasarkan analisa temperatur rata-rata, *vertical temperature difference* dan kecepatan rata-rata maka variasi 2 termasuk kenyamanan termal katagori C(ISO 3370).

c. Variasi 3

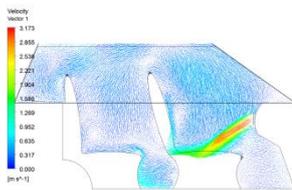


Gambar 11. Distribusi temperatur variasi 3

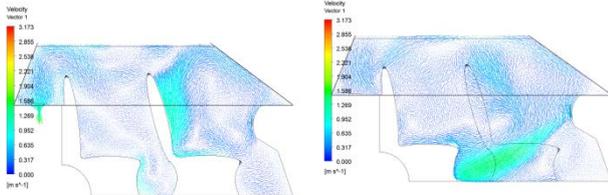
Temperatur rata-rata pada detik ke 10, 30, 300, dan 600, seperti yang ditampilkan pada Gambar 11, berturut-turut adalah 36,14 °C, 30,83 °C, 25,21 °C dan 24,64 °C. Variasi 3 mampu menurunkan suhu kabin hingga sekitar 24,64 °C. *Vertical temperature difference* (VTD) dari variasi ini adalah 1,18 °C. Nilai VTD pada variasi ini adalah yang paling besar dibanding dengan variasi yang lain. Hal ini disebabkan oleh aliran udara yang mengarah ke bawah membuat temperatur pada daerah *ankle* lebih besar dibanding dengan temperatur di daerah *head*.

Kecepatan maksimal dari variasi 3 adalah 3,17 m/s dan terjadi ketika udara keluar dari inlet (Gambar 12). Dalam variasi 3 ini arah aliran mengarah ke bawah 30°, dapat dilihat dari pola aliran di tiap *plane* di atas. Arah aliran yang ke arah bawah menyebabkan udara lebih banyak bersirkulasi di bagian bawah kabin dibanding

dengan di bagian atas kabin, inilah yang menyebabkan VTD pada variasi ini cukup besar dibanding dengan VTD pada variasi lainnya.



(a) Inlet center plane

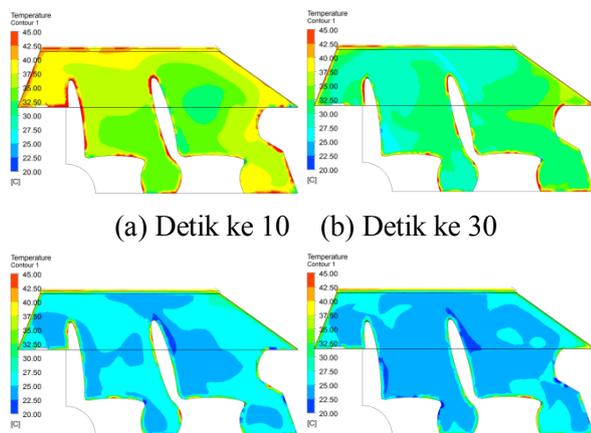


(b) Passenger center plane (c) Cabin center plane

Gambar 12. Vektor kecepatan udara Variasi 3

Pada variasi 3 ini, kecepatan udara yang melewati kursi depan dan kursi belakang berturut-turut adalah 0,37 m/s dan 0,29 m/s. Banyaknya sirkulasi udara akibat dari udara yang bertabrakan dengan kursi mengakibatkan variasi ini adalah variasi tercepat kedua setelah variasi 1 yang mampu sampai dalam kategori kenyamanan termal yang baik. Berdasarkan analisa temperatur rata-rata, *vertical temperature difference* dan kecepatan rata-rata maka variasi 1 termasuk kenyamanan termal katagori A (ISO 3370).

d. Variasi 4

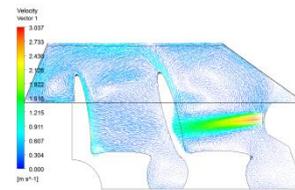


(a) Detik ke 10 (b) Detik ke 30
(c) Detik ke 300 (d) Detik ke 600

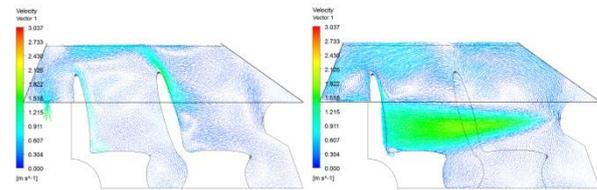
Gambar 13. Distribusi temperatur variasi 4

Hasil simulasi pada Gambar 13 menunjukkan bahwa semakin waktu bertambah, pendinginan di dalam kabin terus berjalan. Pada detik ke 10 temperatur rata-rata di dalam kabin adalah 36,41

°C, kemudian setelah pendinginan berjalan selama 30 detik, temperatur kabin menurun menjadi 30,62 °C. Setelah 300 detik temperatur menjadi 25,68 °C. Namun setelah 600 detik pendinginan berjalan temperatur rata-rata di dalam kabin tidak mengalami perubahan yang signifikan, temperaturnya adalah 25,11 °C. Hal ini membuktikan bahwa setelah 300 detik, temperatur di dalam kabin telah *steady* atau tidak berubah lagi. VTD pada variasi ini adalah 0,03 °C.



(a) Inlet center plane



(b) Passenger center plane (c) Cabin center plane

Gambar 14. Vektor kecepatan udara Variasi 4

Kecepatan maksimal dari simulasi variasi 4 ini adalah 3,04 m/s (Gambar 14). Dimana kecepatan maksimal ini terjadi ada *inlet center plane*. Kecepatan udara rata-rata yang bersirkulasi di dalam kabin adalah 0,28 m/s. Pada variasi 4 ini arah aliran pada 2 buah *Inlet* di bagian tengah diarahkan ke bagian belakang kabin, dan 2 buah *Inlet* di bagian samping dekat jendela diarahkan ke bagian kursi depan kabin. Hal ini menyebabkan terdapat sirkulasi udara di bagian belakang dan di depan kabin sehingga menyebabkan udara terbagi merata ke seluruh bagian kabin. Hal ini dibuktikan dengan nilai VTD pada variasi ini paling kecil dibanding dengan yang lain. Pada variasi 4 ini, kecepatan udara yang melewati kursi depan dan kursi belakang berturut-turut adalah 0,34 m/s dan 0,51 m/s. Berdasarkan analisa temperatur rata-rata, *vertical temperature difference* dan kecepatan rata-rata maka variasi 1 termasuk kenyamanan termal katagori A(ISO 3370).

e. Analisa Kenyamanan Termal Kabin SmarT E.V 2

ASHRAE standard 55 menentukan ada 6 faktor utama yang harus diperhatikan dalam menentukan suatu kondisi dimana kondisi tersebut dikatakan

sebagai kondisi kenyamanan termal. Faktor tersebut adalah metabolisme tubuh, insulasi pakaian, temperatur udara, temperatur radian, kecepatan udara, kelembapan.

ISO 7730 [8] mendefinisikan bahwa temperatur yang nyaman untuk manusia pada musim panas adalah $23\text{ }^{\circ}\text{C} - 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($24,5 \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Kemudian *vertical temperature difference* antara daerah di *head* dan *ankle* tidak boleh lebih dari $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalam kondisi nyaman, kecepatan udara di dalam kabin berkisar antara $0,1\text{ m/s} - 0,4\text{ m/s}$. Dalam standar internasional kenyamanan termal dibagi menjadi 3 kategori, berikut adalah pembagiannya:

Tabel 1. Kategori kondisi kenyamanan termal (ISO 7730, 1994)

Kategori	Range temperatur rata-rata optimum		Kecepatan rata-rata udara		Vertical Temperature Difference ($^{\circ}\text{C}$)
	Summer ($^{\circ}\text{C}$)	Winter ($^{\circ}\text{C}$)	Summer (m/s)	Winter (m/s)	
A	$24,5 \pm 1$	22 ± 1	0,18	0,15	< 2
B	$24,5 \pm 1,5$	22 ± 2	0,22	0,18	< 3
C	$24,5 \pm 2,5$	22 ± 3	0,25	0,21	< 4

Tabel 2. Hasil Simulasi dari tiap variasi setelah 10 menit pendinginan

Variasi \ Parameter	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
Temperatur rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)	24,5	27,4	24,6	25,1
<i>Vertical Temperature Difference</i> ($^{\circ}\text{C}$)	0,28	0,37	1,18	0,03
Kecepatan rata-rata (m/s)	0,24	0,32	0,30	0,28
Kategori	A	C	A	A

Keempat variasi arah aliran yang di simulasikan mampu menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Dari keempat variasi tersebut variasi 2 termasuk dalam kategori C dalam kenyamanan termal menurut ISO 7730. Sedangkan variasi 1, 3 dan 4 mampu menampilkan hasil yang lebih baik dibanding dengan Variasi 2. Meskipun dari segi kecepatan rata-rata udara, keempat variasi tersebut tidak termasuk dalam kategori ISO

7730, namun keempat variasi mampu menghasilkan kecepatan rata-rata yang masih diijinkan ISO 7730, yaitu antara $0,1\text{ m/s} - 0,4\text{ m/s}$.

Jika dibandingkan dengan hasil dari variasi lain, variasi 1 merupakan variasi yang paling cepat untuk mendapatkan kenyamanan termal. Sedangkan dari segi distribusi temperatur di bidang vertikal, variasi 3 dan 4 dapat menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata dibanding dengan variasi yang lainnya.

IV. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dapat ditarik dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan. Radiasi matahari mengakibatkan temperatur rata-rata di kaca SmarT E.V 2 meningkat hingga $46,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatur atap meningkat menjadi $41,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur udara di dalam kabin meningkat hingga menjadi $41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatur rata-rata kabin setelah 10 menit pendinginan untuk variasi 1, 2, 3, 4 berturut-turut adalah $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tiap variasi aliran menghasilkan pola kecepatan aliran udara yang berbeda-beda. Kecepatan rata-rata dari tiap variasi berturut-turut adalah $0,24\text{ m/s}$, $0,32\text{ m/s}$, $0,29\text{ m/s}$ dan $0,28\text{ m/s}$. Variasi aliran menunjukkan bahwa variasi 1, 3 dan 4 paling baik dalam menghasilkan distribusi temperatur dan VTD yang sesuai dengan kategori "A" ISO 7730 sedangkan variasi 2 masuk dalam kategori "C" ISO 7730.

Referensi

- [1] Kohler J, Kuhn B, Sonnekalb M, Beer H., Numerical Calculation of the Distribution of Temperature and Heat Flux in Buses under influence of the Vehicle Air Conditioning System, ASHRAE Trans, 1990, Vol 96, Part 1, 432-446.
- [2] Eisenhour R., Automatic Climate Control Equation for Improved Heat Flux Response, SAE Paper 960683, 1996.
- [3] Stancato F. Onusic H., Road Bus Heat Loads Numerical and Experiment Evaluation, SAE Paper 971825, 1997.
- [4] Huang Linjie, Han Taeyoung., Validation of 3-D Kabin Hot Soak and Cool-Down Analysis for Virtual Thermal Comfort Engineering, Society of Automotive Engineers, Inc. USA, 2002.
- [5] Jaill M.J, Qalssim A.H, CFD Simulaton for a Road Vehicle Cabin, University of Technology. Baghdad. 2007

- [6] Sanaye S, Dehghandokht M, Thermal Modeling for Prediction of Automotive Cabin Air Temperature, International Journal of Automotive Engineering, 2011
- [7] Ahirrao, A.K., Naharani, H.K., Kumar, V., Effect of Vent Shape on Thermal Comfort of Passanger in a Car, SASTECH, 2011, Vol. 10, Issue 2.
- [8] ISO 7730:1994, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions for Thermal Comfort, International Standard.