G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Volume 7, No. 3, Juli 2023, hal. 913-922
E-ISSN: 2623-064x | P-ISSN: 2580-8737

Pengaruh Peletakan *Fan Coil Unit* (FCU) Terhadap Temperatur Kamar Mesin menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Ardan Nagra Coutsar[1,2]✉, Ansori[1], Abdi Ismail[3], Dedy Wahyudi[2,4]

[1] Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan, Indonesia
[2] PT PAL INDONESIA, Surabaya, Indonesia
[3] Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Surabaya, Indonesia
[4] Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 06-06-2023
Direvisi : 12-06-2023
Diterima : 16-06-2023

ABSTRAK

Saat kapal berlayar di wilayah ekstrim dengan suhu udara luar yang tinggi, sistem HVAC diperlukan untuk menjaga suhu di dalam kapal dalam batas toleransi yang memungkinkan pembakaran yang efisien. Penelitian ini berfokus pada pentingnya penggunaan sistem HVAC yang efektif dalam kapal untuk memastikan operasi yang efisien menggunakan FCU. Meskipun FCU biasanya digunakan dalam sistem HVAC, pengaruh tata letak terhadap temperatur ruang kamar mesin di kapal masih belum banyak dibahas dengan metode CFD. Dengan metode tersebut, peneliti dapat mensimulasikan dan menganalisis pola aliran udara serta distribusi temperatur di ruang mesin. Simulasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan temperatur rata-rata dalam empat skenario penempatan FCU di kapal. FCU di tengah kompartemen memiliki temperatur rata-rata tertinggi, sementara FCU di belakang kompartemen memiliki temperatur rata-rata terendah. Penempatan FCU di atas peralatan dan di depan kompartemen menghasilkan suhu rata-rata yang serupa. Letak FCU dengan saluran masuk udara pendinginan mempengaruhi efektivitas pendinginan. Fenomena ini terjadi karena pertukaran panas secara instan dan menyeluruh untuk kapasitas udara yang masuk.

Kata Kunci:

Fan Coil Unit; Kamar Mesin; Komputasi Dinamika Fluida, Pertukaran Panas; Temperatur

Keywords **:**

Fan Coil Unit: Engine Room; Computational Fluid Dynamic; Heat Transfer; Temperature

ABSTRACT

When the ship sails in extreme regions with high outdoor temperatures, an HVAC system is required to maintain the temperature inside the ship within tolerable limits for efficient combustion. This research focuses on the importance of using an effective HVAC system in ships to ensure efficient operations using FCUs (Fan Coil Units). Although FCUs are commonly used in HVAC systems, the influence of layout on the temperature of the engine room in ships has not been extensively studied by Computational Fluid Dynamics (CFD). By employing this method, researchers can simulate, analyze airflow patterns and temperature distributions in the engine room. The simulations reveal variations in the average temperature among four FCU placement scenarios on the ship. The FCU placed in the middle of the compartment exhibits the highest average temperature, while the FCU placed behind the compartment shows the lowest average temperature. Placing the FCU above equipment and in front of the compartment results in similar average temperatures. The proximity of the FCU to the cooling air inlet also affects the cooling effectiveness. This phenomenon is caused by instant and thorough heat exchange for the incoming air capacity.

Corresponding Author **:**
Ardan Nagra Coutsar
Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan, Indonesia
Jl. Salemba Raya No.3, Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10440
Email: ardan.coutsar@tp.idu.ac.id

This is an open access article under the CC BY license

PENDAHULUAN

Ketika sebuah kapal berlayar di wilayah yang ekstrim, kapal tersebut akan melewati Temperatur udara luar yang cukup tinggi, yaitu hingga 50°C (Noori et al., 2019). Pada sistem HVAC di kapal, udara di luar kapal diproses untuk digunakan untuk ruangan didalam kapal. Manajemen termal ruang mesin kapal menggunakan sistem pemanasan ventilasi dan pendingin udara (HVAC) diperlukan untuk menjaga Temperatur dalam batas toleransi agar terjadi pembakaran yang efisien pada mesin pembakaran dalam dan agar perangkat elektronik di kapal dapat berfungsi dengan baik dengan menghilangkan panas tinggi yang dihasilkan oleh sistem tambahan di dalam kapal (George & Saha, 2021).

Untuk kompartemen kamar mesin, udara luar digunakan sebagai udara pembakaran dan pendinginan untuk berbagai peralatan seperti Mesin Pokok, Diesel Generator, Gear Box, Pompa, dan peralatan lainnya. Karena Temperatur udara luar yang tinggi, penggunaan *Fan Coil Units* (FCUs) diperlukan sebagai pendinginan (Lin et al., 2019).

FCUs umumnya digunakan dalam sistem HVAC untuk mengontrol Temperatur ruangan. Peralatan ini terdiri dari kipas dan penukar panas, dan banyak digunakan di bangunan perumahan, komersial, industri, serta dalam aplikasi kelautan yang menggunakan sistem pendingin chiller (Lin et al., 2019). Kamar mesin di kapal memiliki peranan yang cukup penting. Menjaga Temperatur yang optimal di dalam kamar mesin sangat penting untuk operasi yang efisien, mencegah panas berlebih, dan memastikan keandalan mesin kapal (Newton et al., 2014).

Terdapat beberapa penelitian mengenai penggunaan FCU. Lin (2019) telah melakukan penelitian untuk mengembangkan strategi pengendalian optimalisasi sistem HVAC dengan mengatur Temperatur unit FCU untuk menghemat energi. Strategi ini melibatkan algoritma pengaturan Temperatur FCU yang dinamis, pendekatan untuk menentukan kebutuhan udara dingin dalam ruangan, dan penggunaan algoritma genetika untuk menghitung konsumsi energi minimum. Eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa strategi ini dapat menghemat energi sebesar 39,71% dibandingkan dengan sistem HVAC biasa (Lin et al., 2019).

Wang (2018) telah melakukan penelitian terkait optimalisasi volume air dingin dalam perangkat chiller menggunakan studi eksperimental. Analisis eksperimental dilakukan pada unit kipas pendingin (FCU) sistem. Air dingin mengalir di dalam sisi tabung dan udara sebagai fluida panas mengalir di sepanjang tabung dan sirip FCU. Kinerja termal dan analisis perpindahan panas dievaluasi dengan menggunakan berbagai aliran volume air dingin, diantaranya adalah 11, 12, 13, 14, 15 liter per menit. Efek aliran volume terhadap parameter penting seperti Temperatur LMTD dan penyerapan panas digunakan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik perpindahan panas meningkat dengan peningkatan aliran volume air dingin (C. Wang et al., 2018).

Ke (2007) telah melakukan pengembangan unit kipas pendingin dengan volume udara variabel dan perbedaan Temperatur rendah (LTD-VAV FCU). Hal ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kualitas udara dalam ruangan. Pengujian eksperimental dilakukan pada prototipe unit tersebut. Hasil eksperimen menunjukkan peningkatan efisiensi transfer panas dan peningkatan kenyamanan termal dalam ruangan. Selain itu, penelitian ini juga memungkinkan kapasitas pendinginan yang dapat diatur untuk dapat meningkatkan penghematan energi (Ke et al., 2007).

Meskipun FCUs biasanya digunakan dalam sistem HVAC untuk mengatur Temperatur, pengaruh tata letak terhadap Temperatur ruang kamar mesin di kapal belum banyak dibahas menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Dengan menggunakan analisis CFD, peneliti dapat menyimulasikan dan menganalisis pola aliran udara, mekanisme perpindahan panas, dan distribusi Temperatur di lingkungan ruang mesin. Hal ini memungkinkan pemahaman mendetail tentang bagaimana penempatan FCU dan pengaturan Temperatur mempengaruhi desain. Dengan mengidentifikasi konfigurasi FCU yang paling efektif dan strategi penempatan, desainer kapal dapat mengoptimalkan sistem pendinginan dan ventilasi di ruang mesin, menghasilkan peningkatan efisiensi energi serta peningkatan kinerja peralatan.

METODE PENELITIAN

Model

Pemodelan dalam *Computational Fluid Dynamics* (CFD) mengacu pada proses pembuatan representasi matematika dari sistem fisik atau fenomena tertentu untuk menyimulasikan dan menganalisis aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait lainnya (Newton et al., 2014; Pérez et al., 2016; Zhang et al., 2020). Penyelesaian masalah dilakukan dengan mendiskritisasi atau memecah menjadi elemen-elemen yang lebih kecil, dan menerapkan persamaan matematika berupa dinamika fluida untuk menyimulasikan perilaku fluida dalam sistem tersebut (Zhou et al., 2021). Model CFD memperhitungkan berbagai parameter seperti geometri, kondisi batas, kondisi awal, dan sifat fluida untuk memprediksi pola aliran, distribusi Temperatur, tekanan, dan variabel relevan lainnya (Cao et al., 2022; Yuan & You, 2007). Dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* peneliti dapat mempelajari masalah dinamika fluida kompleks, mengoptimalkan desain, dan mendapatkan pengetahuan tentang perilaku sistem fluida tanpa perlu melakukan eksperimen fisik yang luas (Kinaci et al., 2016). Parameter simulasi yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Keterangan
Model Fluida	k-epsilon
Initialization	Hybrid
Jumlah Iterasi	200

Dalam konteks *Computational Fluid Dynamics* (CFD), model fluida k-epsilon adalah salah satu model turbulensi yang umum digunakan untuk menggambarkan aliran fluida yang turbulen. Model ini didasarkan pada pendekatan penghitungan untuk mencari korelasi antara viskositas turbulen kinematik (k) dan tingkat dissipasi turbulen (epsilon) dalam aliran fluida (Adanta et al., 2020). *Initialization* dalam CFD mengacu pada proses awal untuk mengatur kondisi awal dari simulasi. *Hybrid Initialization* menggabungkan beberapa metode inisialisasi yang berbeda, seperti inisialisasi berdasarkan keadaan diam atau inisialisasi berdasarkan solusi awal yang diberikan (Zhao et al., 2019). Jumlah iterasi adalah jumlah langkah iterasi yang dilakukan dalam simulasi CFD. Ini mencerminkan berapa kali persamaan-persamaan fluks dan keseimbangan diterapkan pada setiap sel komputasi dalam iterasi. Dalam konteks ini, simulasi CFD telah dijalankan sebanyak 200 iterasi.

Kondisi Batas

Dalam ANSYS Fluent, kondisi batas diterapkan pada batas-batas domain komputasi untuk menentukan perilaku fluida pada batas-batas tersebut. Kondisi batas ini penting untuk menyimulasikan aliran fluida dan akurasi dalam sistem tersebut (Cao et al., 2022).

Tabel 2. Kondisi Batas

Kondisi	Mass Flow (kg/s)	Temperatur (°C)
Inlet FCU 1	3.06	27
Inlet FCU 2	3.06	27
Inlet FCU 3	3.06	27
Inlet duct ME	19.80	50
Inlet duct DG	4.80	50
Inlet Upper	13.30	50
Inlet ME	10.45	50
Inlet DG	9.50	50
Outlet FCU 1	3.06	-
Outlet FCU 2	3.06	-
Outlet FCU 3	3.06	-
Outlet Comb ME 1	6.6	-

Kondisi	Mass Flow (kg/s)	Temperatur (°C)
Outlet Comb ME 2	6.6	-
Outlet Comb DG 1	1.6	-
Outlet Comb DG 2	1.6	-
ME	-	55
DG	-	50
GB	-	45
Outlet	-	-

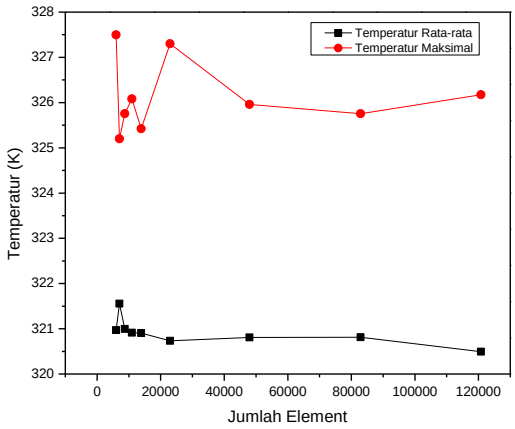
Tabel 2 menggambarkan kondisi aliran massa dan temperatur dalam sistem yang terkait. Terdapat beberapa kondisi batas yang tercantum dalam tabel tersebut. Pertama, terdapat tiga unit *Fan Coil Unit* (FCU) dengan masing-masing memiliki aliran massa masuk sebesar 3.06 kg/s dan temperatur awal 27°C. Peletakan dari tiga FCU ini perlu dianalisis untuk dapat menurunkan temperatur dari kamar mesin secara optimal. FCU direncanakan untuk diletakkan pada empat skenario diantaranya adalah pada daerah belakang kompartemen, tengah kompartemen, depan kompartemen dan juga diatas peralatan yang akan didinginkan.

Udara yang dimasukkan kedalam kamar mesin merupakan udara yang terdiri dari udara untuk pendinginan dan pembakaran dari peralatan (Newton et al., 2014). Udara tersebut memiliki temperatur 50°C (Noori et al., 2019). Kapasitas udara yang dimasukkan dibagi menjadi beberapa daerah diantaranya yang disuplai dari saluran udara yang berada diatas peralatan dan juga udara yang disuplai sejajar dengan peralatan. Kondisi batas dari peralatan adalah temperatur maksimal dari peralatan tersebut, diantaranya adalah temperatur maksimal mesin pokok yaitu 55°C, temperatur diesel generator 50°C dan juga temperatur dari gearbox yaitu 45°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konvergensi

Validasi dalam ANSYS Fluent mengacu pada proses mengevaluasi akurasi dan keandalan hasil simulasi yang diperoleh dari perangkat lunak tersebut. Hal ini dilakukan dengan melibatkan perbandingan antara data simulasi dengan data eksperimental atau data analitis untuk menentukan tingkat kesesuaian di antara keduanya (I. T. Wang, 2014). Validasi hasil simulasi penting untuk memastikan bahwa model numerik secara memadai mewakili sistem fisik dan untuk mendapatkan kepercayaan dalam menggunakan perangkat lunak tersebut untuk analisis dan desain lebih lanjut (Kumar et al., 2021). Analisis konvergensi dilakukan dengan studi independensi grid yaitu dengan menjalankan simulasi dengan resolusi grid yang berbeda. Hal ini membantu menentukan sensitivitas hasil terhadap ukuran mesh dan memastikan bahwa solusi tidak terlalu bergantung pada resolusi grid (Eça & Hoekstra, 2014).

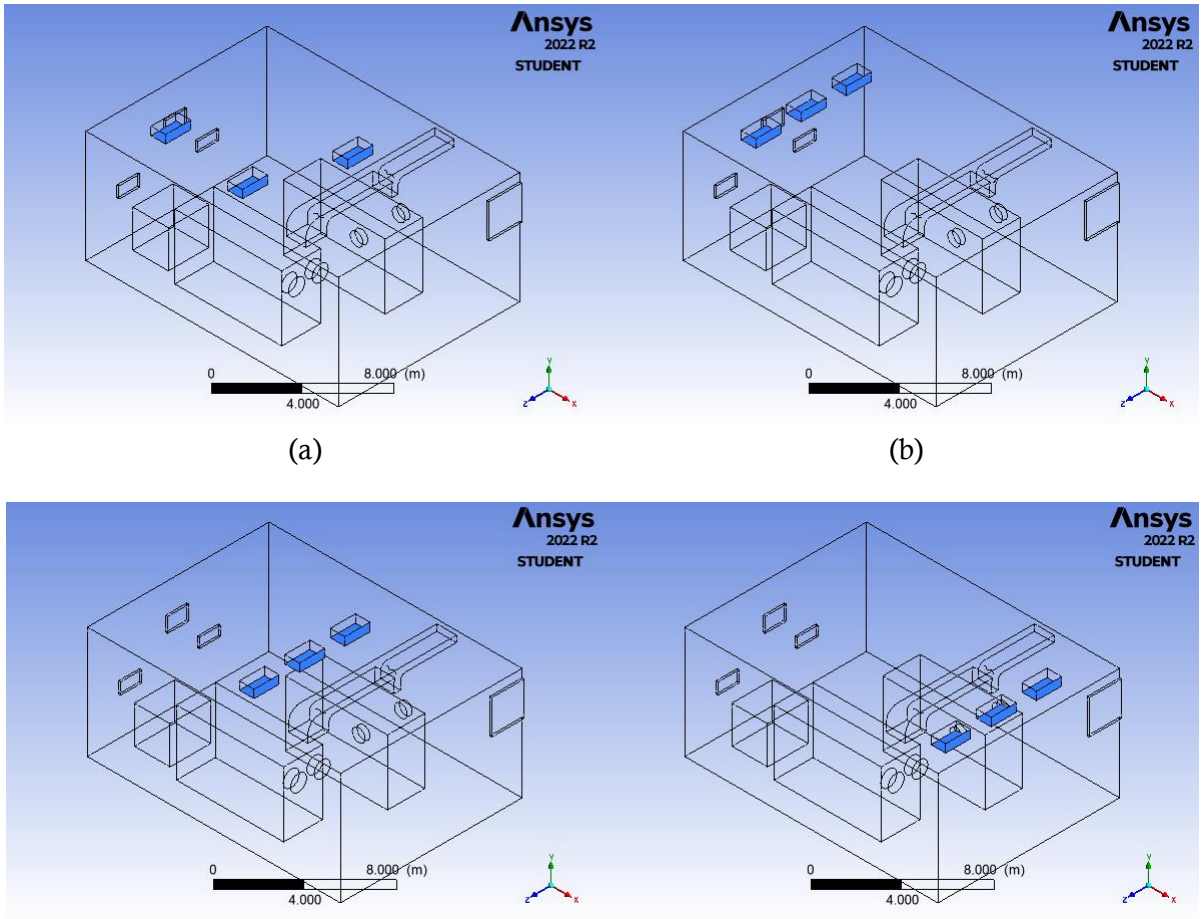


Gambar 1 Analisis Konvergensi

Gambar 1 menunjukkan hasil simulasi dengan variasi ukuran elemen pada pemodelan. Dalam setiap kasus jumlah elemen yang digunakan serta Temperatur rata-rata dan maksimal yang dihasilkan dalam sistem dicatat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin banyak elemen yang digunakan, temperatur rata-rata dan temperatur maksimal dari sistem menuju pada suatu nilai tertentu. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa jumlah elemen yang diperlukan dalam simulasi tidak memiliki dampak yang signifikan pada Temperatur rata-rata maupun Temperatur maksimal dari sistem. Nilai temperatur rata-rata menuju ke nilai 320.8 K dan Nilai temperatur maksimal menuju ke nilai 325.9 K pada ukuran elemen 200 mm dengan jumlah elemen 47946. Sehingga ukuran elemen tersebut dapat dikatakan sebagai nilai konvergen dan dapat digunakan untuk setiap simulasi.

Hasil Pemodelan

Pemodelan yang dilakukan pada empat konfigurasi diantaranya adalah FCU yang diletakkan pada daerah belakang kompartemen, tengah kompartemen, depan kompartemen dan juga diatas peralatan yang akan didinginkan. Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar Gambar 2.



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 2 Pemodelan Simulasi (a) FCU diatas peralatan (b) FCU dibelakang kompartemen (c) FCU ditengah kompartemen (d) FCU didepan kompartemen

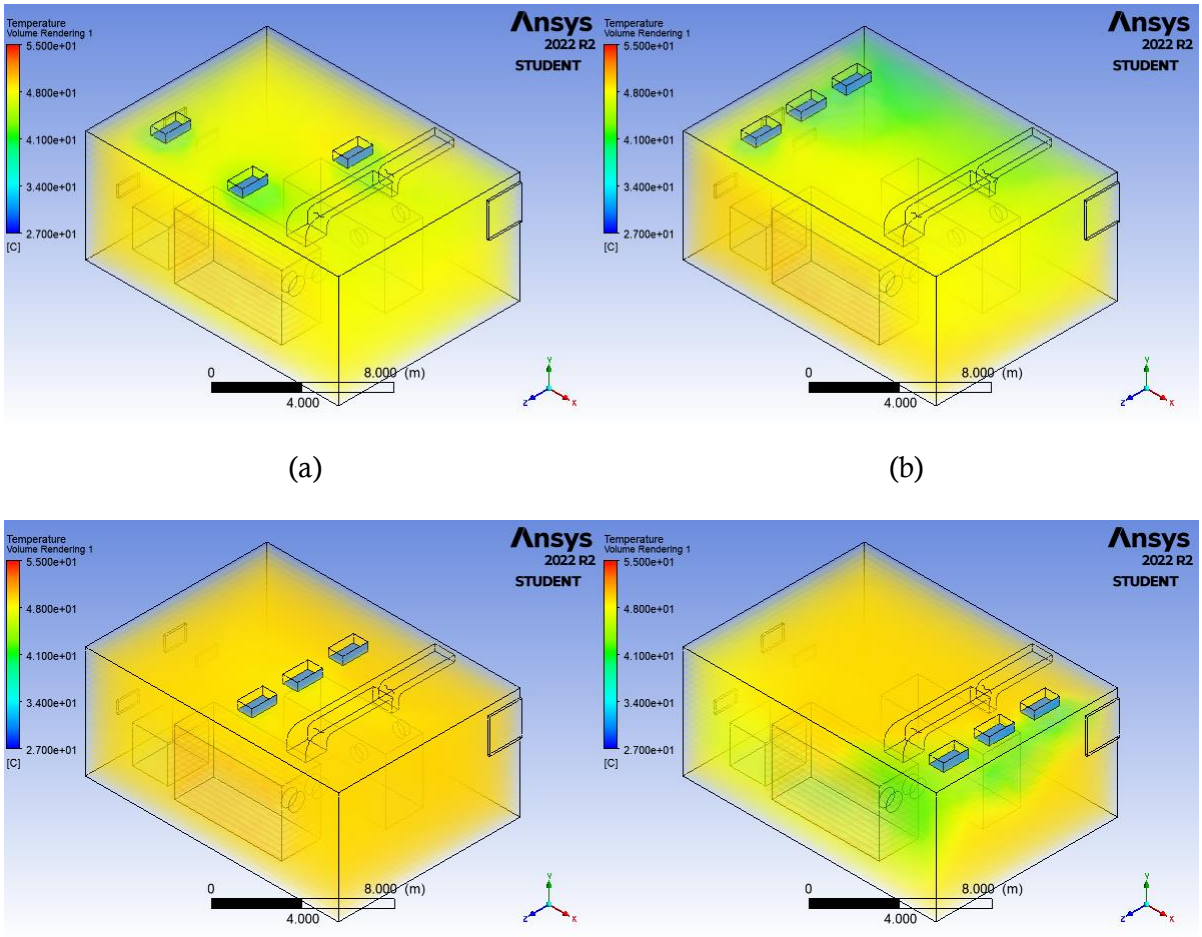
Gambar 2 menunjukkan pemodelan simulasi. Pemodelan ini melibatkan pengaturan *Fan Coil Unit* (FCU) dalam empat skenario yang berbeda dalam sistem. Pertama, FCU ditempatkan di atas peralatan (a). Skenario kedua adalah FCU dibelakang kompartemen (b). Kemudian, FCU ditempatkan di tengah kompartemen (c). Terakhir, FCU ditempatkan di depan kompartemen (d). Pemodelan ini bertujuan untuk memahami pengaruh penempatan FCU dalam sistem terhadap distribusi Temperatur dan aliran udara. Dengan melakukan simulasi dalam berbagai skenario

penempatan FCU ini, peneliti dapat mengamati perbedaan dalam efek pendinginan, aliran udara, dan Temperatur di sekitar peralatan dan kompartemen yang terlibat.

Untuk setiap skenario diletakkan tiga peralatan diantaranya adalah mesin pokok, diesel generator, dan juga gearbox. Tiga peralatan ini merupakan sumber penghasil panas terbesar didalam ruangan kamar mesin. Untuk mesin pokok dan diesel generator, disediakan saluran udara yang tepat berada diatas turbocharge sebagai suplai udara pembakaran. Kapasitas saluran udara yang disediakan adalah satu setengah kali dari kebutuhan udara pembakaran dari mesin tersebut. Sedangkan untuk mendinginkan peralatan yang ada didalam kamar mesin, disediakan saluran udara yang berada di belakang kompartemen sebagai udara pendinginan.

Hasil Simulasi

Hasil simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamic* dapat dilihat pada gambar Gambar 3.



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 3 Hasil Simulasi (a) FCU diatas peralatan (b) FCU dibelakang kompartemen (c) FCU ditengah kompartemen (d) FCU didepan kompartemen

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan distribusi Temperatur pada kamar mesin akibat perbedaan peletakan FCU. Warna hijau muda menunjukkan udara dingin yang dikeluarkan oleh FCU, sedangkan udara kuning-oranye merupakan udara pencampuran antara udara panas yang dihasilkan oleh peralatan dengan udara yang telah disemburkan oleh FCU. Semakin muda warna tersebut menandakan bahwa ruangan tersebut semakin dingin yang memiliki arti bahwa pendinginan yang dilakukan oleh FCU telah efektif dilakukan. Pada gambar (a) dan (b) relatif memiliki konfigurasi yang relatif lebih bagus

dibandingkan dengan (c) dan (d). Hal ini ditunjukkan bahwa distribusi aliran pendinginan lebih merata dan menghasilkan Temperatur rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan dua konfigurasi lainya. Fenomena ini disebabkan karena pendinginan yang terjadi secara instan dan menyeluruh pada kapasitas udara masuk. Dibandingkan dengan konfigurasi FCU lainnya yaitu FCU yang berada diatas peralatan, tengah maupun depan kompartemen, hanya sebagian kapasitas saja yang didinginkan. Kapasitas udara lainnya telah menyebar pada kompartemen sebelum didinginkan oleh FCU sehingga pertukaran suhu yang dihasilkan juga tidak optimal. Hasil dari Temperatur rata-rata dan Temperatur maksimal yang dihasilkan oleh sistem dapat dilihat pada Tabel 3.

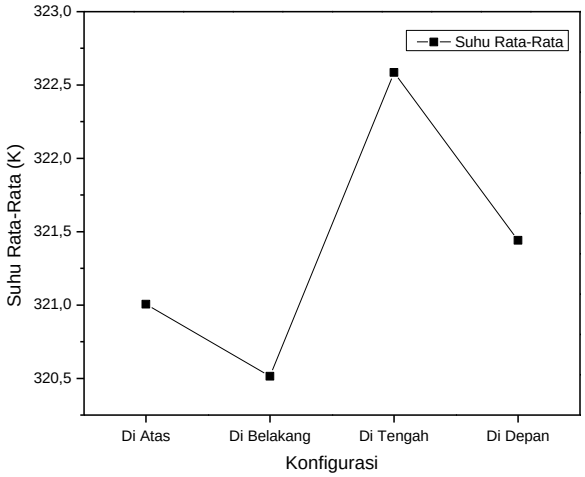
Tabel 3. Hasil Simulasi

Kondisi	Temperatur Rata-Rata (K)
FCU diatas peralatan	321.005
FCU dibelakang kompartemen	320.515
FCU ditengah kompartemen	322.586
FCU didepan kompartemen	321.441

Berdasarkan data yang diberikan, terdapat perbedaan temperatur rata-rata antara empat skenario penempatan FCU. Pada skenario FCU di atas peralatan, temperatur rata-rata mencapai 321.005 K, sementara pada skenario FCU di belakang kompartemen temperatur rata-rata adalah 320.515 K. Temperatur rata-rata tertinggi tercatat pada skenario FCU ditengah kompartemen, yaitu sebesar 322.586 K, sedangkan skenario FCU didepan kompartemen memiliki temperatur rata-rata sebesar 321.441 K.

Perbedaan temperatur rata-rata ini menunjukkan bahwa penempatan FCU memiliki pengaruh terhadap distribusi temperatur di sekitar peralatan. Penempatan FCU di tengah kompartemen cenderung menghasilkan temperatur rata-rata yang lebih tinggi, sedangkan penempatan FCU di belakang kompartemen memiliki temperatur rata-rata yang sedikit lebih rendah. Penempatan FCU di atas peralatan dan didepan kompartemen memiliki temperatur rata-rata yang relatif serupa.

Namun, perlu digaris bawahi bahwa analisis temperatur rata-rata ini hanya memberikan gambaran awal, dan faktor-faktor lain seperti aliran udara, distribusi panas, dan kebutuhan spesifik sistem perlu diperhatikan dalam mengevaluasi penempatan FCU yang optimal. Data temperatur maksimum juga perlu dipertimbangkan untuk memastikan bahwa temperatur di sekitar peralatan tetap dalam batas yang aman.



Gambar 4 Perbandingan Hasil Simulasi

Dalam keseluruhan, analisis data menunjukkan bahwa setiap skenario penempatan FCU memiliki perbedaan temperatur rata-rata, dan pemilihan penempatan FCU harus didasarkan pada pertimbangan yang komprehensif termasuk efisiensi pendinginan, distribusi udara, kebutuhan peralatan, dan persyaratan operasional yang spesifik. Namun, pada skenario FCU di tengah kompartemen, terlihat bahwa temperatur maksimum mencapai 322.586 K, yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan skenario lainnya. Hal ini menandakan bahwa penempatan FCU di tengah kompartemen mungkin tidak memberikan pendinginan yang optimal untuk peralatan. Kemungkinan adanya hambatan aliran udara atau ketidakteraturan aliran udara di sekitar peralatan perlu diperhatikan untuk memastikan temperatur tetap dalam batas yang aman.

Secara keseluruhan, analisis data menunjukkan bahwa penempatan FCU di atas peralatan dan dibelakang kompartemen memiliki temperatur rata-rata yang lebih baik dibandingkan dengan penempatan FCU di tempat lainnya. Namun, perlu diingat bahwa hasil simulasi ini perlu diverifikasi dan dianalisis lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti aliran udara, distribusi panas, dan persyaratan operasional yang spesifik untuk memastikan pemilihan penempatan FCU yang optimal dalam sistem HVAC di ruangan kamar mesin kapal. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa semakin dekat dengan saluran udara masuk, pendinginan FCU lebih optimal pada kondisi tersebut. Fenomena ini diakibatkan karena terjadi pertukaran panas secara instan dan menyeluruh untuk kapasitas udara yang masuk.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa terdapat perbedaan temperatur rata-rata antara empat skenario penempatan FCU, dengan FCU di tengah kompartemen memiliki temperatur rata-rata tertinggi dan FCU di belakang kompartemen memiliki temperatur rata-rata terendah. Penempatan FCU di atas peralatan dan di depan kompartemen menunjukkan temperatur rata-rata yang relatif serupa. Semakin dekat dengan saluran masuk udara pendinginan dari FCU semakin efektif. Selain itu penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti aliran udara, distribusi panas, dan persyaratan operasional yang spesifik dalam memilih penempatan FCU yang optimal.

Saran

Dari hasil simulasi diatas disarankan untuk mendesain sistem udara didalam kamar mesin yang efektif untuk kapal yang beroperasi pada temperatur ekstrim. Sistem tersebut yaitu dengan membedakan antara saluran udara pembakaran dan saluran udara untuk pendinginan peralatan. Untuk temperatur udara luar yang cukup tinggi, udara pembakaran dapat dibuatkan saluran tersendiri yang langsung menuju pada turbocharger dari mesin sehingga tidak diambil dari udara didalam ruangan. Hal ini dilakukan agar kapasitas pendinginan dari sistem HVAC tidak terlalu besar.

REFERENSI

Adanta, D., Fattah, I. M. R., & Muhammad, N. M. (2020). Comparison of Standard k-epsilon AND SST k-omega Turbulence Model For Breastshot Waterwheel Simulation. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, *7*(2), 039–044. https://doi.org/10.36706/JMSE.V7I2.44

Cao, Q., Liu, M., Li, X., Lin, C. H., Wei, D., Ji, S., Zhang, T. (Tim), & Chen, Q. (2022). Influencing factors in the simulation of airflow and particle transportation in aircraft cabins by CFD. *Building and Environment*, *207*. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108413

Eça, L., & Hoekstra, M. (2014). A procedure for the estimation of the numerical uncertainty of CFD calculations based on grid refinement studies. *Journal of Computational Physics*, *262*, 104–130. https://doi.org/10.1016/J.JCP.2014.01.006

George, J. A., & Saha, S. K. (2021). Coupled Computation Fluid Dynamics Models for Air Flow and Thermal Analysis of Marine Engine Room. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, *13*(5). https://doi.org/10.1115/1.4049871

Ke, M. T., Weng, K. L., & Chiang, C. M. (2007). Performance evaluation of an innovative fan-coil unit: Low-temperature differential variable air volume FCU. *Energy and Buildings*, *39*(6), 702–708. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2006.06.011

Kinaci, O. K., Sukas, O. F., & Bal, S. (2016). Prediction of wave resistance by a Reynolds-averaged Navier-Stokes equation-based Computational Fluid Dynamics approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, *230*(3), 531–548. https://doi.org/10.1177/1475090215599180

Kumar, N., Kubota, T., Tominaga, Y., Shirzadi, M., & Bardhan, R. (2021). CFD simulations of wind-induced ventilation in apartment buildings with vertical voids: Effects of pilotis and wind fin on ventilation performance. *Building and Environment*, *194*. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107666

Lin, C. M., Liu, H. Y., Tseng, K. Y., & Lin, S. F. (2019). Heating, Ventilation, and Air Conditioning System Optimization Control Strategy Involving *Fan Coil Unit* Temperature Control. *Applied Sciences 2019, Vol. 9, Page 2391*, *9*(11), 2391. https://doi.org/10.3390/APP9112391

Newton, W., Lewis, M., Carswell, D., Lavery, N. P., Evans, B., Bould, D., & Sienz, J. (2014). Investigating the thermal profile of a marine vessel engine room through simulation with field measurements. *Applied Thermal Engineering*, *73*(1), 1360–1370. https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2014.09.019

Noori, R., Tian, F., Berndtsson, R., Abbasi, M. R., Naseh, M. V., Modabberi, A., Soltani, A., & Kløve, B. (2019). Recent and future trends in sea surface temperature across the persian gulf and gulf of Oman. *PLoS ONE*, *14*(2), 1–19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212790

Pérez, J. A., Orosa, J. A., & Grueiro, T. (2016). A three-dimensional CFD simulation study to reduce heat stress in ships. *Applied Thermal Engineering*, *94*, 413–421. https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2015.11.001

Wang, C., Chen, Z., Tian, Z., -, al, Wang, H., Meng, H., Ju, R., Wijaya Sunu, P., Simon Anakottapary, D., Mulawarman, A., M Cipta Santosa, I. D., & Putu Sastra Negara, I. (2018). Heat Transfer Characteristics of *Fan Coil Unit* (FCU) Under The Effect of Chilled Water Volume Flowrate. *Journal of Physics: Conference Series*, *953*(1), 012058. https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012058

Wang, I. T. (2014). Numerical and experimental verification of finite element mesh convergence under explosion loading. *Journal of Vibroengineering*, *16*(4), 1786–1798.

Yuan, F. D., & You, S. J. (2007). CFD simulation and optimization of the ventilation for subway side-platform. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *22*(4), 474–482. https://doi.org/10.1016/J.TUST.2006.10.004

Zhang, X., Weerasuriya, A. U., & Tse, K. T. (2020). CFD simulation of natural ventilation of a generic building in various incident wind directions: Comparison of turbulence modelling, evaluation methods, and ventilation mechanisms. *Energy and Buildings*, *229*. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110516

Zhao, H. L., Peng, K., Zhang, W. H., Fan, Y. Z., & Jie, J. L. (2019). *Initialization* Method of Nozzle Flow Field Based on One-Dimensional Isentropic Theory and the Study of Its

Application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *608*(1), 012012. https://doi.org/10.1088/1757-899X/608/1/012012

Zhou, L., Gao, J., Hu, C., & Li, Q. (2021). Numerical simulation and testing verification of the interaction between track and sandy ground based on discrete element method. *Journal of Terramechanics*, *95*, 73–88. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2021.03.002