

Analisis Kinerja Sistem Pendinginan Mesin Dengan Udara Langsung Menggunakan CFD Pada Mobil Konsep Hemat Energi

Andi F. Sudarma^{a,*}, Islahuddin^b, Nisfi Firmansyah^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jalan Merusya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat, 11650

^bProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Dharma Andalas
Jalan Sawahan No. 103, Padang, Sumatera Barat, 25000

*E-mail: andi.firdaus@mercubuana.ac.id

Abstract

The low fuel consumption concept vehicle has been developed by Universitas Mercu Buana and was prepared to compete in the national low fuel consumption vehicle contest (Kompetisi Mobil Hemat Energi). The vehicle has a rear two-wheel-drive driven by a 4-stroke engine with a capacity of 110 cc located at the rear of the car. For an over-heated prevention system, the engine was cooled directly by air that flows from the front side of the vehicle to the engine room at the back. In this research, the effect of the engine position inside the compartment and airflow velocity was studied numerically using ANSYS Fluent. Three positions of the engine (at the left side, center, and right side) and three airflow velocities (40, 60, and 80 km/h) were studied and compared. The result shows that the engine at the center configuration gives the optimum cooling rate. The fluid motion enhances heat transfer (as the velocity increased, the cooling rate also increased).

Keywords: heat transfer, direct air-cooling system, computational fluids dynamics, forced convection, low fuel consumption concept vehicle

Abstrak

Mobil konsep hemat energi dirancang oleh Universitas Mercu Buana untuk diperlombakan pada ajang Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) kategori *urban vehicle*. Secara fisik mobil ini didesain beroda empat dengan mesin yang tersambung dengan poros roda belakang. Agar konsumsi bahan bakarnya rendah, maka mesin yang akan dipakai adalah motor bensin 4 tak berkapasitas 110 cc dan berpendingin udara langsung (*direct air-cooled system*). Ruang mesin diletakkan di bagian belakang kendaraan dengan sistem ventilasi yang memungkinkan udara mengalir dari bagian depan kendaraan dan dibuang ke bagian belakang kendaraan. Pada penelitian ini, pengaruh posisi mesin dianalisis secara numerik terhadap laju pendinginan agar desain sistem pendinginan dapat memberikan hasil optimum. Aliran udara masuk ke dalam ruang mesin menyerap panas yang dipancarkan oleh sirip-sirip badan silinder mesin dan membawanya keluar dari ruang mesin. Penelitian dilakukan dengan menganalisis pengaruh penempatan mesin (di tengah, kanan dan kiri) terhadap sistem pendinginan mobil dengan kecepatan aliran masuk 40, 60 dan 80 km/jam menggunakan *software* ANSYS Fluent. Distribusi temperatur dan laju perpindahan panas dari masing-masing konfigurasi kemudian dibandingkan untuk mendapatkan sistem pendinginan yang optimal. Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem pendinginan pada posisi mesin di tengah lebih optimal dibanding posisi lainnya. Hasil lainnya juga menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kecepatan maka laju pendinginan mesin semakin meningkat.

Kata kunci: perpindahan panas, sistem pendinginan udara langsung, *computational fluid dynamics*, konveksi paksa, mobil konsep hemat energi

1. Pendahuluan

Sistem pendinginan pada motor bakar memegang peranan penting dalam menjaga temperatur mesin agar tetap dalam keadaan ideal. Temperatur silinder mesin dapat mempengaruhi efisiensi bahan bakar, *knocking*, temperatur gas buang dan terutama emisi NO_x pada mesin kendaraan [1]. Namun untuk menghasilkan kinerja pendinginan yang tinggi, sistem perlu dibantu oleh komponen lainnya seperti kipas dan pompa. Oleh karena itu, tahapan perancangan sistem pendinginan sebagaimana yang akan dilakukan pada penelitian ini menjadi tantangan tersendiri untuk menghasilkan sistem yang mempunyai performa pendinginan yang baik serta juga hemat energi.

Motor bakar sebagai sistem penggerak utama pada kendaraan bermotor tidak sepenuhnya bekerja secara efisien, sebagian energinya ada yang terbuang dalam bentuk panas sehingga efisiensinya hanya berkisar antara 30%–40% [2]. Peningkatan temperatur di sekitar mesin dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada komponen mesin dan juga memicu peningkatan temperatur pelumas sehingga terjadi kerusakan komponen mesin lebih cepat daripada semestinya [3,4].

Untuk menjaga mesin tetap bekerja dengan baik, maka temperatur mesin harus tetap dijaga agar tidak terjadi *over-heated*. Untuk menjaga suhu kerja dari motor bakar maka sistem pendinginan mutlak diperlukan. Dalam industri otomotif, sistem pendinginan yang umum digunakan adalah sistem *air-cooled* dan *water-cooled*. Walaupun sistem *water-cooled* yang paling umum digunakan, sistem *air-cooled* tetap banyak digunakan terutama pada kendaraan kapasitas kecil karena sistemnya yang sederhana, mudah dirawat serta hemat energi dan biaya.



Gambar 1. Mobil konsep hemat energi Turangga Wasisto yang dirancang oleh Universitas Mercu Buana [5]

Mobil konsep hemat energi yang tengah dibangun oleh Universitas Mercu Buana dirancang untuk diperlombakan pada ajang Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) kategori *urban vehicle* dan diberi nama Turangga Wasisto, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Secara fisik, mobil ini memiliki empat roda dengan mesin penggerak yang tersambung dengan poros roda belakang. Mesin yang dipakai adalah motor bensin 4 tak berkapasitas 110 cc dan berpendingin udara langsung (*direct air-cooled system*) diadopsi dari mesin kendaraan roda dua yang diproduksi oleh PT. Astra Honda Motor guna menjadikannya kendaraan hemat energi. Ruang mesin diletakan di bagian belakang kendaraan dengan sistem ventilasi yang memungkinkan udara mengalir dari bagian depan kendaraan.

Pendinginan mesin dengan udara langsung telah dipelajari sebelumnya secara eksperimental terhadap mesin kendaraan roda dua oleh Yoshida et. al [6]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap pendinginan mesin dengan udara. Hasil yang didapat menyatakan koefisien perpindahan panas dari proses pendinginan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran udara.

Pada penelitian ini, sistem pendinginan mesin secara langsung dimodelkan dalam bentuk perpindahan panas konveksi paksa. Udara dialirkan ke dalam ruang mesin untuk menyerap panas yang dipancarkan oleh sirip-sirip badan silinder mesin dan membawanya keluar dari ruang mesin. Oleh karena itu, pemodelan ini dapat dianalogikan sebagai alat penukar kalor. Pada penelitian sebelumnya, sistem penukar kalor disimulasikan secara numerik menggunakan *software* ANSYS Fluent untuk menentukan alat penukar kalor yang paling baik dalam pemanfaatan gas buang *boiler* [7]. Penelitian juga dilakukan secara eksperimental pada proses pendinginan langsung menggunakan udara pada mesin pesawat kecil [8]. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa bentuk *fin* (sirip) dan kecepatan udara memegang peranan penting dalam proses pendinginan mesin.

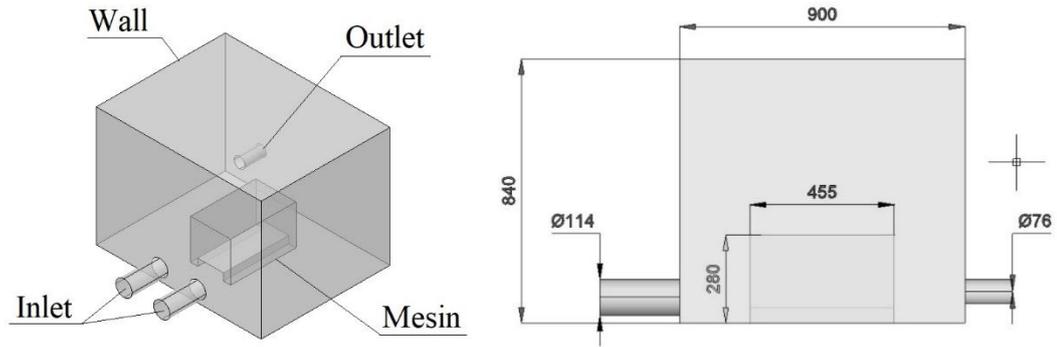
Penelitian dilakukan dengan menganalisis pengaruh penempatan mesin terhadap sistem pendinginan pada mobil *hybrid* KMHE pada saat kendaraan dijalankan pada kecepatan 40, 60 dan 80 km/jam dengan metode komputasi dan simulasi menggunakan *software* ANSYS Fluent. Koefisien perpindahan panas dari setiap konfigurasi kemudian dibandingkan untuk mendapatkan sistem pendinginan yang optimal.

2. Metode penelitian

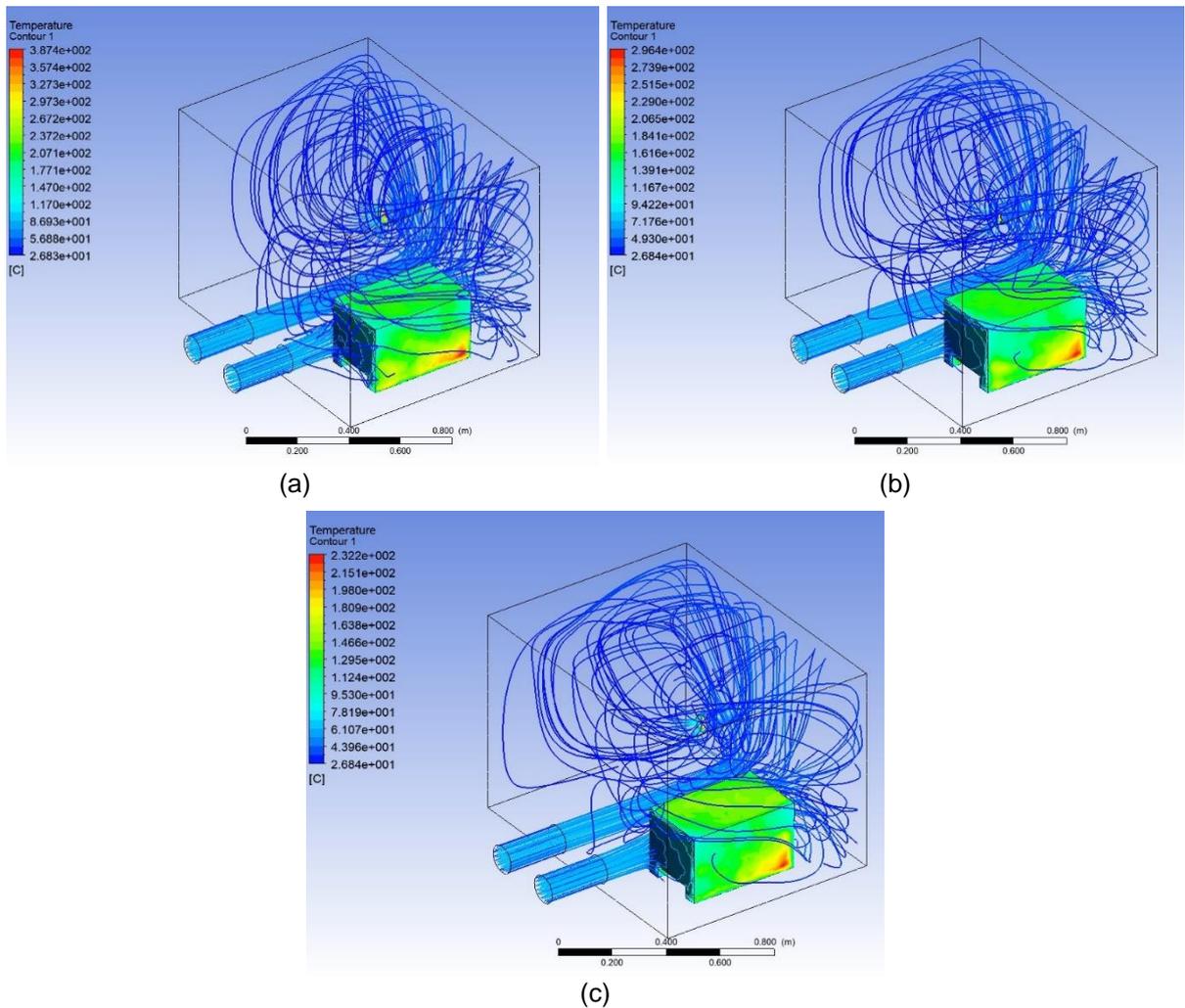
Penelitian ini dilakukan secara numerik menggunakan *software* CFD berdasarkan geometri dari ruang mesin pada mobil konsep KMHE yang telah disederhanakan. Geometri dari ruang mesin tersebut secara skematis digambarkan sesuai dimensi pada Gambar 2.

Tabel 1. *Boundary condition*

Kondisi	Satuan	Nilai
Kecepatan inlet (U)	km/jam	40, 60 dan 80
Heat flux	W/m ²	2800
Temperatur inlet	K	300
Tekanan	atm	1

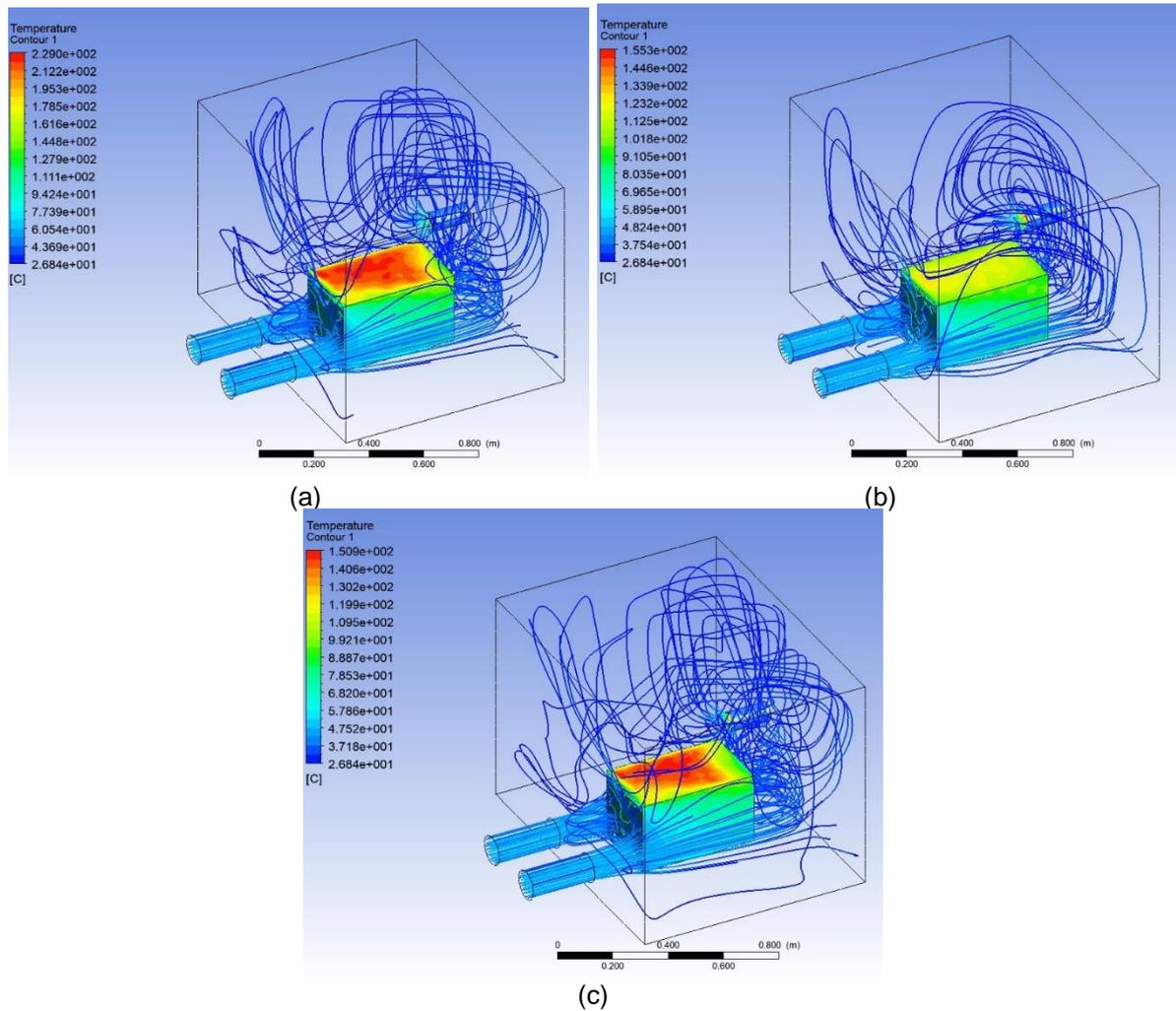


Gambar 2. Gambar skematis ruang mesin pada posisi tengah (gambar kiri) dan geometri (gambar kanan)



Gambar 3. Pathline aliran udara dan *temperature contour* dari konfigurasi posisi mesin di sisi kiri pada kecepatan (a) 40 km/jam, (b) 60 km/jam, dan (c) 80 km/jam

Pada penelitian ini, simulasi numerik dilakukan terhadap tiga geometri yang dibedakan dari posisi mesin di dalam kompartemen guna mengetahui pengaruh posisi terhadap kinerja pendinginan. Pada geometri pertama, mesin diposisikan di sebelah kanan pengemudi. Sedangkan pada geometri selanjutnya (geometri 2 dan 3), mesin diposisikan di tengah dan sisi kiri pengemudi. Selanjutnya, tiga variasi kecepatan aliran pada *inlet* (yaitu 40 km/jam, 60 km/jam dan 80 km/jam) juga diterapkan untuk mengetahui pengaruh kecepatan mobil terhadap laju pendinginan mesin.



Gambar 4. Pathline aliran udara dan *temperature contour* dari konfigurasi posisi mesin di tengah pada kecepatan (a) 40 km/jam, (b) 60 km/jam, dan (c) 80 km/jam

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan *mesh* menggunakan ANSYS Meshing yang dibangun dari rangkaian *unstructured tetrahedron*. Jumlah elemen pada geometri 1, 2 dan 3 masing-masing adalah 1025143, 1007817, dan 1010712 elemen. Sedangkan kualitas dari *mesh* berdasarkan nilai *orthogonality* dan *skewness* masing-masing adalah 0,25 dan 0.79. Kemudian, tiap-tiap *mesh* dijalankan secara numerik dalam kondisi *steady-state* menggunakan ANSYS Fluent dengan metode kalkulasi *turbulent k-epsilon*. Detail dari model matematik dari metode ini dapat dilihat pada buku manual dari ANSYS Fluent serta artikel referensi berikut [9,10]. Kondisi batas (*boundary condition*) dari simulasi ini diterapkan berdasarkan nilai masukan yang tertera pada Tabel 1.

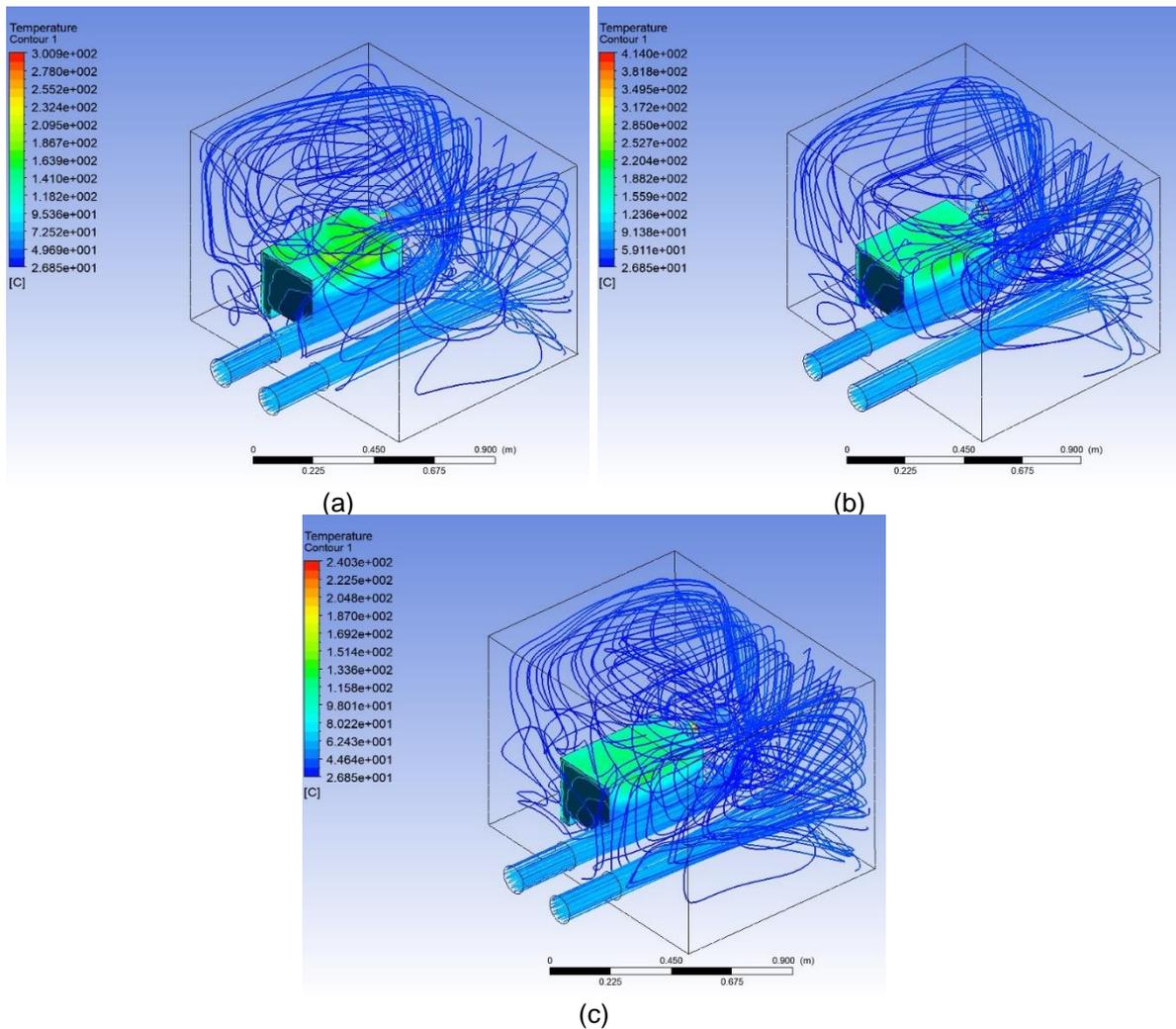
Laju pendinginan dari sistem atau dalam kata lain laju transmisi energi panas dari permukaan mesin ke aliran udara di sekeliling permukaan luar mesin dapat diperkirakan besarnya dengan menggunakan persamaan perpindahan panas konveksi berikut:

$$Q = h_u A_b (T_w - T_u) \tag{1}$$

Dengan A_b adalah luas permukaan luar mesin yang berkontak dengan aliran udara di sekelilingnya, dan T_w adalah besarnya temperatur permukaan luar mesin yang lebih tinggi daripada temperatur udara di sekelilingnya yang bertemperatur T_u . Sedangkan h_u adalah koefisien perpindahan panas konveksi yang dapat diketahui dari perbandingan terbalik antara *heat flux* dengan beda temperatur.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, sebuah motor bakar bensin diletakkan di dalam kompartemen sebagai sumber penggerak kendaraan. Motor bakar beroperasi menghasilkan panas dan didinginkan oleh aliran udara yang dialirkan ke dalam ruang mesin dari saluran yang berada di depan kendaraan kemudian udara panas dibuang ke saluran bagian belakang. Tiga konfigurasi posisi mesin yang berbeda, yaitu di kanan, kiri, dan kanan, dibandingkan dengan analisis numerik untuk mengetahui laju pendinginan yang paling optimal. Selanjutnya, tiga kecepatan aliran masukan yang berbeda (40

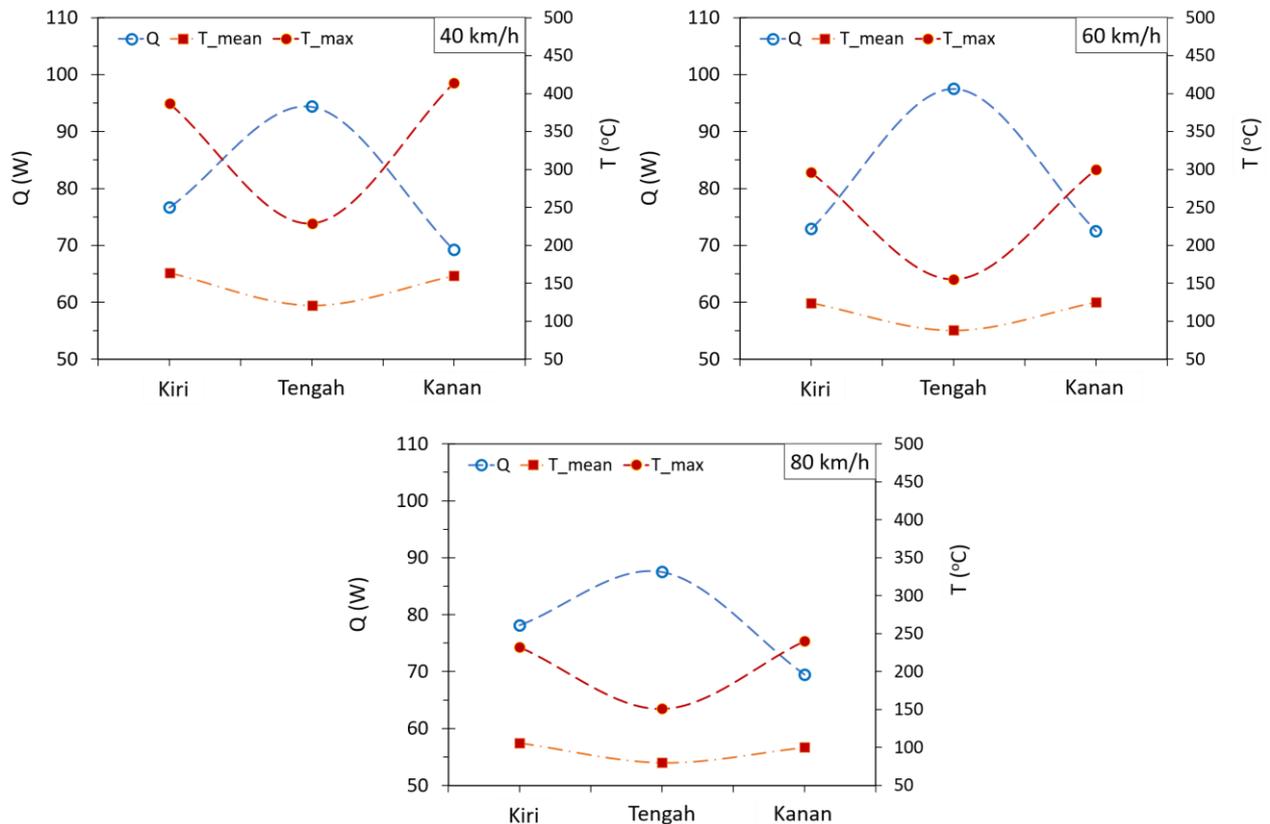


Gambar 5. Pathline aliran udara dan *temperature contour* dari konfigurasi posisi mesin di sisi kanan pada kecepatan (a) 40 km/jam, (b) 60 km/jam, dan (c) 80 km/jam

km/jam, 60 km/jam dan 80 km/jam) juga dibandingkan untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran terhadap proses pendinginan mesin. Berikut ini adalah hasil penelitian untuk pengujian simulasi aliran fluida dan perpindahan panas dengan menggunakan *software* ANSYS Fluent.

Gambar 3, 4 dan 5 menunjukkan garis jalur (*pathline*) aliran dan kontur temperatur permukaan mesin pada 3 konfigurasi posisi dan kecepatan aliran masukan yang berbeda. Pada Gambar 3 dapat dilihat jalur aliran dari saluran masuk yang membentuk pusaran aliran pada bagian kosong dari kompartemen mesin dan hanya sedikit aliran udara yang menjangkau area sempit di sebelah kiri antara permukaan mesin dan dinding kompartemen. Hal ini menyebabkan aliran udara tidak banyak menjangkau area paling kiri dari ruang mesin sehingga temperatur tinggi muncul di area tersebut. Hal yang sama juga terjadi pada konfigurasi mesin di sebelah kanan, area sempit berdekatan dengan dinding kompartemen di sebelah kanan adalah area yang paling tinggi temperaturnya sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 4 terlihat aliran udara yang masuk secara seimbang mengalir pada permukaan mesin baik di area kiri dan kanan. Pada area ini, udara bertemperatur rendah yang baru masuk langsung bersentuhan dengan permukaan mesin sehingga proses konveksi terjadi secara lebih efektif. Namun, area permukaan mesin bagian atas menjadi daerah yang paling tinggi temperaturnya. Hal ini terjadi karena aliran yang masuk terlebih dahulu bersentuhan dengan permukaan sisi samping, setelah itu aliran dibelokkan oleh dinding belakang dan kemudian menyentuh permukaan atas dari mesin. Aliran yang dibelokkan ini telah meningkat temperaturnya sebelum menyentuh permukaan atas mesin yang mengakibatkan beda temperatur menurun sehingga laju pendinginan berkurang sebagaimana yang telah diterangkan pada persamaan (1).

Grafik perbandingan laju pendinginan, temperatur rata-rata dan temperatur maksimum terhadap posisi mesin di dalam kompartemen sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 6 memperjelas hasil yang ditunjukkan pada paragraf sebelumnya. Pada gambar ini terlihat perbandingan temperatur maksimum dan temperatur rata-rata dari masing-masing konfigurasi mesin yang diposisikan di sebelah kiri, tengah dan kanan. Peningkatan kecepatan kendaraan yang berimbas



Gambar 6. Perbandingan laju pendinginan, temperatur rata-rata dan temperatur maksimum terhadap posisi mesin di dalam kompartemen.

pada bertambahnya kecepatan aliran yang memasuki ruang mesin secara signifikan menurunkan temperatur (maksimum dan rata-rata) pada kisaran 10%. Gambar ini memperlihatkan bahwa posisi mesin di tengah adalah pilihan yang terbaik berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan pada penelitian ini. Sedangkan temperatur rata-rata dan maksimum yang dihasilkan dari simulasi aliran pada konfigurasi mesin di posisi samping kiri dan kanan menunjukkan nilai yang hampir sama. Pergerakan fluida memicu peningkatan laju perpindahan panas (semakin tinggi kecepatan aliran maka semakin tinggi pula laju perpindahan panasnya) [11–13].

Pengaruh dari laju aliran terhadap koefisien perpindahan panas dari permukaan bertemperatur tinggi ditampilkan pada artikel berikut ini [6,14–16]. Dari artikel tersebut dapat disimpulkan bahwa koefisien perpindahan panas berbanding lurus dengan kecepatan aliran udara pada proses konveksi. Pada Gambar 4 terlihat terjadinya sedikit peningkatan laju pendinginan dengan berubahnya kecepatan aliran dari 40 km/jam menjadi 60 km/jam. Namun pada kecepatan aliran 80 km/jam terjadi penurunan laju pendinginan yang cukup signifikan. Saat ini penulis belum dapat menerangkan apa yang menjadi penyebab penurunan laju pendinginan pada kecepatan 80 km/jam.

4. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh posisi mesin di dalam kompartemen/ruang mesin ditampilkan pada artikel ini. Tiga kecepatan aliran yang berbeda diaplikasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap laju pendinginan. Berdasarkan hasil penelitian ini didapat kesimpulan bahwa konfigurasi posisi mesin di tengah memberikan hasil laju pendinginan yang lebih baik daripada konfigurasi lainnya. Konfigurasi mesin pada sisi kiri dan kanan kendaraan menghasilkan konsentrasi temperatur pada area sempit antara mesin dan dinding kompartemen yang sulit dijangkau oleh aliran udara sehingga proses pendinginan kurang efisien. Peningkatan kecepatan aliran masuk juga meningkatkan laju pendinginan pada mesin, walaupun pada kecepatan 80 km/jam terjadi penurunan laju pendinginan yang belum diketahui penyebabnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Penelitian Universitas Mercu Buana atas dukungan yang telah diberikan. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada Tim Geni Biru UMB dan Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana dalam kontribusinya untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Wimmer, A., and Schnessl, E., 2006, "Effects of humidity and ambient temperature on engine performance of lean burn natural gas engines," in Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, 42606: 421–429.
- [2] Sera, M.A., 2015, "Optimasi Daya Mesin dan Konsumsi Bahan Bakar Mesin Toyota Seri 5k melalui Penggunaan Pengapian Booster," *Sinergi*, 19(3): 195–200.
- [3] Yigit, K.S., 2005, "Experimental investigation of a comfort heating system for a passenger vehicle with an air-cooled engine," *Applied Thermal Engineering*, 25(17–18): 2790–2799.
- [4] Viertel, J., and Wulandana, R., 2021, "Two Dimensional CFD Analysis and Flow Optimization of Transmission Cooling Scoop for Longitudinal Powertrain Applications," *International Journal of Advance Technology in Mechanical, Mechatronics, and Materials*, 2(1): 13–21.
- [5] Nugroho, A.H., 2018, "12 Mahasiswa Luncurkan 2 Mobil Hekoillk,,mat Energi, Bisa Melesat 60 Km/Jam," www.okezone.com.
- [6] Yoshida, M., Ishihara, S., Murakami, Y., Nakashima, K., and Yamamoto, M., 2006, "Air-cooling effects of fins on a motorcycle engine," *JSME International Journal Series B Fluids Thermal Engineering*, 49(3): 869–875.
- [7] Gaol, A.P.G.L. Mahyunis, Siregar. A.R., 2015, "Simulasi Model Alat Penukar Kalor Menggunakan Software Enginerig Untuk Pemanfaatan Gas Buang Boiler Sebagai Sumber Kalor Pada Proses Pengeringan Kernel," *Jurnal Penelitian STIPAP*, 6(1): 61–75.
- [8] Pinkel, B., 1937, "The Heat-Transfer Processes in Air-Cooled Engines," *Journal of Aeronautical Science*, 4(10): 403–410.
- [9] ANSYS Inc., 2011, "ANSYS FLUENT Theory Guide Release 14.0," 15317.
- [10] Sudarma, A.F., and Morsy, M.H., 2017, "RANS numerical simulation of lean premixed bluff body stabilized combustor: Comparison of turbulence models," *Journal Thermal Engineering*, 3(6): 1561–1573.
- [11] Guo, Z.Y., Li, D.Y., and Wang, B.X., 1998, "A novel concept for convective heat transfer enhancement," *International Journal Heat Mass Transfer*, 41(14): 2221–2225.
- [12] Cengel, Y.A., and Ghajar, A.J., "Fundamentals of Convection."
- [13] Agarwal, P., Shrikhande, M., Srinivasan, P., 2011, "Heat transfer simulation by CFD from fins of an air cooled motorcycle engine under varying climatic conditions," in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 3: 6–8.
- [14] Thornhill, D., Graham, A., Cunnigham, G., Troxler, P. and Meyer, R., 2003, "Experimental investigation into the free air-cooling of air-cooled cylinders," *SAE Transaction*, 2046–2057.
- [15] Gibson, A.H., 1919, "The air cooling of petrol engines," *Proc. Inst. Automob. Eng.*, 14(1): 243–302.
- [16] Biermann, A., Pinkel, B., 1935, "Heat Transfer from finned metal cylinders in an air stream."