



Analisis Aliran Udara dan Kenyamanan Termal di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Air circulation and Thermal Comfort Analysis of Heat & Mass Transfer Laboratory Using Computational Fluid Dynamics (CFD) Method

Jason Prathana Liawan, Harto Tanujaya dan Steven Darmawan*

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman, Jakarta 11440, Indonesia

Informasi artikel:

Diterima:
02/03/2022
Direvisi:
08/12/2022
Disetujui:
15/12/2022

Abstract

Air circulation and thermal comfort are some of many factors that affects user's behavior in indoor activity, particularly in learning activity. With appropriate air quality and thermal comfort, it is easier for students to focus on the learning process. In addition, better air circulation can also benefit to the health of the people inside the building, for instance, according to WHO (World Health Organization), appropriate airflow may reduce the spread of SARS-CoV-2 which lately has caused a COVID-19 pandemic. However, air circulation and distribution have not a concern yet due to existing room condition and advanced technology that is needed, in L 609 classroom and Heat & Mass Transfer Laboratory, in this research. CFD method implementation for this case is used to show existing air circulation condition and necessary recommendations to get better air circulation. CFD simulation is done 3 dimensionally with 44344 nodes tetrahedral mesh on 2 configuration room condition, which are classified based on air input from AC, door gap, and with or without window opening. Based on CFD simulation results, the 2nd configuration with window opening indicate the best configuration with air velocity around 0,8 m/s dan room temperature 295,8 - 302,1 K. With window opening, the air flow condition met the ANSI/ASHRAE 55 and hoped to reduce COVID-19 spreading.

Keywords: CFD, thermal comfort, airflow, COVID-19.

SDGs:



Abstrak

Sirkulasi udara dan kenyamanan termal merupakan faktor yang mempengaruhi perilaku Pengguna dalam aktivitas di ruang tertutup, termasuk proses pembelajaran mahasiswa. Dengan adanya sirkulasi udara dan kenyamanan termal yang baik, mahasiswa dapat lebih mudah berfokus dalam melakukan aktivitas serta menunjang kesehatan. Hal ini menjadi semakin penting pada masa Pandemi COVID-19 dimana sirkulasi udara yang baik diperlukan untuk mengurangi resiko penyebaran virus COVID-19 sesuai rekomendasi WHO. Namun, sirkulasi dan distribusi udara dalam ruang tertutup kurang diperhatikan antara lain disebabkan kondisi ruang yang sudah tersedia serta rumitnya teknologi yang dibutuhkan, seperti yang terjadi pada ruang kelas L 609 dan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Universitas Tarumanagara sebagai lokasi uji. Penggunaan metode CFD pada lokasi uji dapat memberikan rekomendasi yang diperlukan untuk mendapatkan sirkulasi udara yang baik. Simulasi CFD dilakukan secara 3 dimensi dengan menggunakan *mesh* tipe tetrahedral sebanyak 44344 nodal pada 2 konfigurasi ruangan berdasarkan udara input dari AC dan outlet pada celah pintu dan jendela terbuka atau tertutup. Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi kedua dengan jendela terbuka adalah konfigurasi ruangan terbaik diantara ketiga konfigurasi dengan kecepatan udara berkisar di angka 0,8 m/s dan temperatur ruangan 295,8 K - 302,1 K. Penggunaan jendela terbuka ini dan dapat memenuhi standar ANSI/ASHRAE 55 dan dapat membantu mengurangi resiko penyebaran COVID-19.

Kata Kunci: CFD, aliran udara, kenyamanan termal, COVID-19.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 812 8291 333
email : stevend@ft.untar.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 atau *Corona Virus Disease* adalah sebuah pandemi yang terjadi di hampir seluruh belahan dunia. COVID-19 disebabkan oleh sebuah virus yang bernama Novel Coronavirus (SARS-CoV-2), sebuah virus yang masih berkerabat dengan virus yang menyebabkan pandemi SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*). Menurut penelitian yang dilakukan oleh WIV (*Wuhan Institute of Virology*), COVID-19 mulai menyebar dari China, tepatnya di provinsi Wuhan pada akhir tahun 2019 (WHO, 2020). Menurut WHO (*World Health Organization*), Virus Corona dapat menyebar antar manusia dengan cepat. Virus ini dapat menyebar melalui tetesan kecil di udara, permukaan benda, serta kontak fisik. Jika seseorang tertular COVID-19, ada gejala-gejala yang akan terjadi seperti demam tinggi, batuk kering, lemas dan sakit tenggorokan. Bahkan, jika kondisinya sudah parah, orang yang tertular akan kesulitan bernapas, merasakan sakit di dada, serta sulit untuk berbicara dan bergerak. Virus ini jika sudah masuk ke tubuh manusia, akan menyerang sistem pernapasan orang tersebut. Virus ini akan menyerang bagian tubuh seperti hidung, tenggorokan, dan paru-paru (CNN, 2020).

Pada awal tahun 2020, sebagian besar pemerintah di berbagai negara membatasi aktivitas di ruang tertutup, termasuk ruang kelas dan ruang pembelajaran lain. Meskipun merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari perkembangan sosial, mental dan akademik individu, langkah diambil untuk mencegah penularan virus COVID-19. Hal ini terutama disebabkan karena ruang kelas dan ruang pembelajaran lain termasuk laboratorium memiliki sistem ventilasi dan menyebabkan banyak ketidakpastian dalam penyebaran virus COVID-19 (Chen dkk., 2021; Conrad dan Lynnworth, 2002; Morawska dkk., 2020). Dalam konteks laboratorium, kenyamanan bisa ditinjau dari segi sirkulasi udara dan kenyamanan termal. Kedua hal tersebut tersebut merupakan hal yang penting untuk dipertimbangkan, terutama bagi negara beriklim tropis seperti di Indonesia, dimana temperatur udara cukup tinggi. Salah satu

metode yang digunakan untuk mencapai sirkulasi udara dan kenyamanan termal baik adalah infiltrasi udara. Metode infiltrasi udara yang alami dapat meningkatkan kenyamanan termal dan ventilasi udara di ruangan dalam bangunan-bangunan (Gratia, Bruyere dan De Herde, 2004). Kenyamanan termal di dalam ruangan juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan kecepatan udara yang lebih tinggi (Liping dan Hien, 2007).

Selain untuk faktor kenyamanan, ventilasi udara ruangan yang baik juga berefek kepada kualitas udara yang dihirup oleh pengguna ruangan. Menurut EPA (*United States Environmental Protection Agency*), kualitas udara di dalam ruangan pada umumnya mengandung sekitar dua sampai 5 kali lebih banyak polutan dibandingkan dengan udara luar ruangan (Conrad dan Lynnworth, 2002). Selain masalah polutan di dalam ruangan tertutup, dunia akhir-akhir ini juga diserang oleh pandemi COVID-19 yang tingkat penularannya sangat tinggi. Namun, menurut WHO (*World Health Organization*), penyebaran COVID-19 dapat diminimalisir dengan adanya ventilasi udara yang alami dan baik.

Namun, sirkulasi dan distribusi udara dalam ruang tertutup kurang diperhatikan antara lain disebabkan kondisi ruang yang sudah tersedia serta rumitnya teknologi yang dibutuhkan, seperti yang terjadi pada Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Universitas Tarumanagara sebagai lokasi uji. Metode CFD dapat digunakan untuk melakukan analisis berbasis numerik terhadap aliran udara serta perpindahan panas yang menyertai. Metode CFD semakin banyak digunakan untuk melakukan perancangan maupun analisis sistem mekanikal dan termal, seperti yang dilakukan oleh Sari dkk. yang menggunakan metode CFD untuk melakukan analisis terhadap energi mesin pendingin berbasis Termoelektrik (Sari, Saputra dan Donawan, 2019).

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk melakukan analisis terhadap aliran udara pada ruang kelas L 609 dan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa serta memberikan rekomendasi berupa konfigurasi pengaturan kecepatan *fan* AC, gap pintu dan bukaan jendela dengan menggunakan metode CFD.

2. METODOLOGI

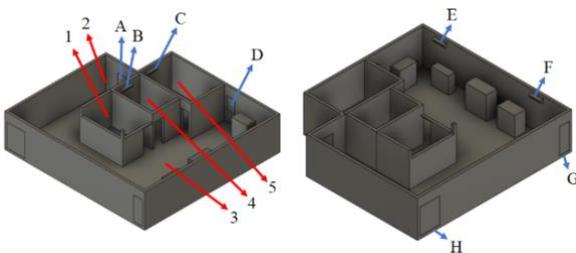
Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD. Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini meliputi kecepatan udara di dalam ruangan (dari AC atau sumber lainnya), temperatur udara dalam ruangan, diukur secara langsung dengan menggunakan termokopel dan anemometer di laboratorium Perpindahan Kalor dan Massa, gedung J Universitas Tarumanagara. Acuan yang akan digunakan untuk mengolah data adalah ANSI/ASHRAE Standard 55, dengan kecepatan udara maksimal sebesar 0,8 m/s untuk temperatur udara di atas 25,5°C. Gambar 3 dimensi dilakukan menggunakan aplikasi *Autodesk Fusion 360* dan simulasi CFD dilakukan secara 3 dimensi menggunakan *Ansys Student R2 2021*. Proses simulasi berjalan diatas komputer dengan prosesor Intel Core i7 generasi kesembilan dan kartu grafis NVIDIA GeForce GTX 1660Ti serta RAM 16 GB.

2.1. Pengambilan Data

Proses pengambilan data kecepatan udara melalui *inlet* dilakukan dengan menggunakan akrilik berbentuk corong dan Anemometer. Anemometer yang digunakan adalah *Smart Sensor AR856*, yang memiliki rentang ukur kecepatan udara 0 - 45 m/s, rentang ukur temperatur udara mulai dari 273 - 318 K, dengan akurasi $\pm 3\%$. Ukuran ujung akrilik corong yang lebih kecil disesuaikan dengan diameter dari *flowmeter* agar udara yang keluar dari *inlet* dapat terfokuskan dan terukur oleh *flowmeter*.

2.2. Rincian Model dan Konfigurasi Simulasi

Model geometri yang digunakan dalam proses simulasi dilakukan secara 3 dimensi yang ditunjukkan pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Model 3D laboratorium

Pada model 3D laboratorium, terdapat beberapa ruangan beserta dengan komponen-komponen ruangnya. Komponen-komponen ruangan laboratorium dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Komponen ruangan model 3D laboratorium

Legenda	Nama Komponen
1	Ruang Kantor
2	Ruang Penyimpanan
3	Ruang Praktikum
4	Ruang Kantor
5	Ruang Kantor
A	Jendela (<i>outlet</i>)
B	Kisi AC (<i>inlet</i>)
C	Kisi AC (<i>inlet</i>)
D	Jendela (<i>inlet</i>)
E	Kisi AC (<i>inlet</i>)
F	Kisi AC (<i>inlet</i>)
G	Celah Pintu (<i>outlet</i>)
H	Celah Pintu (<i>outlet</i>)

Simulasi denah laboratorium Perpindahan Kalor dan Massa dilakukan dengan dua konfigurasi dengan *inlet outlet* yang berbeda di setiap konfigurasi dengan ukuran *inlet* dan *outlet* seperti pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Dimensi sisi *inlet* dan *outlet*

<i>Inlet /Outlet</i>	Ukuran
Kisi AC	900 × 45 mm
Jendela	1120 × 770 mm
Celah Pintu	10 mm (tinggi)

Konfigurasi pertama memiliki *inlet* berupa kisi AC dan *outlet* berupa celah pintu. Sedangkan untuk konfigurasi kedua memiliki *inlet* berupa kisi AC serta jendela dan *outlet* berupa celah pintu (lihat [Tabel 3](#)).

Tabel 3. Keterangan setiap konfigurasi

Konfigurasi	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
1	Kisi AC	Celah Pintu
2	Kisi AC dan Jendela	Celah Pintu

Untuk setiap konfigurasi, simulasi dilakukan sebanyak lima kali dengan kecepatan udara *inlet* kisi AC yang berbeda-beda, ditampilkan pada [Tabel 4](#) dan [Tabel](#) .

Tabel 4. Variasi kecepatan udara kisi AC

Variasi	Kecepatan (m/s)	Temp (°C)
1	3,2 m/s	20
2	3,6 m/s	
3	4 m/s	
4	4,5 m/s	
5	4,7 m/s	

Tabel . Keterangan inlet dan outlet

Konfigurasi	Inlet	Outlet
1	Kisi AC (1, 2, 3, dan 4)	Celah Pintu (5 dan 6)
2	Kisi AC (A, B, D, dan E) serta jendela (C)	Celah Pintu (G dan F)

2.3. Persamaan Atur

Simulasi CFD dilakukan menggunakan Model Turbulen SST $k-\omega$, yang merupakan model turbulen yang adaptif terhadap bilangan Reynolds yang tinggi dan tidak memerlukan konstanta *damping* serta memiliki fungsi viskositas turbulen μ_T yang telah diperbaharui sehingga akurasi pada gradien tekanan dapat diprediksi dengan lebih baik (Darmawan dan Tanujaya, 2019; Darmawan, 2020). Persamaan K dan ω pada Model turbulen SST $K-\omega$ ditunjukkan oleh Persamaan 1. Persamaan Bernoulli ditunjukkan oleh Persamaan 2 (Kundu, Cohen dan Dowling, 2015):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho K}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j K) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu_L + \sigma_K \mu_T) \frac{\partial K}{\partial x_j} \right] + \tau_{ij}^F S_{ij} - \beta^* \rho \omega K \\ \frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j \omega) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu_L + \sigma_\omega \mu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{\omega\rho}}{\mu_T} \tau_{ij}^F S_{ij} - \\ \beta \rho \omega^2 + 2(1 - f_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial K}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \end{aligned} \quad (1)$$

Dengan:

- K : Energi kinetik turbulen (J/kg)
- ω : Laju disipasi per unit energi kinetik turbulen (m^2/s^3)
- μ : Viskositas dinamik (Pa.s)
- τ_{ij}^F : Komponen dari tensor Favre-averaged Reynolds Stress
- S_{ij} : Komponen tensor untuk laju regangan
- β : Parameter akurasi waktu

Persamaan Bernoulli (Kundu, Cohen dan Dowling, 2015):

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2)$$

dengan

- $p_{1,2}$: tekanan fluida (Pa)

- γ : berat jenis (kg/m^3)
- $v_{1,2}$: kecepatan fluida (m/s)
- $z_{1,2}$: ketinggian permukaan air (m)

2.4. Model CFD

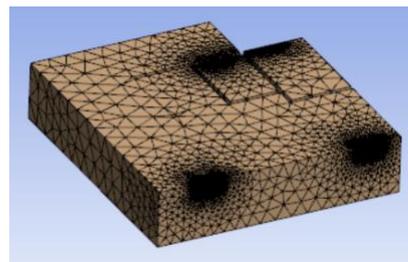
Agar simulasi berjalan sesuai dengan keadaan ruangan, jenis material yang digunakan dibuat semirip mungkin dengan material di laboratorium. Material fluida yang digunakan untuk simulasi adalah udara, dan material padat (*solid*) yang digunakan untuk simulasi adalah bata dan gipsum. Properti dari masing-masing material juga diatur sedemikian agar mendekati kondisi nyata. Udara yang digunakan pada proses simulasi diasumsikan sebagai fluida gas 1 fasa seperti Tabel 5.

Tabel 5. Propertis fluida gas 1 fasa

Properti	Nilai
Massa Jenis (kg/m^3)	1,225
Viskositas ($kg/m.s$)	$1,79 \times 10^{-5}$
Kapasitas kalor spesifik (J/kg.K)	1006,43
Konduktivitas termal (W/m.K)	0.0242

Material Dinding diasumsikan gipsum, dengan massa jenis sebesar $2320 kg/m^3$; kapasitas kalor spesifik (C_p) sebesar $1138 J/kg.K$; dan konduktivitas termal sebesar $0,5 W/m.K$.

Selain propertis dari masing-masing material yang digunakan, pengaturan juga dilakukan terhadap *boundary condition* dari masing-masing inlet dan outlet, seperti kecepatan udara, tekanan, dan temperatur (Rønneseth dkk., 2019; Tanujaya dan Darmawan, 2021). Untuk kisi AC, digunakan kecepatan udara sesuai dengan variasi kecepatan udara pada kisi AC seperti yang dijelaskan pada Tabel 4 dengan temperatur sebesar 293 K (20 °C) yang diukur berdasarkan pengaturan kecepatan AC, tingkat 1-4. Untuk jendela, digunakan kecepatan udara sebesar 2 m/s dengan temperatur sebesar 303 K (30 °C).

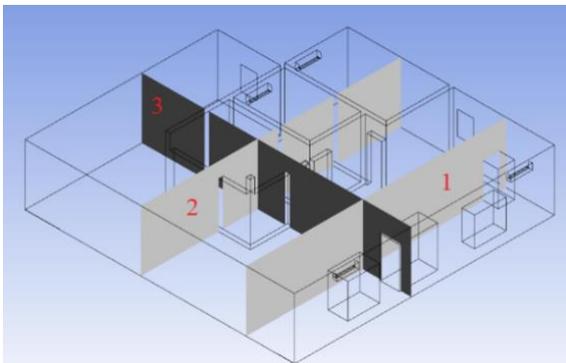


Gambar 2. Mesh 3D laboratorium

Sedangkan untuk celah pintu, digunakan tekanan udara sebesar 100 Pa dengan temperatur 300 K (27 °C). Pada setiap konfigurasi simulasi, digunakan *mesh* yang sama dengan jumlah *nodes* sebesar 44344 *nodes*. *Mesh* yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada [Gambar 2](#).

2.5. Metode Pengambilan Hasil

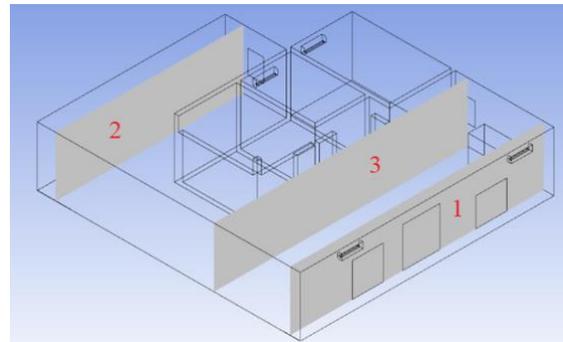
Berdasarkan simulasi yang dilakukan, didapatkan hasil simulasi berupa *streamline*, profil temperatur, dan profil tekanan. Hasil simulasi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu hasil simulasi konfigurasi pertama dan hasil simulasi konfigurasi kedua. Agar profil yang ditampilkan lebih rinci, digunakan fitur *plane* untuk mewakili kecepatan udara dan temperatur pada laboratorium. *Plane* yang digunakan mewakili lokasi praktikan (*Plane 1*) yang terletak pada sumbu Y-Z dengan posisi 0,1 meter pada sumbu X negatif; kantor (*Plane 2*) yang terletak pada sumbu Y-Z dengan posisi 0,6 meter pada sumbu X negatif; dan ruang penyimpanan (*Plane 3*) yang terletak pada sumbu X-Y dengan posisi 0,6 meter pada sumbu Z positif. Visualisasi lokasi *plane* pada simulasi dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Lokasi *plane* kecepatan udara dan temperatur

Khusus untuk representasi hasil tekanan, *plane* yang digunakan berbeda dari *plane* kecepatan dan temperatur. *Plane* yang digunakan untuk mewakili tekanan terletak pada masing-masing *inlet* dan *outlet*. Pada *plane* tekanan pertama, tekanan yang direpresentasikan adalah tekanan dari *inlet* kisi AC dan *outlet* celah pintu kanan laboratorium. Sedangkan untuk *plane* tekanan kedua, tekanan yang direpresentasikan adalah *outlet* celah pintu dan jendela. Kemudian untuk *plane* tekanan ketiga, tekanan yang

direpresentasikan adalah tekanan *inlet* jendela. Visualisasi *plane* dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Lokasi *plane* tekanan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil simulasi akan dibagi menjadi tiga bagian, sesuai dengan konfigurasi ruangan.

3.1. Hasil Simulasi CFD Konfigurasi Pertama

Hasil simulasi CFD konfigurasi pertama pada model laboratorium direpresentasikan melalui kecepatan, tekanan, temperatur. Parameter-parameter direpresentasikan menggunakan *plane* pertama, kedua, dan ketiga, serta lima variasi kecepatan udara *inlet* (ditandai dengan angka pada gambar) seperti yang ditunjukkan oleh [Gambar 3](#) dan [Gambar 4](#).

3.1.1. Distribusi Kecepatan Udara

Dilihat dari hasil *streamline*, aliran udara pada variasi simulasi pertama cukup baik. Kecepatan udara tercepat terletak pada kisi-kisi AC (*inlet*) dan celah pintu (*outlet*), kecepatan berkisar diantara 3,594 - 7,188 m/s (lihat [Gambar 5](#)). Namun, untuk udara dalam ruangan, kecepatan udara relatif sangat rendah karena udara sudah tersebar. Ketika mendekati *outlet* (celah pintu), kecepatan udara kembali naik kembali diantara 3,594 - 7,188 m/s. Kecepatan udara yang kembali meningkat ketika mendekati *outlet* sesuai dengan persamaan Bernoulli pada persamaan (2) dan hukum gas ideal. Karena udara di dalam ruangan memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan luar ruangan, tekanan di dalam ruangan menjadi lebih tinggi. Karena adanya perbedaan tekanan, maka udara dapat mengalir dari dalam ruangan ke luar ruangan. Meskipun kecepatan udara pada setiap ruang,

tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun perbedaan kecepatan udara akan memberikan pengaruh pada energi kinetik turbulen sesuai dengan persamaan (1) sehingga masih memiliki peluang penyebaran virus COVID-19.

Pada *plane* pertama (praktikan), kecepatan udara tercepat terdapat di sekitar *inlet* (kisi AC) dengan kecepatan udara berkisar pada 2,614 - 3,485 m/s (lihat [Gambar 6](#)). Pada *plane* kedua (kantor), kecepatan udara tercepat juga terdapat di sekitar *inlet* (kisi AC) dengan rentang kecepatan udara yang sama dengan *plane* pertama (lihat [Gambar 7](#)). Sedangkan untuk *plane* ketiga (ruang penyimpanan), kecepatan udara terlihat lebih lambat karena udara terdistribusi ke seluruh ruangan (lihat [Gambar 8](#)). Jika dilihat pada semua *plane*, secara keseluruhan kecepatan udara dalam ruangan lebih kecil dari 0,8 m/s. Maka dari itu, kecepatan udara pada konfigurasi pertama memenuhi syarat kecepatan udara pada standar ANSI/ASHRAE 55, yaitu kecepatan udara harus lebih kecil dari 0,8 m/s.

3.1.2. Distribusi Tekanan

Dari kedua *plane* tekanan, dapat dilihat bahwa tekanan ruangan pada konfigurasi pertama berkisar pada 1311 - 1413 Pa (lihat [Gambar 9](#)). Tekanan yang cukup tinggi di ruangan disebabkan oleh kecepatan udara yang rendah, sesuai dengan hukum Bernoulli. Ketika mendekati *outlet*, tekanan menurun ke kisaran 1007 - 1210 Pa (lihat [Gambar 10](#)).

3.1.3. Distribusi Temperatur

Berdasarkan profil distribusi temperatur pada *plane* pertama (praktikan), suhu udara pada bagian praktikan memiliki suhu yang cukup rendah, yaitu pada rentang 296,1 - 299,2 K atau setara dengan 23,1 - 26,2 °C (lihat [Gambar 11](#)). Pada *plane* kedua (kantor), temperatur ruangan lebih bervariasi, dari temperatur terendah mencapai 295,5 K (22,5 °C) dan temperatur tertinggi mencapai 302,4 K (29,4 °C) (lihat [Gambar 12](#)). Dua ruangan kantor di kanan memiliki temperatur yang rendah dikarenakan terdapat *inlet* udara yang berupa AC, sedangkan ruangan kantor di sebelah kiri memiliki temperatur yang cukup tinggi dikarenakan tidak adanya *inlet* udara yang menyebabkan pertukaran

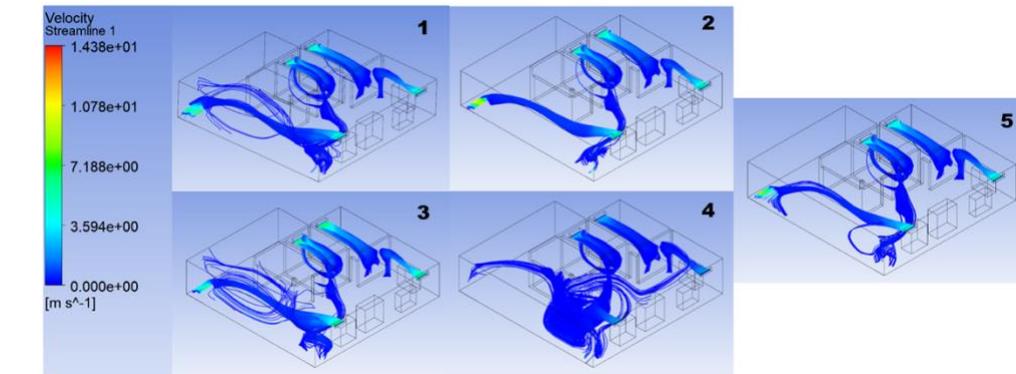
temperatur udara kurang baik. Pada *plane* ketiga (ruang penyimpanan), temperatur ruangan berkisar di 300 - 303 K (27 - 30 °C) (lihat [Gambar 13](#)). Temperatur yang terbilang cukup tinggi ini disebabkan oleh tidak adanya *inlet* udara pada ruangan penyimpanan dan lokasi ruangan yang terdapat di ujung laboratorium, sehingga udara dari *inlet* (AC) sulit untuk mencapai ruang penyimpanan. Jika dibandingkan dengan standar ANSI/ASHRAE 55, temperatur pada konfigurasi pertama (*plane* pertama dan kedua) sesuai dengan standar, yaitu dikisaran 295 - 300 K.

3.2. Hasil Simulasi Konfigurasi Kedua

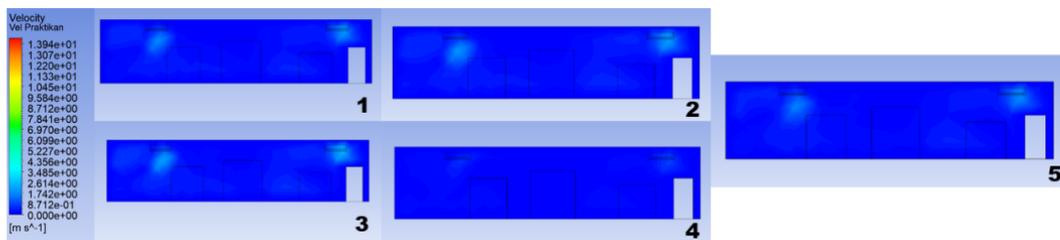
Hasil simulasi CFD konfigurasi pertama pada model laboratorium direpresentasikan melalui kecepatan, tekanan, temperatur. Parameter-parameter direpresentasikan menggunakan *plane* pertama, kedua, dan ketiga, serta lima variasi kecepatan udara *inlet* (ditandai dengan angka pada gambar).

3.2.1. Distribusi Kecepatan Udara

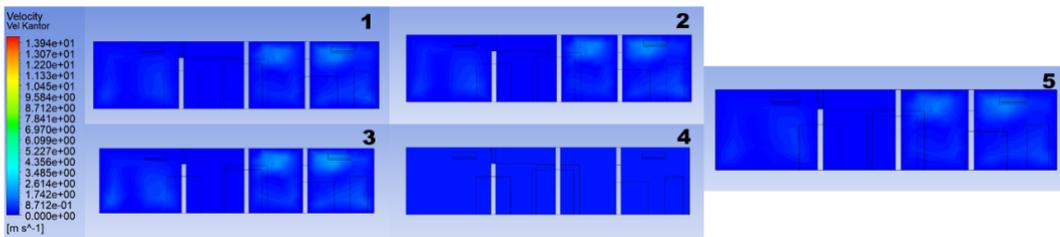
Berdasarkan visualisasi *streamline* ([Gambar 14](#)) yang didapatkan melalui simulasi, terlihat bahwa kecepatan udara tertinggi terletak di kisi AC (*inlet*), dengan kisaran kecepatan 3,948 m/s. Setelah menyebar ke sudut-sudut ruangan, kecepatan udara turun secara signifikan, sehingga kecepatan udara dalam ruangan bisa disebut sangat rendah. Dari profil distribusi kecepatan udara dalam ruangan, dapat dikatakan bahwa kecepatan udara dalam ruangan pada konfigurasi kedua sedikit lebih cepat jika dibandingkan dengan standar ANSI/ASHRAE 55, karena kecepatan udara pada ruangan berkisar diatas 0,8 m/s. Udara yang lebih cepat dapat disebabkan karena adanya udara masuk dari *outlet* jendela. Setelah menyebar dalam ruangan, kecepatan udara kembali naik ketika mendekati *outlet*. Kecepatan udara pada *outlet* naik ke kisaran diantara 7,896 - 15,79 m/s. Hasil simulasi ini sejalan dengan hukum gas ideal, yang menyatakan bahwa temperatur berbanding terbalik dengan tekanan. Karena dengan adanya perbedaan temperatur udara antara dalam (temperatur lebih rendah) dan luar ruangan (temperatur lebih tinggi), terbentuklah perbedaan tekanan yang menyebabkan udara mengalir ke luar ruangan.



Gambar 5. Streamline konfigurasi pertama



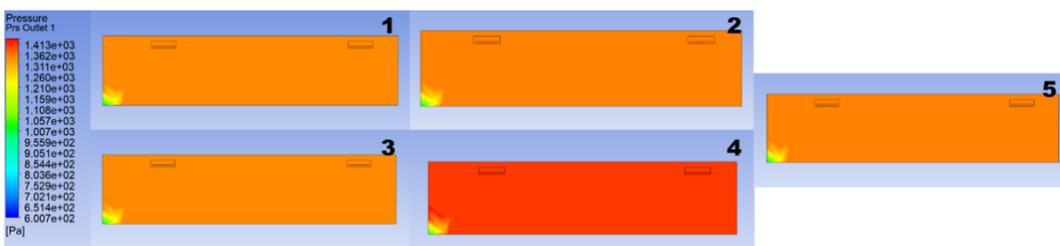
Gambar 6. Distribusi kecepatan udara pada plane 1



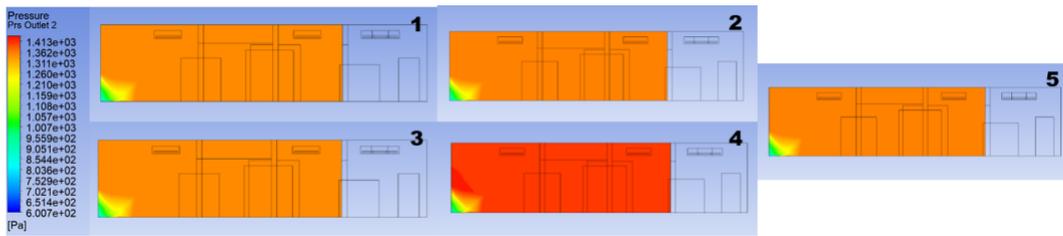
Gambar 7. Distribusi kecepatan udara pada plane 2



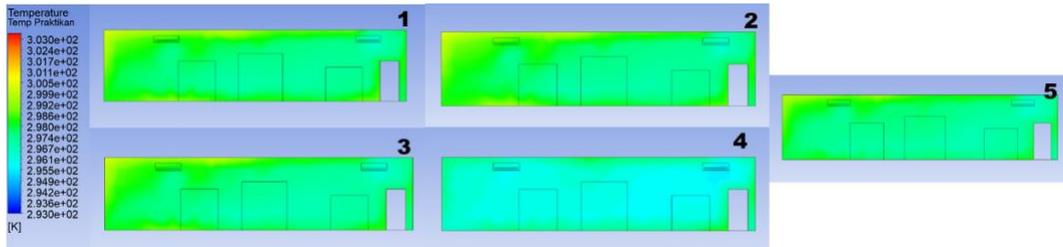
Gambar 8. Distribusi kecepatan udara pada plane 3



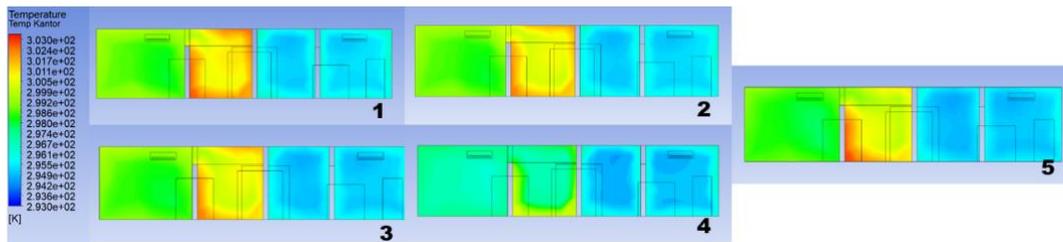
Gambar 9. Distribusi tekanan pada plane tekanan 3



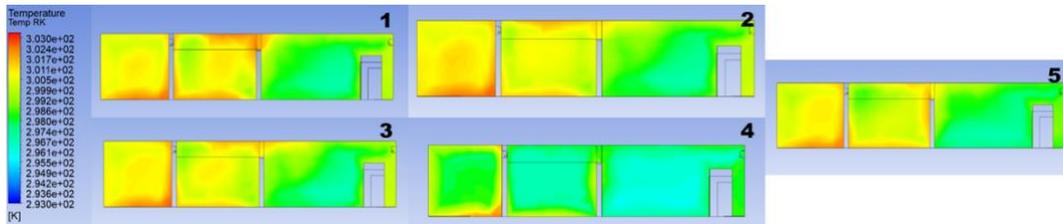
Gambar 10. Distribusi tekanan pada *plane* tekanan 2



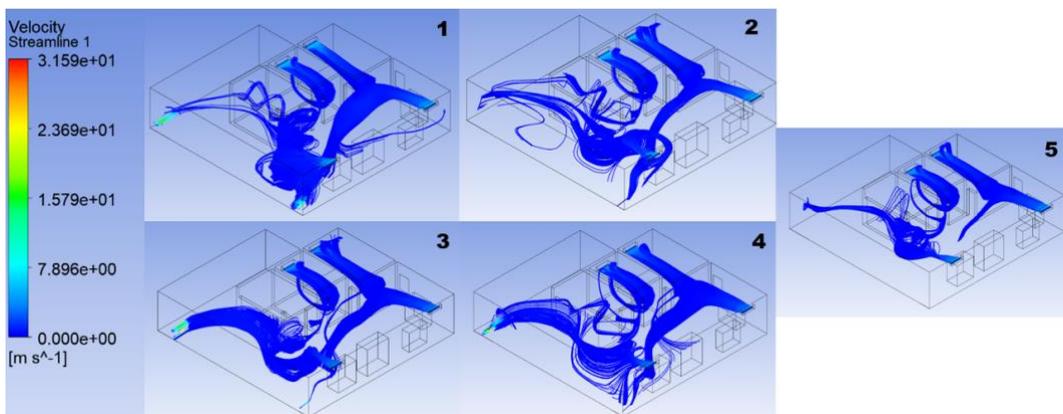
Gambar 11. Distribusi temperatur pada *plane* 1



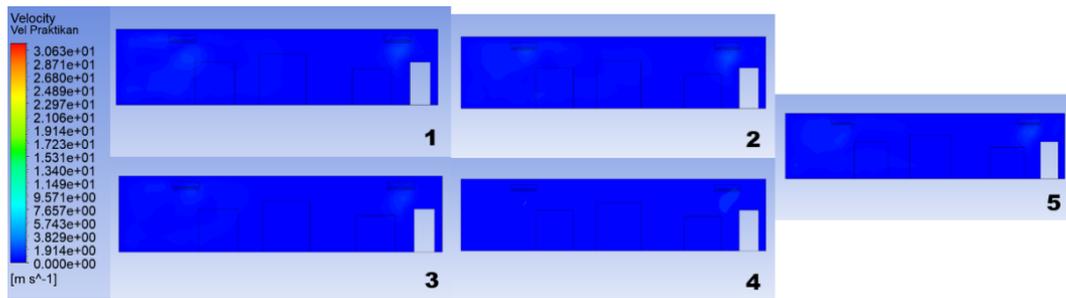
Gambar 12. Distribusi temperatur pada *plane* 2



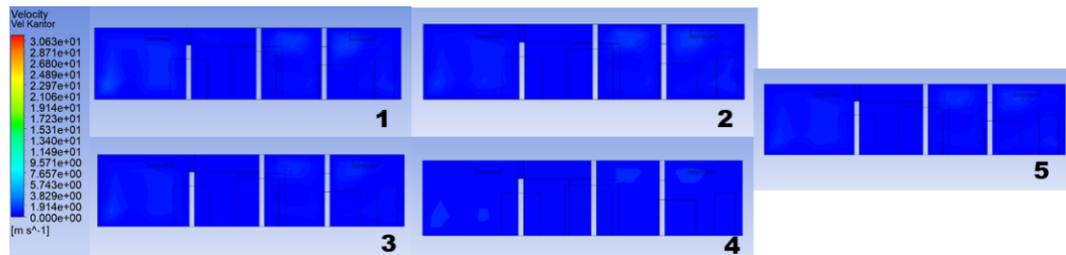
Gambar 13. Distribusi temperatur pada *plane* 3



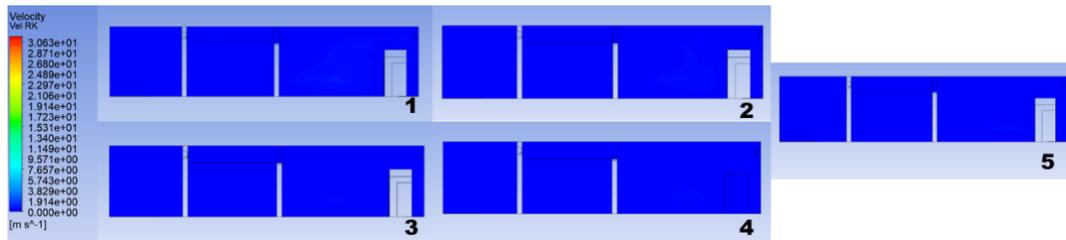
Gambar 14. *Streamline* konfigurasi kedua



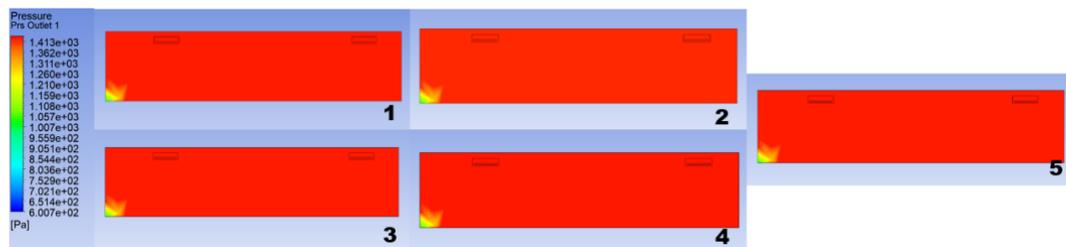
Gambar 15. Distribusi kecepatan udara pada *plane 1* konfigurasi kedua



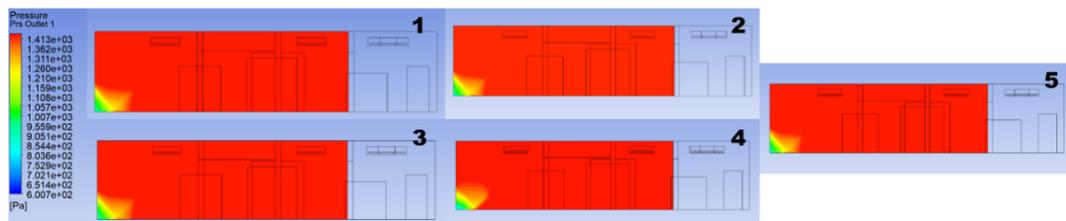
Gambar 16. Distribusi kecepatan udara pada *plane 2* konfigurasi kedua



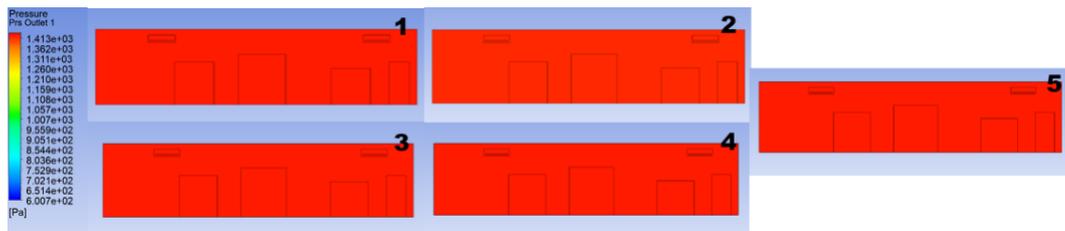
Gambar 17. Distribusi kecepatan udara pada *plane 3* konfigurasi kedua



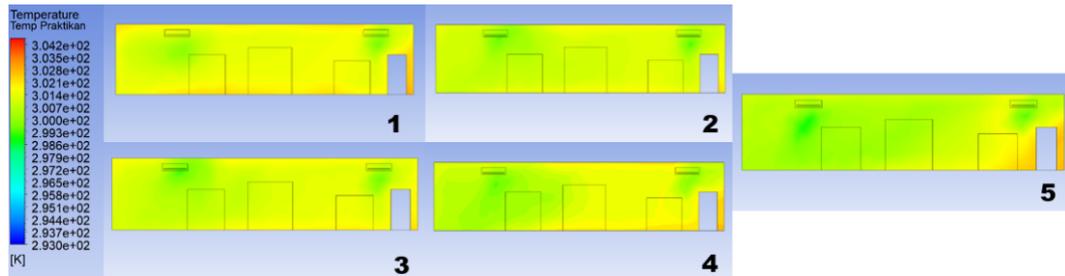
Gambar 18. Distribusi tekanan pada *plane tekanan 1* konfigurasi kedua



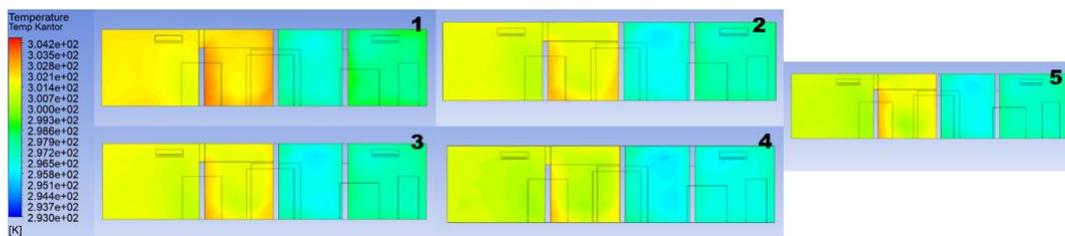
Gambar 19. Distribusi tekanan pada *plane tekanan 2* konfigurasi kedua



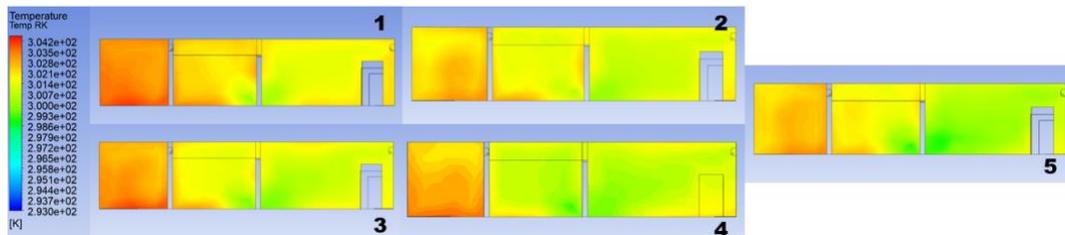
Gambar 20. Distribusi tekanan pada *plane* tekanan 3 konfigurasi kedua



Gambar 21. Distribusi temperatur pada *plane* 1 konfigurasi kedua



Gambar 22. Distribusi temperatur pada *plane* 2 konfigurasi kedua



Gambar 23. Distribusi temperatur pada *plane* 3 konfigurasi kedua

3.2.2. Distribusi Tekanan

Karena adanya aliran udara, maka kecepatan udara dalam ruangan yang sebelumnya sangat rendah, meningkat ketika mendekati *outlet*. Visualisasi persebaran udara di dalam ruangan dapat dilihat melalui Gambar 18, Gambar 19, serta Gambar 20. Gambar-gambar tersebut membuktikan bahwa distribusi udara di ruangan merata (kecepatan sangat rendah). Dari ketiga *plane* tekanan, dapat dilihat bahwa tekanan ruangan pada konfigurasi pertama berkisar pada

1362 - 1413 Pa (lihat Gambar 18). Tekanan ruangan yang tinggi dapat disebabkan oleh udara dengan temperatur dan kecepatan yang rendah (Hukum Bernoulli dan hukum gas ideal). Sedangkan pada *outlet* (pada *plane* pertama dan kedua) tekanan menurun menjadi kisaran 1057 - 1210 Pa. Perbedaan tekanan yang dapat dilihat pada *plane-plane* ini menunjukkan bahwa adanya aliran udara pada *outlet*, karena adanya perbedaan tekanan, udara bisa mengalir keluar ruangan.

3.2.3. Distribusi Temperatur

Dari ketiga *plane* pada Gambar 21 sampai dengan Gambar 23, dapat dilihat bahwa temperatur ruangan pada konfigurasi kedua sedikit lebih tinggi. Temperatur yang lebih tinggi pada konfigurasi kedua disebabkan oleh adanya *inlet* lain pada jendela. Temperatur udara dari jendela yang lebih tinggi mempengaruhi keseluruhan temperatur udara dalam ruangan. Pada *plane* pertama (lokasi praktikan), temperatur udara berada pada rentang 300 - 301,4 K (lihat Gambar 21). Temperatur kemudian sedikit menurun untuk *plane* kedua (kantor), dengan kisaran temperatur berada diantara 295,8 - 302,1 K (lihat Gambar 22). Rentang temperatur pada *plane* kedua lebih jauh jika dibandingkan dengan *plane* pertama. Hal ini dikarenakan oleh adanya ruangan kantor yang tidak memiliki *inlet* udara luar. Hal ini dibuktikan dengan semakin rendah kecepatan udara *inlet*, semakin tinggi temperaturnya. Kemudian pada *plane* ketiga (ruang penyimpanan), temperatur udara kembali meningkat menjadi kisaran 300 - 302,8 K (27 - 29,8 °C) seperti yang ditampilkan pada Gambar 23. Temperatur yang tinggi pada ruang penyimpanan juga disebabkan oleh hal yang sama dengan kantor, yaitu tidak adanya *inlet* pada ruang penyimpanan yang menyebabkan pertukaran kalor di udara menjadi kurang baik jika dibandingkan dengan ruangan ber-*inlet*. Jika dilihat dari *plane* pertama dan kedua, besarnya temperatur ruangan pada konfigurasi kedua berada sedikit diatas standar ANSI/ASHRAE 55 yaitu pada rentang 295,8 - 302,1 K.

3.3. Perbandingan Hasil Simulasi CFD

Dari hasil simulasi yang telah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi pertama adalah konfigurasi terbaik menurut standar ANSI/ASHRAE 55. Dengan kecepatan udara 0.8 m/s dengan temperatur 295 - 300 K. Dapat dikatakan bahwa konfigurasi pertama memenuhi standar ANSI/ASHRAE 55, dengan kecepatan udara dalam ruangan pada konfigurasi pertama berkisar dibawah 0.8 m/s dan memiliki temperatur ruangan yang berkisar di 296.1 - 299.2 K pada lokasi praktikan (*plane* 1) dan 295,5 K pada kantor (*plane* 2). Sedangkan untuk konfigurasi kedua, walau memiliki streamline yang cukup baik, tetap

dianggap kurang sesuai dengan standar ANSI/ASHRAE 55 karena temperatur ruangan yang cukup tinggi, berkisar di 300 - 302.1 K. Di sisi lain, konfigurasi pertama hanya mengandalkan celah pintu sebagai *outlet* satu-satunya, yang menyebabkan kurangnya perputaran udara segar dari dalam dan keluar ruangan. Maka dari itu, konfigurasi kedua dengan jendela yang terbuka menjadi pilihan yang terbaik, melalui beberapa pertimbangan seperti standar ANSI/ASHRAE 55 (ASHARE, 2021) dan cara untuk mengurangi penyebaran virus SARS-CoV-2 dengan mengoptimalkan pertukaran udara dalam ruang tertutup (WHO, 2020). Selain itu, temperatur dan kecepatan udara pada konfigurasi kedua juga hampir menyentuh ideal jika diukur menggunakan standar ANSI/ASHRAE 55.

4. SIMPULAN

Simulasi CFD telah dilakukan pada ruang kelas L 609 dan laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Universitas Tarumanagara, dapat disimpulkan bahwa Konfigurasi pertama merupakan konfigurasi simulasi yang paling sesuai dengan ANSI/ASHRAE 55 (2017), dengan kecepatan udara dalam ruangan dibawah 0,8 m/s dan memiliki temperatur ruangan yang berkisar di 296,1 - 299,2 K (lokasi praktikan) dan 295,5 K (kantor). Namun, karena mempertimbangkan kondisi pandemi dan proses penyebaran COVID-19, konfigurasi kedua menjadi pilihan konfigurasi terbaik, karena sirkulasi udara yang baik, sekaligus memiliki kecepatan udara dan temperatur yang mendekati standar ANSI/ASHRAE 55. Variasi terbaik untuk konfigurasi kedua adalah variasi keempat (kecepatan *inlet* sebesar 4,5 m/s), dilihat dari visualisasi *streamline* tersebar, kecepatan udara paling merata, dan suhu udara paling ideal dibandingkan dengan variasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHARE (2021) *Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Canada: ASHARE [Cetak].
- Chen, C.-Y. dkk. (2021) 'Recommendations for ventilation of indoor spaces to reduce COVID-19 transmission', *Journal of the Formosan*

- Medical Association, 120(12), hal. 2055-2060.
- CNN (2020) 'Data Temukan Gejala Covid-19 Paling Umum, Bukan Batuk Kering', *CNN Indonesia*. Available at: <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20201126090119-255-574641/data-temukan-gejala-covid-19-paling-umum-bukan-batuk-kering> [Online] (Diakses: 11 Desember 2020).
- Conrad, K. dan Lynnworth, L. (2002) 'Fundamental of Ultrasonic Flow Meters', in *Proceedings American School of Gas Measurement Technology. American School of Gas Measurement Technology - ASGMT, USA: American School of Gas Measurement Technology*.
- Darmawan, S. (2020) 'Reynolds number effects on swirling flows intensity and reattachment length over a backward-facing step geometry using STD $k-\epsilon$ turbulence model', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2nd TICATE 2019, Jakarta: IOP Publishing*, hal. 012073.1-012073.9.
- Darmawan, S. dan Tanujaya, H. (2019) 'CFD Investigation of Flow Over a Backward-facing Step using an RNG $k-\epsilon$ Turbulence Model', *IJTech - International Journal of Technology*, 10(2), hal. 280-289.
- Gratia, E., Bruyere, I. dan De Herde, A. (2004) 'How to use natural ventilation to cool narrow office buildings', *Building and environment*, 39(10), hal. 1157-1170.
- Kundu, P., Cohen, I. dan Dowling, D. (2015) *Fluid Mechanics - 6th Edition*. 6th edn. USA: Academic Press - Elsevier [Cetak].
- Liping, W. dan Hien, W.N. (2007) 'Applying natural ventilation for thermal comfort in residential buildings in Singapore', *Architectural Science Review*, 50(3), hal. 224-233.
- Morawska, L. dkk. (2020) 'How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?', *Environment International*, 142, hal. 105832.1-105832.7.
- Rønneseth, Ø. dkk. (2019) 'Techniques for airflow measurements to determine the real efficiency of heat recovery in ventilation systems', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1st Nordic conference on Zero Emission and Plus Energy Buildings*, Belgium: IOP Publishing, hal. 012068.1-012068.8.
- Sari, S.P., Saputra, D.K. dan Donawan (2019) 'Analisis Energi Listrik Dari Panas Kondensator Air Conditioner dengan Insulasi dan Generator Termoelektrik', *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 1(2), hal. 65-72.
- Tanujaya, H. dan Darmawan, S. (2021) 'Investigation of Flow of the Disc-and-Doughnut Baffles and 40% Cut Segmental Baffles', *International Journal of Heat and Technology*, 39(5), hal. 1541-1548.
- WHO (2020) *Question and Answers on COVID-19*. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub> [Online] (Diakses: 12 November 2020).