

Analisis Pola Aliran dan Tekanan Udara Ruang Dengan Penambahan Sistem Ventilasi Mekanis – CFD dan Eksperimen

I Putu Widiarta^{1)*}

¹⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali, email: iputuwidiarta@unud.ac.id

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2024.v10.i01.p03>

Abstract

Ventilasi merupakan suatu siklus pergantian udara didalam ruangan baik secara alami ataupun mekanis. Laju ventilasi di disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terjadi, akibat dari peredaan tekanan menyebabkan udara mampu mengalir/bergerak kearah tertentu sesuai titik dari perbedaan tekanan. Ventilasi dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu ventilasi mekanis dan ventilasi alami. *Fan* dimanfaatkan untuk membuat peneomena perbedaan tekanan udara dengan demikian udara dapat bergerak masuk maupun keluar ruangan dan membentuk pola aliran udara. Untuk mengetahui pola aliran udara dilakukan dengan simulasi CFD dengan *flow time* yaitu transien, dan nilai distribusi tekanan diukur secara ekerimen menggunakan *pressure transducer*. Penambahan venilasi mekanis menyebabkan terjadi pertukaran udara dan terbentuknya fenomena *superposition flow* pada *indoor* ruangan. penurunan tekanan udra ruangan indoor air pressure akibat penambahan ventilasi mekanis dengan nilai ACH 6,7 tidak terlalu signiikan dan masih memenuhi standar kenyamanan manusia (*occupant*) untuk melakukan aktivitas pernafasan.

Kata Kunci: Ventilasi Mekanis, CFD transien, Pola Aliran dan Tekanan Udara.

Abstract

Ventilation is a cycle of changing air in a room either naturally or mechanically. Ventilation rate caused by pressure different, as a result of pressure relief causing the air to be able flow or move in certain direction according to the point of pressure different. Ventilation can classification into 2 types, namely mechanical ventilation and natural ventilation. Addition of fan can create a difference in air pressure between indoor and outdoor rooms that the air can move in and out the room. The flowing air can shape a flow pattern, to determine the air flow pattern, a CFD simulation is carried out with flow time, which is transient, and the pressure distribution measured by experimental using a pressure transducer. The addition of mechanical ventilation causes air exchange and the formation of superposition flow phenomenon at indoor room. The decrease indoor air pressure due to addition of mechanical ventilation with an ACH value 6.7 is not too significant and steel meet human comfort standard for carrying out respiratory activities.

Keywords: Mechanical Ventilation, Transient CFD, Flow Pattern and Air Pressure.

1. Pendahuluan

Ventilasi merupakan suatu siklus pergantian udara didalam ruangan baik secara alami ataupun mekanis. Dengan adanya pergantian udara didalam ruangan maka kualitas udara bisa

Penulis korespondensi,
Email: iputuwidiarta@unud.ac.id

ditingkatkan, secara umum ventilasi digunakan untuk memperbaiki kualitas udara baik kualitas secara kimia. Laju ventilasi di disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terjadi, akibat dari perbedaan tekanan menyebabkan udara mampu mengalir/bergerak kearah tertentu sesuai titik dari perbedaan tekanan. Ventilasi dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu ventilasi mekanis dan ventilasi alami. Ventilasi alami adalah ventilasi yang pergerakan udara secara alami (*natural*) sedangkan ventilasi mekanis adalah ventilasi yang membutuhkan bantuan mesin untuk memaksa terjadi pergerakan udara [1].

Ventilasi udara bermanfaat untuk mensirkulasikan udara ataupun menngati udara ruangan dengan *fresh air* secara paksa (*force*) dan alami (*natural*). ACH (*air change hour*) merupakan nilai laju pertukran udara. Nilai ACH yang dihasilkan leh sistem ventilasi harus memenuhi standar fungsi dari ruangan [2] dengan demikian, untuk mencapai nilai ACH yang telah distandarkan maka penambahan *fan* dapat membantu menambah *supply* udara atau pertukaran udara ruangan. Sistem ventilasi mekanis bertujuan untuk memperbaiki kualitas udara ruangan serta dapat mengendalikan dan/mengurangi risiko penyebaran agen infeksius melalui udara (*air borne*) [3].

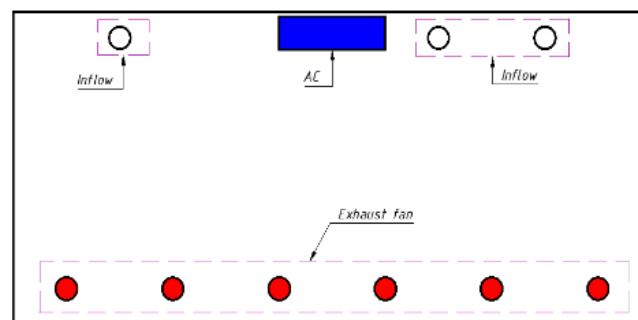
Fan dimanfaatkan untuk menciptakan perbedaan tekanan udara, dengan adanya perbedaan nilai tekanan meyebabkan udara dapat bergerak dari tekanan yang lebih tinggi menuju ke nilai tekanan udara yang lebih rendah. Pola aliran udara yang terbentuk akibat dari sirkulasi udara ruang penting untuk dianalisis akibat pergerakan dari agen partikel infeksius yang dapat menginfeksi melauai udara (*air borne*) cenderung mengikuti pola aliran yang terbentuk dari sirkuasi udara sehingga keberadaan sistem ventilasi ruangan sangat penting untuk pencegahan penyebaran agen infeksius melalui udara [4]. Pola aliran udara yang terbentuk dari sirkulasi dapat diketahui dan dianalisisa dengan metode simulasi CFD (*computational fluid dynamic*) [5].

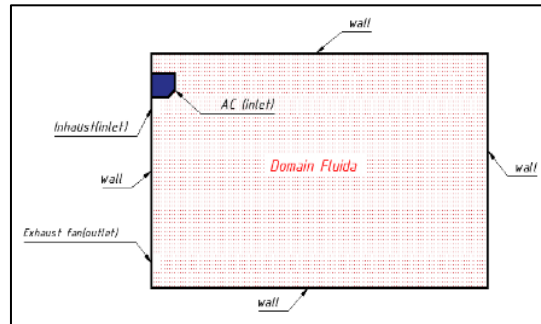
Kapasitas *exhaust fan* yang terpasang dapat mempengaruhi nilai kecepatan sirkulasi aliran didalam ruangan, dengan demikian maka nilai ACH (*Air Change Hour*) juga akan terpengaruhi, semakin besar nilai laju ventilasi maka nilai ACH menjadi meningkat. Laju ventilasi menyebabkan terjadi pertukaran masa udara *indoor* dengan udara *outdoor* sehingga nilai tekanan udara *indoor* terjadi perubahan [6]. Perubahan nilai tekanan udara *indoor* akibat penambahan sistem ventilasi mekanis penting dianalisis kembali karena tekanan udara *indoor* sangat berkaitan dengan kenyamanan *Occupant* untuk melakukan aktivitas pernafasan.

2. Metode

2.1 Simulasi CFD Transien.

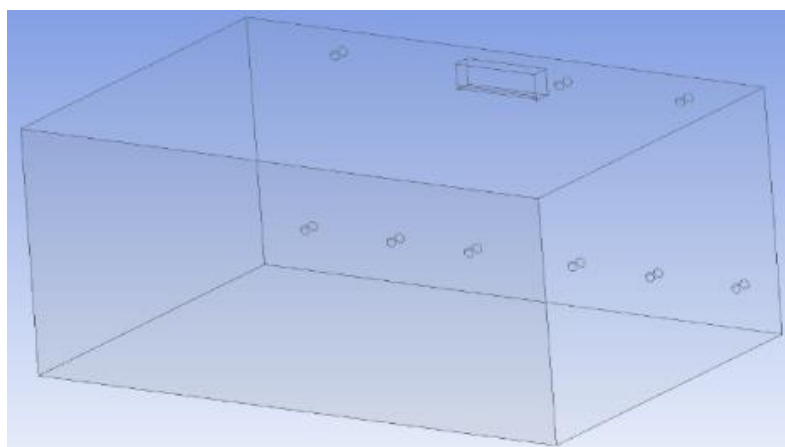
Dimensi ruangan yang dijadikan objek pada penelitian ini adalah 2.80m x 4.80m x 6m dengan demikian volume dari *fluid domain* adalah 75,26m³. Skema penambahan sistem ventilasi ditunjukkan seperti pada Gambar 1.





Gambar 1. Skema penambahan sistem ventilasi mekanis.

Gambar 2 menunjukkan skema penambahan sistem ventilasi. *Exhaust fan* terpasangan 6 unit dan *inflow channels* 3 unit. *Fluid domain* dari skema sistem ventilasi ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. *Fluid Domain*.

Simulasi CFD menggunakan metode *negative part* sehingga dapat menghemat jumlah *mesh* dan memory komputasi. *Meshing* menggunakan tipe *mesh* poly hexcore. Tipe poly hexcore merupakan kombinasi mesh polyhedral dan hexcore, kelebihan dari tipe mesh ini adalah jumlah *cells* yang relatif rendah dan akurasi yang tinggi. Adapun hasil parameter *mesh* yang didapatkan dari proses *meshing* ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter meshing.

No	Parameter	Value
1	Cells	867.700
2	Faces	3.287.310
3	Nodes	1.636.738
4	Volume statistic:	
	Maximum volume (m ³)	2.28e-04
	Minimum volume (m ³)	4.21e-09
5	Face area statistic:	
	Maximum face area (m ²)	3.26e-03
	Minimum face area (m ²)	9.23e-08

Simulasi CFD menggunakan persamaan kendali untuk melakukan *solved* yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energy [7]. Model turbulen yang digunakan adalah RANS (Reynolds Average Navier Stokes) dengan turbulen model K-epsilon (K-ε). Model turbulen K-epsilon memiliki dua persamaan yaitu turbulen kinetic energi yang dinotasikan dengan K, sedangkan laju disipasi turbulen dinotasikan dengan ε [8]. Turbulen kinetic energy telah dimodelkan seperti persamaan (1) [9]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (1)$$

Sedangkan disipasi turbulen dimodelkan seperti persamaan (2):

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

Dimana x adalah notasi koordinat x, ρ adalah notasi dari densitas fluida kerja, E_{ij} adalah notasi dari laju deformasi fluida kerja, μ_t adalah notasi dari viskositas *eddy* dimana viskositas *eddy* telah dimodelkan seperti persamaan (3) [10]:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

Solver yang di setting yaitu dengan skema SIMPLE (*Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation*), skema ini merupakan prosedur dari metode numerik untuk *solved* persamaan Navier-Stokes dimana hubungan antara nilai kecepatan dan tekanan untuk mendapatkan nilai dari konservasi massa sistem dan nilai bidang tekanan dari sistem yang disimulasikan. Diskritisasi persamaan momentum diselesaikan secara implisit dan koreksi kecepatan diselesaikan secara eksplisit [11].

Simulasi CFD menggunakan metode transien dengan beberapa parameter setingan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter setting.

Parameters	Settings
Solver type	Pressure based
Pressure formulation	Pressure gauge
Velocity formulation	Absolute
Time	Transient
Gravity	Y-axis (-9.81m/s ²)
Energy equation	On
Turbulence model	k-epsilon (standard with wall function)
Fluid density and viscosity	Fluent data base
Boundary conditions:	
1. inlet	Velocity inlet
2. outlet	Pressure outlet
3. wall	No slip condition
Solver scheme	SIMPLE
Solution initialization	Standard
Run calculation:	
1. Iteration number	6000
2. Time scale factor	0.02
3. Flow time	60 seconds

2.2 Pengukuran Nilai Tekanan Udara Ruang.

Tekanan udara indoor diukur pada dua titik pengukuran yaitu pada posisi *inflow channels* (P2) dan *outflow* (P1). Pengukuran dilakukan selama 3600 detik. Mengukur nilai tekanan menggunakan *pressure transducer* dan untuk membaca nilai pengukuran menggunakan data akuisisi dari *National Instrument chasis* dan *module*. Chasis dan Modul ditunjukkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Modul tekanan dan *chasis*.

Pressure transmitter ini digunakan untuk mengukur nilai tekanan udara *indoor*. Spesifikasi sensor tekanan yang digunakan adalah 5V DC, dengan limit pembacaan sensor yaitu -1bar sampai 1bar pada tekanan *absolute*. Gambar 4 adalah *pressure transmitter*.

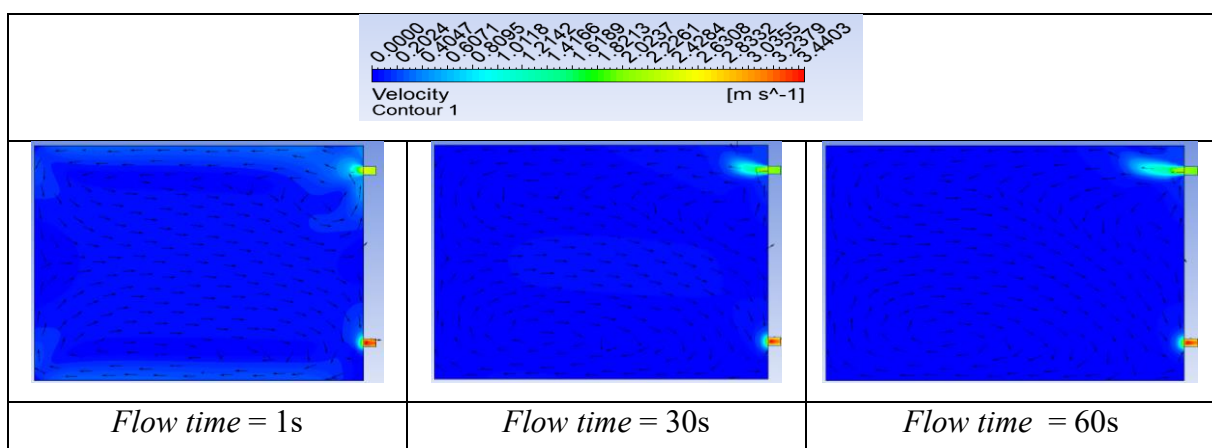


Gambar 4. *Pressure transmitter*.

3. Hasil dan Pembahasan.

3.1 Hasil Simulasi CFD Transien.

Simulasi penambahan 6 *exhaust fan* dekat lantai (*floor*) dan *natural inflow channels* pada ruangan dengan metode transien didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.

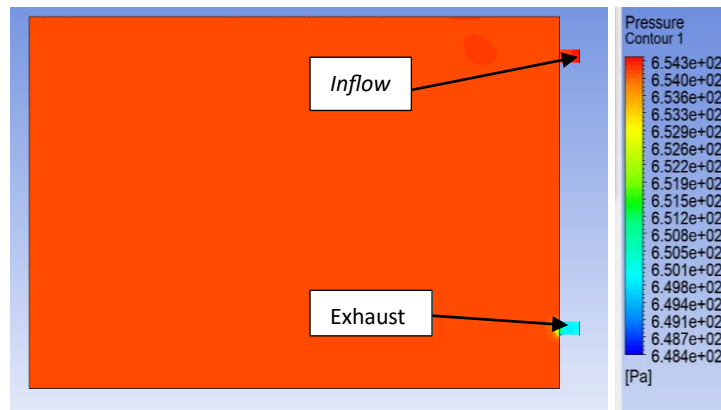


Gambar 5. Kontur kecepatan aliran udara ruangan.

Gambar 5 menunjukkan fenomena pertukaran udara antara *outdoor* dan *indoor*. Udara didalam ruangan (*indoor*) dihisap dan dipaksa bergerak keluar oleh *exhaust fan*. Perpindahan masa udara ruangan dengan *exhaust fan* akibat dari *exhaust fan* menghasilkan nilai tekanan

yang rendah pada sisi *suction* dari *fan* kemudian terjadi perbedaan tekanan udara antara udara ruangan di area *exhaust fan* dengan *suction* area dari *fan*. Perbedaan nilai tekanan udara menyebabkan udara bergerak dari area tekanan yang lebih tinggi menuju ke area tekanan yang lebih rendah sehingga udara ruangan (*indoor*) dapat keluar melalui *exhaust fan channels*. Udara segar (*fresh air*) yang masuk dari *outdoor* ke *indoor* akibat dari fenomena perbedaan tekanan, dimana tekanan udara di *indoor* lebih rendah dari *outdoor* yang menyebabkan udara *outdoor* dapat bergerak secara natural melalui *inflow channels*. Penurunan nilai tekanan udara *indoor* merupakan akibat dari berkurangnya masa udara ruangan yang dikeluarkan secara pakasa oleh *exhaust fan*.

Dari hasil simulasi CFD yang ditunjukkan oleh Gambar 5, pada *flow time* = 1s, *exhaust fan* mulai mengisap udara ruangan namun belum terjadi pertukaran udara yang signifikan, pada *flow time* = 30s, pertukaran udara mulai terjadi fenomena ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai kecepatan pada sisi *inflow channels*, sedangkan pada *flow time* = 60s menunjukkan signifikansi pertukaran udara yang dilihat dari kontur kecepatan aliran yang menunjukkan peningkatan nilai kecepatan pada sisi *inflow*. Peningkatan nilai kecepatan aliran udara natural melalui *inflow channels* adalah akibat dari semakin besarnya nilai perbedaan tekanan udara seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

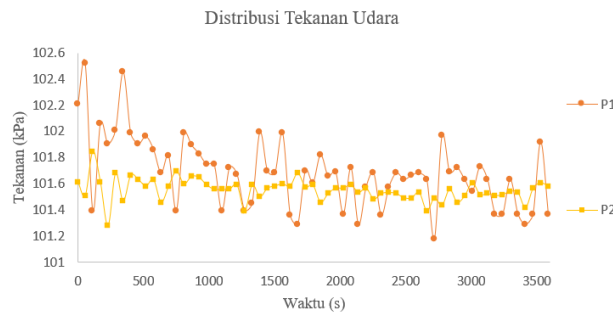


Gambar 6. Kontur Tekanan Udara.

Adanya penurunan nilai tekanan udara *indoor* akibat dari operasional *exhaust fan* perlu dilakukan penelitian experiment untuk mengetahui dan menganalisis penurunan tekanan udara ruang karena tekanan udara ruangan (*indoor air pressure*) berkaitan dengan kenyamanan manusia (*occupant*) didalam ruangan untuk melakukan aktivitas pernafasan.

3.2 Hasil Pengukuran nilai Tekanan Udara Ruangan (*Indoor Air Pressue*).

Penelitian eksperimen dilakukan dengan menambahkan 6 exhaust fan pada ruangan dengan masing masing kapasitas aktual yaitu 80,03m³/jam dan nilai ACH (Air Change Hour) adalah 6,74. Hasil pengukuran distribusi tekanan yang didapatkan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara waktu dan nilai tekanan udara seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Distribusi Tekanan Udara Ruang.

Gambar 7 menunjukkan distribusi tekanan udara *indoor* dimana P1 adalah tekanan yang diukur pada sisi area *suction exhaust fan* dan P2 adalah tekanan yang diukur pada area *inflow channels*. Pengukuran tekanan udara alam kurun waktu 3500 detik menunjukkan terjadi kecenderungan penurunan nilai tekanan udara ruangan namun nilai penurunan yaitu tidak signifikan dimana nilai tekanan masih berada pada nilai *range* tekanan atmosfer. Fluktuasi distribusi disebabkan oleh pertukaran udara dimana *property* udara yaitu tekanan dan kecepatan udara yang berubah ubah (*unsteady state*) yang dominan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Nilai tekanan yang paling rendah terukur yaitu 101,2kPa dan nilai tekanan tertingginya adalah 102,5kPa.

4. Kesimpulan

Penambahan ventilasi mekanis pada ruangan menyebabkan terjadi pertukaran udara dan membentuk fenomena *superposition flow* pada masing - masing *flow time*. Penambahan ventilasi mekanis dengan nilai ACH (*Air Change Hour*) 6,7 menyebabkan terjadi penurunan tekanan udara ruangan (*indoor air pressure*) yang tidak signifikan dan *range* fluktuasi tekanan udara ruangan dengan ACH 6.7 sudah memenuhi standar kenyamanan manusia untuk aktivitas pernafasan yang ditinjau dari nilai tekanan *absolute* udara ruang dan standar kesehatan yang ditinjau dari nilai ACH.

Daftar Pustaka

- [1] Firmazona, I 2009, 'Model pola distribusi aliran udara dan distribusi temperatur ruang operasi rumah sakit menggunakan Flovent V7'. Skripsi, *Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*.
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2011, 'Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 1077 tahun 2017 tentang pedoman penyehatan udara dalam ruang rumah'.
- [3] Ren, F. Y, Huang, Q, Marzouk, T, Richard, R, Pembroke, K, Martone, P, Venner, T, Malmstrom, H, Eliav, E 2021, 'Effect of mechanical ventilation and portable air cleaner on aerosol removal from dental treatment rooms', *Journal of Dentistry*, vol. 105, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103576>.
- [4] 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.
- [5] 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.jobbe.2020.101756>.

- [6] Widiarta, I. P, Suarda, M, Sucipta, M, Sukadana, I. G. K 2022 ‘Simulasi CFD pertuaran udara di ruang tindakan klinik kesehatan’, Jurnal METTEK, vol.8, no. 2, DOI: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2022.v08.i02.p02>
- [7] Versteeg H. K, Malalasekera, W 2009, ‘*An introductions to computational fluid dynamics*’, second edition, Pearson Education.
- [8] Qi, Y & Ishihara, T 2018, ‘Numerical study of turbulent flow around of a row of trees and an isolated building by using modified k-epsilon model and LES model’, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, vol.177, pp. 293-305.
- [9] Johns, W % Launder B 1972, ‘The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence’, *Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 301-314.
- [10] Liu, Y, & Hinrichsen 2014, ‘Study on CFD-PBM turbulence closure based on k-epsilon and reynolds stress model for heterogeneous bubble column flow’, *Computer and Fluid*, Vol. 105, pp. 91-100.
- [11] Anderson, J. D. Jr 1995, ‘*Computational fluid dynamic: The basic with application*’. McGraw-Hill, international edition.