

## Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan

I Putu Widiarta<sup>1)\*</sup>, Made Suarda<sup>2)</sup>, Made Sucipta<sup>3)</sup>, I Gusti Ketut Sukadana<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana Kampus Sudirman, Denpasar Bali, email: [widiartakajos@gmail.com](mailto:widiartakajos@gmail.com)

<sup>2,3,4)</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana Kampus Bukit JimbaranBadung, Bali, email: [made.suarda@unud.ac.id](mailto:made.suarda@unud.ac.id), [m.sucipta@unud.ac.id](mailto:m.sucipta@unud.ac.id), [igksukadana@unud.ac.id](mailto:igksukadana@unud.ac.id)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2022.v08.i02.p03>

### Abstrak

Klinik kesehatan merupakan fasilitas pelayanan kesehatan. Klinik kesehatan adalah bangunan yang penuh dengan sumber infeksi, terutama infeksi melalui udara. Pengendalian infeksi virus melalui udara dapat dilakukan dengan kontrol *engineering* yaitu dengan penambahan sistem ventilasi dan untuk mencapai kenyamanan termal ruangan maka dibutuhkan sistem pengkondisian udara. Penambahan sistem ventilasi mekanis berupa *exhaust fan* dan *inflow* membuat adanya sirkulasi udara dimana udara segar dimasukkan melalui saluran *inflow* dan udara kotor dikeluarkan melalui saluran *exhaust fan* sehingga resiko penularan virus melalui udara dapat diminimalkan. Pola aliran dari sirkulasi udara penting dilakukan analisis karena agen infeksius yang ringan cenderung mengikuti pola aliran. Untuk mengetahui pola aliran dan pengaruh dari jumlah *exhaust fan* serta sudut *flapper* AC dilakukan dengan metode simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) serta dilakukan pengujian secara eksperimen yaitu pengukuran tekanan dan temperatur serta kelembaban udara relatif. Variasi sudut *flapper* AC pada pengujian tanpa penambahan sistem ventilasi memberikan pengaruh terhadap *input* aliran sehingga titik-titik *vortex* terjadi pada posisi yang berbeda-beda. Sedangkan sudut *flapper* AC pada penambahan sistem ventilasi tidak dominan memberikan pengaruh terhadap pembentukan pola aliran. Penambahan *inflow* dan *exhaust fan* menunjukkan terjadi *superposition flow*. Sedangkan variasi jumlah *exhaust fan* menunjukkan semakin banyak jumlah *exhaust fan* maka kecepatan aliran udara diruangan menjadi meningkat dan tekanan udara ruangan menurun serta sirkulasi aliran dalam ruangan menjadi lebih merata.

**Kata kunci:** Sistem ventilasi, Simulasi CFD, Tekanan dan Temperatur.

### Abstract

The health clinic is facilities of health service. A health clinic is building fully on the infection source, especially airborne infection. The spread of virus control from the air can perform by engineering control such as added mechanical ventilation system and to reach the thermal comfort, a system of air conditioning is needed. In addition, a mechanical ventilation system that is an exhaust fan dan inflow can create the air circulation where fresh air enters through inflow channels and dirty air goes out through exhaust fan channels, so the risk of airborne infection can be reduced. The airflow pattern from air circulation is important for analysis because infectious agents which are light in weight that tend to follow the airflow pattern. To find out the airflow pattern and influence from variations of the number of exhaust fans as well as the angle of the AC flapper, it is done using the CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

simulation method and carried out experimental tests, namely the measurement of pressure and temperature. The angle of the AC flapper tested without added ventilation system influenced the input of stream from AC blower then, the position of vortex had indifference location. While the angle of the AC flapper tested with the additional mechanical ventilation system did not influence airflow pattern formation. Added inflow dan exhaust fan showed the occurrence of the superposition flow. While the more of the number exhaust fans shows, the velocity of air in the room increases and the indoor pressure is decreasing as well as the air circulation in the room becomes more equally.

**Keywords:** *Ventilation system, CFD simulation, pressure and temperature.*

## 1. PENDAHULUAN

Klinik merupakan fasilitas pelayanan kesehatan dengan menyediakan pelayanan medis dasar dan/atau spesialis. Klinik atau rumah sakit adalah bangunan yang penuh dengan berbagai sumber penyakit dan sumber infeksi [1]. Oleh karena itu, perlu diperhatikan pengendalian penyebaran infeksi salah satunya yaitu infeksi melalui udara. Hal yang dapat dilakukan untuk mengendalikan penyebaran virus melalui udara (*airborne*) yaitu dengan mengoptimalkan sistem tata udara bangunan klinik kesehatan [2].

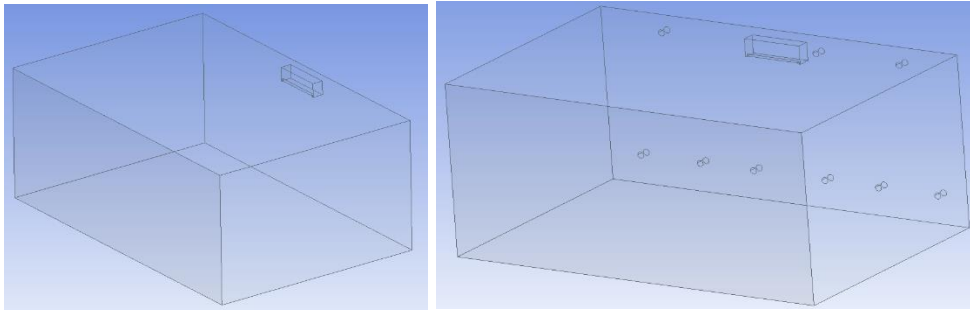
Namun kenyataannya pada bangunan atau ruangan klinik-klinik kesehatan yang telah ada baru hanya terbatas dilengkapi dengan AC (*Air Conditioning*) yang berfungsi untuk mengatur temperatur ruangan (kenyamanan termal), dimana udara yang ada di dalam ruangan tersebut terus-menerus disirkulasikan dengan dibantu *flapper* AC untuk mengarahkan aliran *blower* AC serta adanya infiltrasi dan exfiltrasi melalui celah-celah pada ruangan. Sehingga, jika ada polutan/*pathogen* seperti debu, bakteri atau virus tersebut terus menerus bersirkulasi di dalam ruangan [3]. Tentunya kondisi tersebut sangat membahayakan pasien dan/atau tenaga medis yang ada dalam ruangan tersebut terhadap kemungkinan terjadinya penularan penyakit, seperti virus Corona yang sedang melanda dunia saat ini.

Untuk meminimalkan resiko penularan virus, dapat dilakukan dengan cara mendesain tata ruangan klinik dan ventilasi udara sehingga risiko penularan melalui *airborne* ataupun *droplet* dapat dikurangi [4]. Terbentuknya pola aliran udara di dalam ruang klinik kesehatan akibat penambahan pertukaran udara oleh *inflow* dan *exhaust fan* penting untuk dianalisis karena partikel virus yang menyebar melalui udara cenderung mengikuti pola aliran sehingga tata letak sistem ventilasi dan fasilitas dalam klinik menyesuaikan dengan pola aliran yang terbentuk dalam ruang klinik [5]. Untuk mengetahui sirkulasi serta pola aliran udara yang dihasilkan oleh AC dan *fan* di dalam ruangan bisa didapatkan dengan cara mensimulasikan CFD (*computational fluid dynamic*). CFD sangat relevan digunakan untuk mendapatkan hasil sirkulasi udara, distribusi temperatur dan distribusi tekanan yang terjadi didalam ruangan [6]. Dengan demikian maka penting dilakukan penelitian tentang analisis pola aliran udara dengan penambahan pertukaran udara dengan memvariasikan jumlah *exhaust fan*.

## 2. METODE

### 2.1 Geometri Simulasi CFD

Geometri yang digunakan untuk simulasi adalah *negative part* atau domain fluida saja tanpa ada solid. Teknik simulasi CFD dengan *negative part* bertujuan untuk menghemat jumlah *mesh* sehingga proses iterasi menjadi lebih cepat dan memori yang dibutuhkan semakin sedikit. Geometri fluida yang digunakan yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



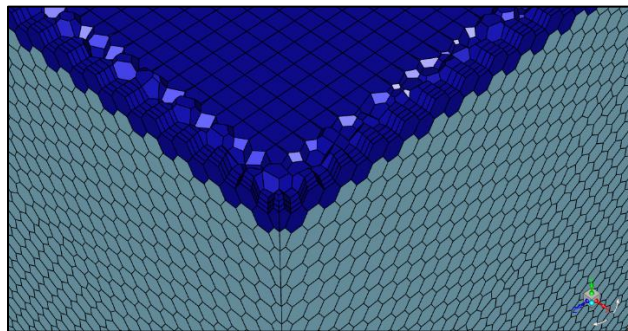
Gambar 1. Domain fluida.

Dimensi geometri simulasi menggunakan dimensi dari klinik yang digunakan sebagai objek pada penelitian ini yaitu Bayu Suta Medical Service dengan dimensi ruang tindakan yang dipilih yaitu: 4 x 4.8 x 2.80m dengan demikian besar dimensi dari domain fluid mengikuti besar dimensi dari ruang tindakan klinik kesehatan yang dipilih.

Sementara itu, diameter *inflow channels* dan *exhaust fan channels* adalah 0.1m. Selanjutnya variasi jumlah *exhaust fan* yaitu: 2, 4 dan 6, sedangkan jumlah *inflow* tetap yaitu 3.

## 2.2. Meshing

Meshing adalah proses pencacahan domain fluida menjadi *grid*. Jumlah *grid* dari mesh sangat mempengaruhi hasil simulasi yaitu nilai konvergensi dan akurasi hasil. Dengan semakin kecil ukuran *grid* dari *mesh* maka hasil simulasi menjadi lebih *smooth* dan akurasi menjadi tinggi serta nilai standar konvergensi dapat dicapai. Pada penelitian ini *mesh* yang digunakan adalah *mesh* tipe poly-hexcore dimana *mesh* ini merupakan *mesh* kombinasi antara *mesh* tipe polyhedral dan hexcore. Kelebihan *mesh* poly hexcore adalah jumlah *mesh* yang relatif lebih sedikit serta akurasi tinggi dengan demikian akurasi hasil menjadi tinggi serta waktu komputasi menjadi lebih cepat. Hasil mesh tipe poly hexcore ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Mesh tipe poly-hexcore.

Gambar 2 menunjukkan mesh tipe poly hexcore dengan settingan yaitu: *minimum cells length* adalah 0,005859m dan *maximum cells length* adalah 0,04687m.

## 2.3 Persamaan Kendali Komputasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Untuk mensimulasikan aliran fluida digunakan *software* Ansys Fluent dimana untuk mensimulasikan gerakan fluida menggunakan beberapa persamaan kendali diantaranya adalah persamaan kontinuitas [7]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (1)$$

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk men-*solve* kekekalan momentum x, y dan z adalah persamaan Navier-Stokes [7]:

Momentum kearah x:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \nabla(\mu \text{ grad } u) + S_{mx} \quad (2)$$

Momentum kearah y:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla(\rho u \mathbf{v}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \nabla(\mu \text{ grad } v) + S_{my} \quad (3)$$

Momentum kearah z:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla(\rho u \mathbf{w}) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \nabla(\mu \text{ grad } w) + S_{mz} \quad (4)$$

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan kekekalan energi adalah [7]:

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \nabla(\rho i \mathbf{u}) = -P \nabla u + \nabla(k \text{ grad } T) + \Phi + s_i \quad (5)$$

Persamaan kendali yang digunakan dalam *software* Ansys Fluent adalah untuk menyelesaikan perhitungan kekekalan momentum, masa dan energi.

Sedangkan model turbulensi yang digunakan adalah model turbulen RANS (Reynolds Average Navier Stokes) yaitu K-Epsilon. Dimana model energi turbulen (K) yaitu [ 8]

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (6)$$

Sedangkan untuk model disipasi turbulen yaitu [8]

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C1_\varepsilon \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} - C2_\varepsilon \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

Dimana x adalah koordinat sumbu arah x,  $\rho$  adalah densitas fluida,  $E_{ij}$  adalah laju deformasi,  $\mu_t$  adalah viskositas *eddy*. Persamaan untuk menghitung viskositas *eddy* adalah [8]

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

Persamaan 8 mengandung konstanta yang bisa diatur  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$ ,  $C1_\varepsilon$ ,  $C2_\varepsilon$ . Nilai konstanta ini dapat diturunkan dengan sejumlah *fitting* untuk *range* lebar aliran turbulen yaitu:  $C_\mu=0,09$ ;  $\sigma_k= 1,0$ ;  $\sigma_\varepsilon= 1,3$ ;  $C1_\varepsilon= 1,44$ ;  $C2_\varepsilon=1,92$ .

## 2.4 Metode Solusi

Metode solusi atau *solver* yang digunakan pada simulasi ini yaitu skema SIMPLE (*Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation*), yang merupakan prosedur numerik untuk penyelesaian persamaan Navier-Stokes yang menggunakan hubungan antara kecepatan dan tekanan untuk mendapatkan nilai konservasi massa dan nilai bidang tekanan. Persamaan tekanan dikoreksi untuk menghitung satu set fluks konservatif. Persamaan momentum yang telah terdiskritisasi diselesaikan secara implisit dan koreksi kecepatan diselesaikan secara eksplisit [9].

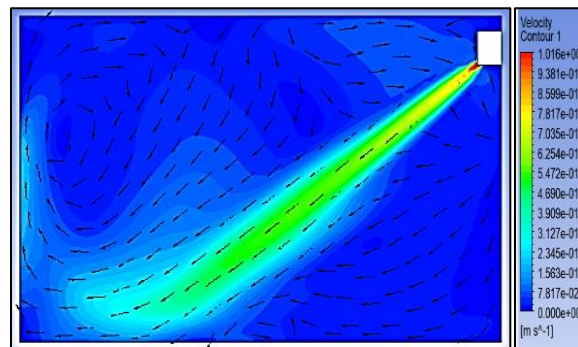
## 2.5 Konvergensi

Konvergensi dari simulasi merupakan nilai error atau residu dari hasil perhitungan numerik pada proses komputasi berlangsung. Ansys telah menstandarkan nilai dari konvergensi untuk masing-masing variabel *fluid flow* yaitu: energy, kontinuitas, kecepatan x, y dan z, energi kinetik turbulen dan disipasi energi turbulen yaitu minimal harus mampu mencapai  $10^{-3}$  [10, 11].

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Simulasi CFD Tanpa Penambahan Pertukaran Udara

Simulasi CFD ruang tindakan klinik kesehatan yang tanpa penambahan *exhaust fan* dan *inflow* dilakukan dengan memvariasikan sudut *flapper* dari AC (*Air Conditioning*) yaitu  $40^\circ$   $50^\circ$  dan  $60^\circ$ . Hasil simulasi ruang tindakan yang tanpa penambahan pertukaran udara ditunjukkan seperti Gambar 4.

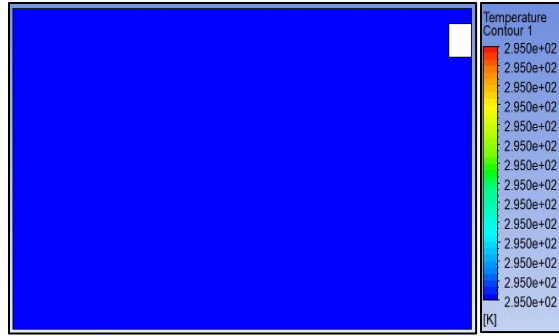


Gambar 4. Hasil Simulasi CFD Tanpa Penambahan Pertukaran Udara.

Gambar 4 menunjukkan fenomena aliran udara di ruang tindakan klinik kesehatan yang tanpa penambahan pertukaran udara. Aliran dari blower AC dihembuskan kemudian mengenai lantai ruangan, selanjutnya udara bergerak mengenai dinding ruangan dan selanjutnya aliran udara membentuk *vortex*.

Sirkulasi aliran yang terus menerus di dalam ruangan tanpa adanya pergantian udara dapat meningkatkan risiko penularan virus melalui udara (*airborne infection*) hal ini disebabkan karena pergerakan partikel *airborne* yang ringan cenderung mengikuti pola aliran udara yang terbentuk di dalam ruangan. Dengan demikian maka dibutuhkan pergantian udara untuk meminimalkan risiko penularan virus melalui udara.

Kemudian hasil simulasi yaitu kontur temperatur didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.

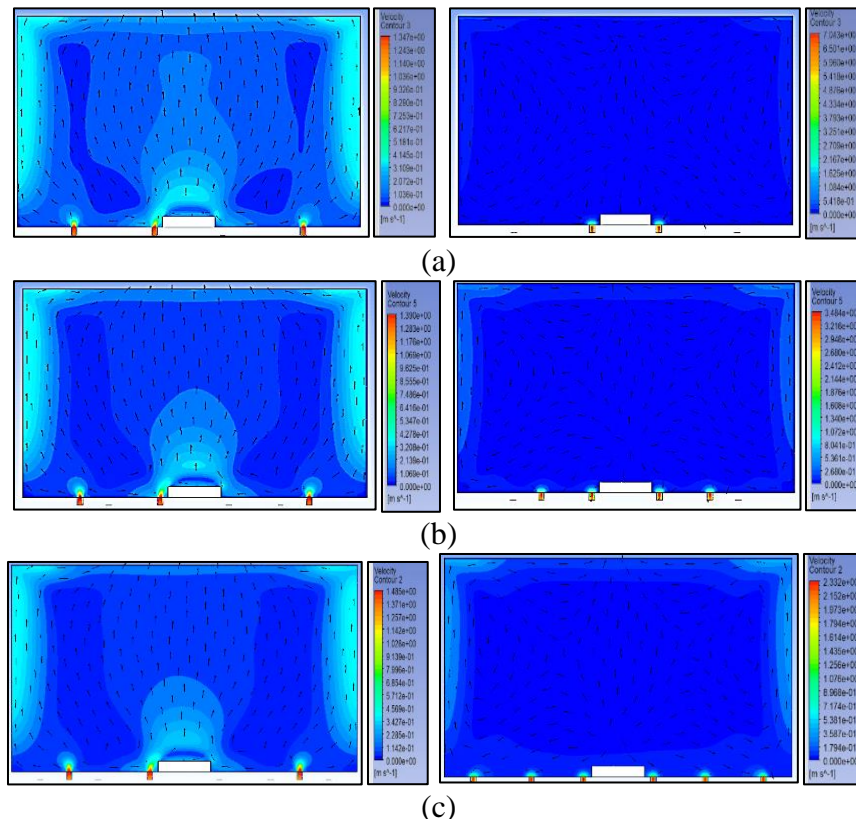


Gambar 5. Kontur temperatur.

Gambar 5 menunjukkan nilai kontur temperatur ruangan, dimana nilai temperatur ruangan adalah 295K atau 22°C. Nilai temperatur ruangan menghasilkan nilai temperatur udara dari *blower* AC yaitu 22°C.

### 3.2 Simulasi CFD Dengan Penambahan Pertukaran Udara dan Variasi Jumlah *Exhaust Fan*

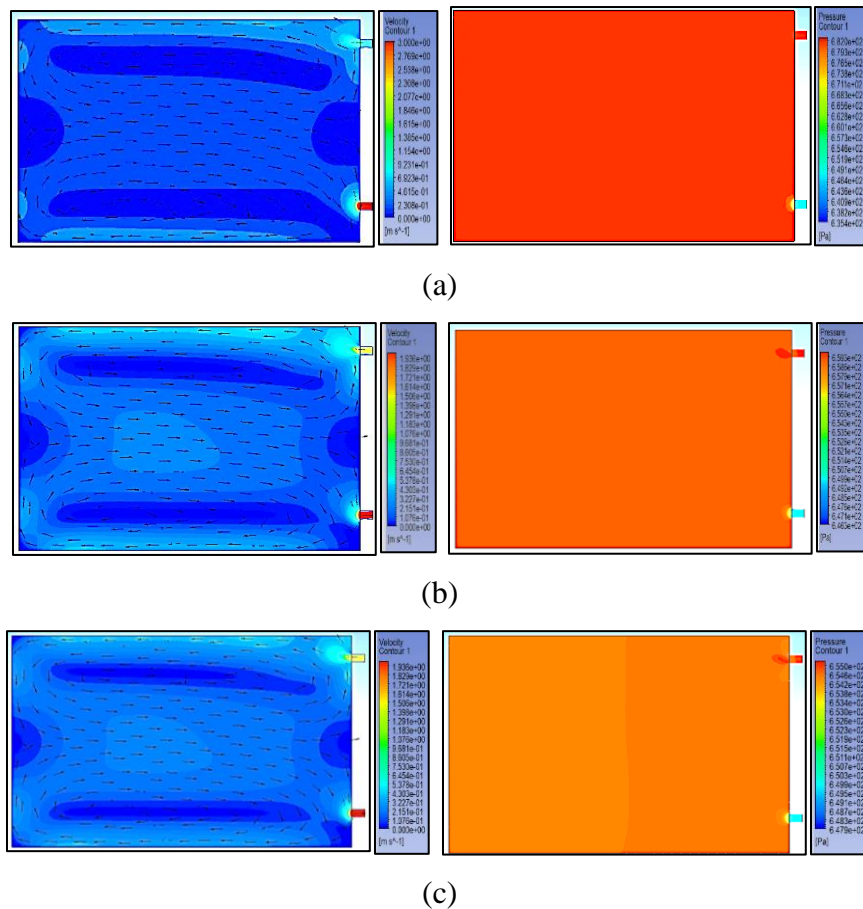
Simulasi CFD dengan penambahan pertukaran udara melalui *inflow* dan *exhaust fan* serta menyalakan AC dan dengan variasi jumlah *exhaust fan* yaitu 2, 4 dan 6 dimana hasil simulasi yaitu kontur kecepatan pada posisi *plane inflow* dan *plane exhaust fan (horizontal)* ditunjukkan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Kontur dan vektor kecepatan pada posisi *plane exhaust fan* dan *inflow (horizontal)*. (a) 2 *exhaust fan* dengan AC, (b) 4 *exhaust fan* dengan AC, (c) 6 *exhaust fan* dengan AC.

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi CFD pada posisi *plane exhaust fan* dan *inflow*. Variasi 6 *exhaust fan* menghasilkan hisapan udara yang lebih merata terlihat dari Gambar 6 (c) bahwa variasi 6 *exhaust fan* menyebabkan udara ruangan bergerak menuju ke masing-masing sisi *suction exhaust fan* sehingga pengeluaran udara kotor ruang menuju ke luar ruangan menjadi lebih optimal. Sedangkan dari sisi *inflow*, variasi 6 *exhaust fan* menghasilkan kecepatan udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 2 dan 4 *exhaust fan*. Dengan demikian variasi 6 *exhaust fan* menyebabkan siklus pergantian udara ruangan menjadi lebih cepat.

Selanjutnya hasil simulasi yaitu kontur kecepatan dan kontur tekanan (*vertical plane*) dengan penambahan *exhaust fan* dan *inflow* dengan menyalakan AC ditunjukkan seperti pada Gambar 7.

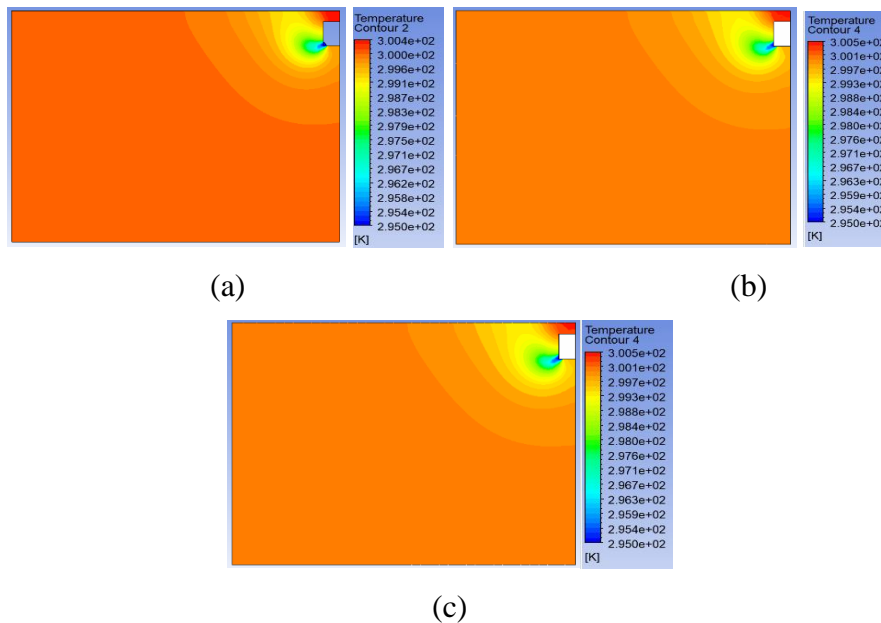


Gambar 7. Kontur kecepatan pada posisi *plane exhaust fan* dan *inflow* (*vertical*). (a) 6 *exhaust fan* dengan AC, (b) 4 *exhaust fan* dengan AC, (c) 2 *exhaust fan* dengan AC.

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi kontur kecepatan penambahan pertukaran udara di ruang tindakan klinik kesehatan. Udara yang masuk melalui *inflow* (*fresh air*) bersirkulasi terlebih

dahulu sebelum di keluarkan bersamaan dengan udara yang sudah tersedia dalam ruangan. Sehingga selama *exhaust fan* dan *inflow* di operasikan maka pergantian udara (udara lama dengan *fresh air*) terus terjadi. Dengan adanya pertukaran udara maka risiko penularan virus melalui udara dapat diminimalkan karena udara ruangan yang kotor (dengan kemungkinan terkontaminasi virus) dikeluarkan oleh *exhaust fan* dan udara segar (*fresh air*) dimasukkan secara natural melalui saluran *inflow*. Sedangkan variasi *exhaust fan* menyebabkan terjadi perbedaan nilai kecepatan udara didalam ruangan dimana semakin banyak jumlah *exhaust fan* yang terpasang menghasilkan nilai kecepatan aliran yang paling tinggi. Sedangkan nilai tekanan menjadi menurun akibat semakin banyak masa udara yang dikeluarkan per satuan waktu, sehingga variasi 6 *exhaust fan* menghasilkan nilai tekanan yang paling rendah dibandingkan dengan variasi 2 dan 4 *exhaust fan*. Secara umum, penurunan nilai tekanan akibat variasi *exhaust fan* menghasilkan penurunan nilai yang tidak signifikan.

Selanjutnya hasil simulasi yaitu kontur temperatur didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Kontur temperatur. (a) 2 *exhaust fan* dengan AC, (b) 4 *exhaust fan* dengan AC, (c) 6 *exhaust fan* dengan AC.

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi yaitu kontur temperatur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan pertukaran udara menyebabkan terjadi peningkatan nilai temperatur udara ruangan. Sedangkan variasi *exhaust fan* 6 dan 4 menghasilkan nilai temperatur udara ruangan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak jumlah udara dengan temperatur yang lebih tinggi dimasukkan melalui *inflow* serta udara dingin dengan cepat dikeluarkan oleh *exhaust fan*.



#### 4. SIMPULAN

Penambahan pertukaran udara melalui *inflow* dan *exhaust fan* pada ruang tindakan klinik kesehatan menyebabkan terjadi perubahan pola aliran yaitu *vortex* akibat dari sikulasi AC menjadi dapat dikurangi dan menjadi *superposition flow*. Semakin banyak jumlah *exhaust fan* yang terpasang menghasilkan nilai kecepatan udara yang semakin tinggi sedangkan semakin banyak jumlah *exhaust fan* nilai tekanan udara ruangan menjadi menurun. Selain itu penambahan pertukaran udara menyebabkan temperatur udara ruangan menjadi meningkat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis ucap kepada Program Studi Teknik Mesin dan Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana karena telah memfasilitasi penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laimore, S, Stone, K, E, Huang, R, McLeight, C 2021, 'Infectious screening in a dedicated primary care clinic for children in foster care', *Child Abuse & Neglect*, vol. 117, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chiabu.2021.105074>.
- [2] Deng, X, Gong, G, He, X, Shi, X, Mo, L 2021, 'Control of exhaled SARS CoV-2-laden aerosol in the interpersonal breathing microenvironment in a ventilated room with limited space air stability', *Journal of Environmental Science*, pp. 1-29, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.025>.
- [3] Jiang, L, Isabel, H. L. N, Yan, H, Dunli, L, Linda, L. W. L. T, Hanley, J. A. H, Mark, I. C. E 2018, 'Infectious disease transmission: Survey of contact between hospital-base healthcare worker and working adult from the general population', *Journal of Hospital Infection*, vol. 98, pp. 404-411, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2017.10.020>.
- [4] Zhou, Y & Ji, S 2021, 'Experimental and numerical study on the transport of droplet aerosol generated by occupants in fever clinic', *Building and Environment*, vol. 187, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107402>.
- [5] Cheong, C. H, Park, B, Ryu, S. R 2021, 'Effect of under-floor air distribution system to prevent the spread of airborne pathogen in classrooms', *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28.
- [6] Shirzadi, M, Mirzaei, P. A, Tominaga, Y 2020, 'RANS model calibration using stochastic optimization for accuracy improvement of urban air flow CFD modeling', *Journal of Building Engineering*, vol. 32, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101756>.
- [7] Versteeg H. K, Malalasekera, W 2009, 'An introductions to computational fluid dynamics', second edition, Pearson Education.
- [8] Aero Engineering 2019, 'Pengenalan-computational-fluid-dynamics-CFD', Aero Engineering.co.id, viewed 20 Oktober 2020.
- [9] Anderson, J. D. Jr 1995, 'Computational fluid dynamic: The basic with application'. McGraw Hill, international edition.

- [10] Dinham, T. A, Craddock, C, Lebas, A, Ganguly, A 2008, 'Use of cfd for hull form appendage design assessment on offshore patrol vessel and identification of wake focusing effect', *RINA Marine CFD Conference*, Southampton, UK.
- [11] Prasetyo, A. B, Fauzun, Azmi, A. A, Pamuji, D. S, Yaqin, R. I 2018, 'Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendingin Mold Injeksi Produk Plastik', *Proseding National Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, ISSN: 1907-5995, pp. 400-406.