

Pola aliran udara dan distribusi temperature diinduksi oleh system air conditioning

Jouvan Chandra Pratama Putra¹, Ade Firdianto², Nanang³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie

E-mail: jouvan.chandra@bakrie.ac.id

Abstrak—Perancangan aliran udara di dalam sebuah ruangan tertutup dibutuhkan untuk memasok kebutuhan udara segar yang diperuntukan bagi penghuni ruangan tersebut. Selain itu, pola aliran udara merupakan media pembawa partikel atau pembawa panas yang dapat mendistribusikan kedua aspek tersebut di dalam ruangan. Maka aliran udara menjadi suatu isu kritical yang dapat mempengaruhi kenyamanan para penghuni ruangan bahkan gedung. Studi ini menyajikan pemodelan dan simulasi aliran udara dan efeknya terhadap distribusi temperatur di dalam ruangan kantor. Hal tersebut dapat dicapai dengan melakukan studi parametrik dimana dalam studi ini dilakukan modifikasi letak pasokan udara dan nilai kecepatan udara dengan mengacu pada model yang telah divalidasi. Pendekatan simulasi numerik untuk memecahkan model laminar flow dan heat transfer dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, dimana pada tahap pertama model laminar flow dipecahkan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi aliran udara. Setelah itu, pemecahan terhadap pemodelan heat transfer dilakukan untuk mendapatkan perilaku distribusi temperatur di dalam ruangan. Hasil simulasi mengindikasikan bahwa posisi outlet di dalam ruangan sangat penting untuk membantu distribusi udara agar tercapai pasokan udara yang merata. Selain itu, kecepatan udara dengan nilai yang berbeda mempunyai pola distribusi yang sama baik pada udara maupun temperatur di dalam ruangan. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa nilai kecepatan udara di dalam ruangan berpengaruh terhadap waktu penyebaran temperature di dalam ruangan tertutup. Akhirnya, penelitian ini menunjukkan bahwa strategi dalam menambah kecepatan udara dalam mendistribusikan temperatur untuk menciptakan kenyamanan kerja adalah bukan faktor signifikan yang bersifat tunggal. Tetapi, ada parameter lain yang cukup berpengaruh seperti posisi outlet yang merupakan jalur distribusi udara yang juga merupakan jalur distribusi temperatur.

Kata kunci: Aliran Udara, Distribusi Temperatur, Simulasi Numerik, Laminar Flow, Heat Transfer.

Abstract—The design of air flow in a closed room is needed in order to supply the needs of fresh air that intended for the occupants of the room. In addition, the air flow pattern is a media carrier of particles or heat carriers that can distribute both aspects in the room. Subsequently, air flow becomes a critical issue that can affect the comfort of the occupants of the room and even the building. This study presents modeling and simulation of air flow and its effect on the temperature distribution in an office room. This can be achieved by conducting a parametric study in which this study modifies the location of the air supply and air velocity values by referring to the validated model. The numerical simulation approach to solving the laminar flow model and heat transfer in this study was carried out in several stages, where in the first stage the laminar flow model was solved with the aim of obtaining information about the distribution of air flow. Once it done, the solution to the heat transfer modeling is carried out to get the temperature distribution behavior in the room. The simulation results indicate that the position of the outlet in the room is very important to help air to distribute uniformly. In addition, air velocity with different values has the same distribution pattern both in terms of air distribution and temperature distribution in the room. These characteristics indicate that the value of air velocity in the room affects the temperature spread time in a closed room. Finally, this study shows that the strategy of increasing air velocity in distributing temperature to create work comfort is not a single significant factor. However, there is another parameter which is quite influential, such as the position of the outlet which is a distribution path both air and temperature.

Keywords: Air Flow, Temperature Distribution, Numerical Simulation, Laminar Flow, Heat Transfer

1. PENDAHULUAN

Salah satu konsumsi energi listrik terbesar dihasilkan dari pemakaian air conditioning yang berada di perumahan atau di gedung-

gedung perkantoran. Tingginya tingkat konsumsi energi listrik tersebut adalah sebagai konsekuensi dalam menciptakan kenyamanan termal bagi para penghuni di dalam gedung perkantoran (1). Selanjutnya, strategi yang

dapat dilakukan untuk melakukan efisiensi energi adalah dengan cara mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan. Hal ini bukan berarti mengurangi utilitas bangunan sehingga kebutuhan energi berkurang, tetapi dengan cara kontrol lokal dari beban panas dalam ruangan, untuk memenuhi preferensi termal oleh individu (2).

Berdasarkan ASHRAE 55, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" (3), sebagian besar orang akan merasakan nyaman ketika suhu berada pada kisaran 70°F s/d 79°F (21°C s/d 26°C). Namun, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Cena dan Dear (4), kenyamanan termal adalah hasil sinergitas antara beberapa aspek seperti usia, jenis kelamin, tingkat metabolisme, dan waktu dalam setahun.

Fang (5), melakukan studi eksperimen dengan tujuan untuk memprediksi kenyamanan termal berdasarkan 4 parameter fisik yaitu suhu udara, *mean radiant temperature*, kecepatan udara, dan kelembaban relatif.

Selain itu, pendekatan pemodelan dan simulasi merupakan alternatif untuk melakukan kajian mengenai fenomena dalam hal ini adalah perilaku panas dalam ruang tertutup yang diinduksi oleh aliran udara. Berdasarkan Robertson (6) pemodelan adalah sebuah proses untuk menirukan sistem nyata, sedangkan simulasi adalah proses dalam melakukan manipulasi model yang bertujuan untuk memahami perilaku dari sistem nyata sehingga dapat mengevaluasi berbagai strategi untuk mendapatkan hasil yang optimal (7).

Lin dkk (8), menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk melakukan kajian mengenai *Effect of The Air Supply Location on The Performance of The Displacement Ventilation System*. Hasil kajian mereka mengindikasikan bahwa lokasi pasokan udara seharusnya diletakkan di tengah ruangan untuk dapat memasok kondisi termal yang lebih baik. Kemudian, Zhao dan Wu (9) melakukan studi dengan mengombinasikan eksperimen dan simulasi untuk mengkaji efek distribusi spasial partikel pada pengendapan partikel (0.5 µm hingga 1 µm) di lokasi ventilasi. Selanjutnya, hasil dari studi Zhao dan Wu (9) mengindikasikan bahwa pengendapan partikel sangat dipengaruhi oleh lokasi pasokan udara baik masuk maupun keluar dan sumber partikel.

Penelitian ini akan mempunyai fokus pada lokasi pasokan udara terhadap pengaruh laju

udara dan distribusi temperatur di dalam ruang kantor.

2. MODEL PENELITIAN

Pemodelan meliputi beberapa tahap seperti memilih modul aplikasi, pemilihan konstanta parameter, membuat geometri, meshing, pemilihan parameter *solver*, dan menjalankan simulasi. Pendekatan matematis dalam memodelkan dan mensimulasikan fenomena aliran udara dan distribusi temperatur pada studi ini adalah persamaan Navier-Stokes yang menggambarkan kerapatan udara, viskositas dinamis, kecepatan udara, tekanan, dan gravitasi seperti yang dituliskan pada persamaan 1.

$$\rho \frac{du}{dt} - \nabla \cdot [\eta (\nabla u + (\nabla u)^T)] + \rho (u \cdot \nabla) u + \nabla p = F \quad (1)$$

Dimana:

- η adalah viskositas dinamis (kg/m.s)
- μ adalah kecepatan (m/s)
- ρ adalah massa jenis (kg/m³)
- p adalah tekanan (Pa)
- F adalah kekuatan volume seperti gravitasi (m/s²)

Selanjutnya, untuk persamaan *heat transfer* dengan menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

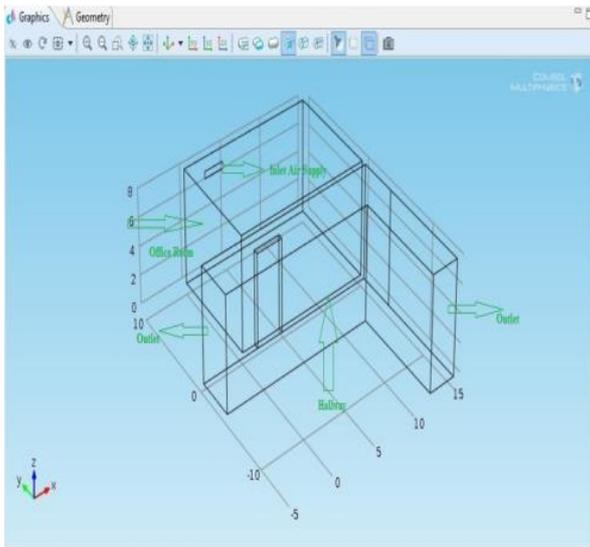
$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q + Q_{vh} + W_p \quad (2)$$

Dimana:

- P adalah massa jenis (kg/m³)
- C_p adalah kapasitas panas (J/kg.K)
- μ adalah kecepatan (m/s)

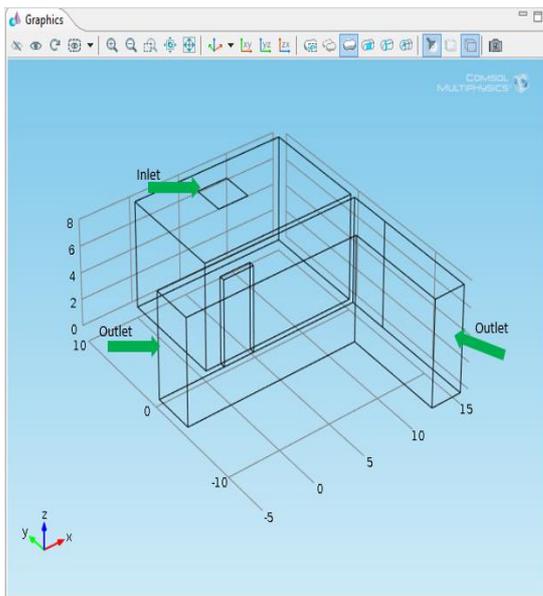
2.1. Model Geometri

Model geometri yang digunakan dalam studi pola aliran udara dan distribusi temperatur ini mengacu pada studi yang dilakukan oleh Putra (1) seperti yang disajikan pada Gambar 1



Gambar 1. Model geometri yang sudah divalidasi (1)

Selanjutnya, untuk mengidentifikasi pengaruh letak dari pasokan udara terhadap distribusi temperatur di dalam ruang maka dilakukan studi parametrik seperti yang disajikan pada Gambar 2.



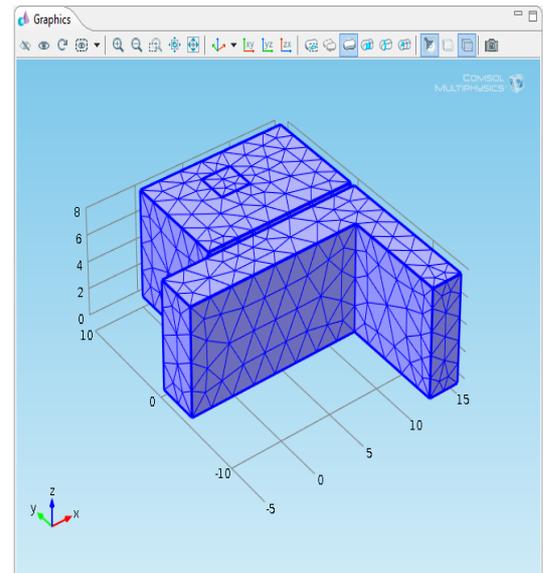
Gambar 2. Studi parametrik

Model geometri yang disajikan pada Gambar 2 mempunyai dimensi arah $x = 15$ ft, $y = 10$ ft, $z = 8$ ft. Selain itu, lorong yang dimodelkan terdiri atas 2 lorong dimana lorong 1 mempunyai dimensi arah $x = 20$ ft, $y = 4$ ft, dan $z = 8$ ft. Selanjutnya, lorong 2 mempunyai dimensi $x = 3$ ft, $y = 10$ ft, dan $z = 8$ ft. Disamping itu, model inlet mempunyai dimensi $x = 2.5$ ft dan $z = 6.5$ ft.

3. Metodologi

3.1. Proses Meshing

Untuk mendapatkan hasil simulasi terhadap distribusi temperatur tahapan yang dilakukan adalah dengan memecahkan pemodelan distribusi udara terlebih dahulu. Selanjutnya, untuk memecahkan model distribusi udara perlu dilakukan meshing seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Geometri yang mengalami meshing

Mesh adalah partisi dari model geometri ruang menjadi bentuk atau area yang lebih kecil. Jika mesh terlalu kasar, kemungkinan solusinya tidak konvergen atau kesalahan mungkin terlalu besar. Sebaliknya, jika mesh terlalu halus, maka waktu yang diperlukan untuk mendapat solusi terhadap sistem persamaan nonlinier mungkin terlalu lama. Dengan demikian, sangat dianjurkan untuk menggunakan jenis model mesh yang sesuai. Setelah proses meshing dilakukan, uji konvergensi dilakukan untuk menentukan apakah kepadatan mesh cukup. Untuk meningkatkan kepadatan meshing, beberapa tes dapat dilakukan setelah memperbaiki mesh. Namun, jika solusinya masih tidak konvergen, maka perlu dilakukan perubahan model terhadap tipe mesh yang lebih halus.

Untuk penelitian ini, digunakan *unstructured mesh* ruang tiga dimensi. Solusi itu dicapai setelah memurnikan mesh. Mesh yang tidak terstruktur memberikan nilai yang stabil bahkan setelah pemurnian yang mengindikasikan bahwa kepadatan mesh dari meshing sebelumnya sudah cukup. Akhirnya, mesh tidak terstruktur

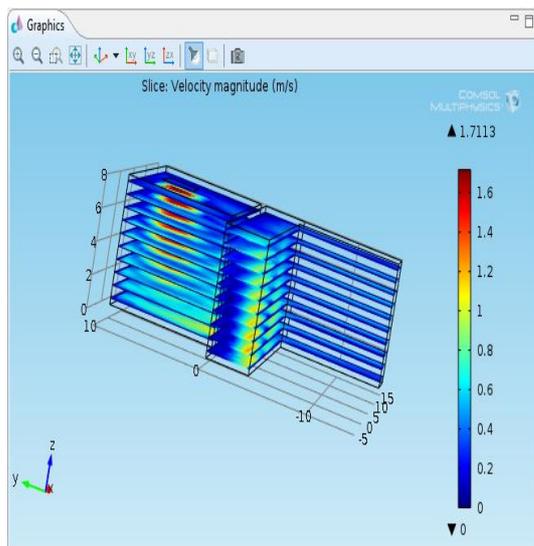
memberikan hasil yang lebih akurat dan lebih stabil bahkan dengan jumlah derajat kebebasan yang lebih rendah (DOF) yang sesuai dengan penelitian ini. Dari meshing pada geometri yang disajikan pada Gambar 3 dihasilkan sebanyak 3606 elemen.

4. HASIL dan DISKUSI

Setelah tahapan meshing diselesaikan, hasil dan diskusi dibagi dalam 3 bagian sebagai berikut:

4.1. Kecepatan udara, Kontur udara, dan Pola aliran udara.

Kecepatan udara yang dimodelkan dan disimulasikan dalam studi ini mempunyai nilai 1.73 m/s yang didapatkan dari hasil tertinggi selama pengukuran dilakukan. Hasil simulasi terhadap model distribusi aliran udara disajikan pada Gambar 4.

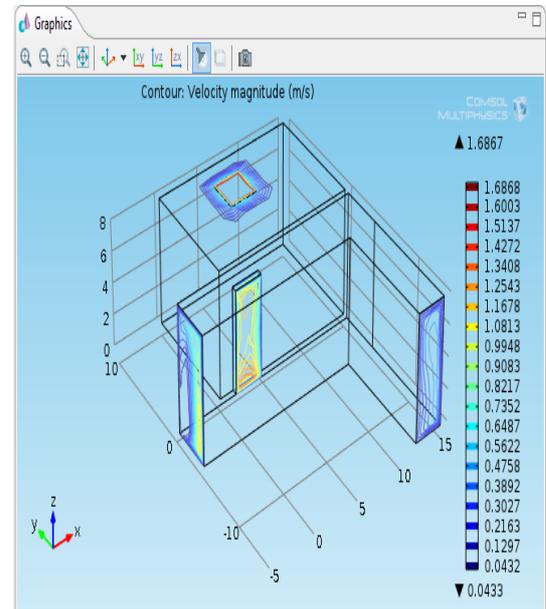


Gambar 4. Distribusi kecepatan udara dengan nilai input 1.73 m/s

Perilaku distribusi udara yang disajikan pada Gambar 4 mengindikasikan bahwa kecepatan udara baik di ruang kantor maupun lorong 1 masih dikategorikan memiliki kecepatan udara yang cukup tinggi. Selanjutnya, sebuah analisis yang sudah dilakukan oleh Humpreys mengindikasikan bahwa dalam iklim tropis pergerakan udara merupakan komponen penting dalam menentukan kenyamanan. Dimana, kecepatan aliran udara di atas 0.1 m/s dan cukup konstan dapat meningkatkan kenyamanan terhadap temperature seperti yang dirumuskan pada persamaan 3.

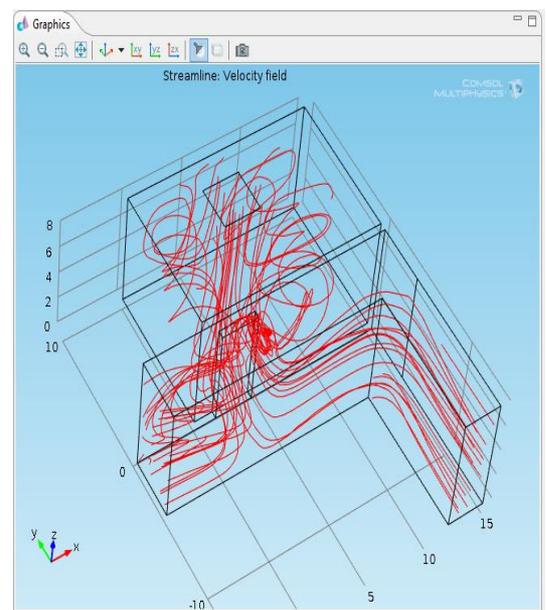
$$7 - (50/4 + 10v^{0.5})^{\circ}C \tag{3}$$

Kemudian kontur kecepatan udara diilustrasikan pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Kontur kecepatan udara dengan nilai input 1.73 m/s

Kontur kecepatan udara yang didapatkan pada studi ini mengikuti pola yang didapatkan pada studi sebelumnya (1). Selain itu, pada studi ini digambarkan bahwa magnitude kecepatan terdapat pada posisi sumber pasokan udara (inlet) dan posisi arah keluar udara (outlet). Untuk mengetahui secara detail pola aliran udara maka dilakukan simulasi *streamline* dan hasilnya disajikan pada Gambar 6 dibawah ini.

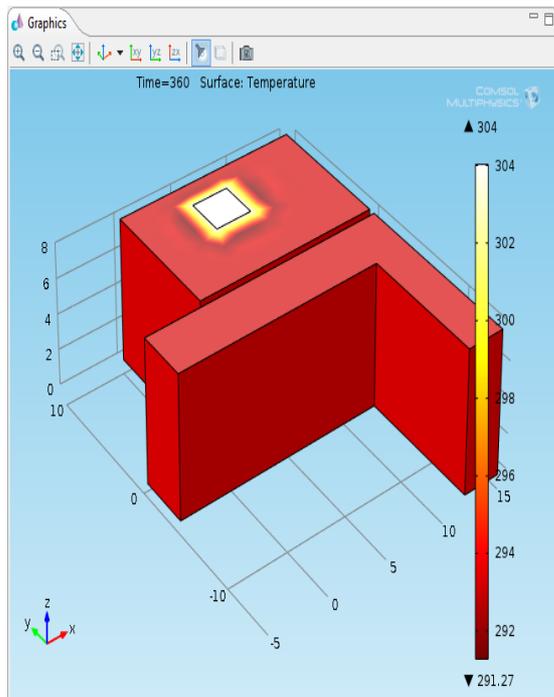


Gambar 6. Arah aliran udara (*streamline*)

Berdasarkan Gambar 6 mengenai pola *streamline* udara menunjukkan bahwa pada lokasi yang memiliki perubahan luas area seperti area ruang kantor dan lorong 1 mempunyai peluang untuk udara bertumbukan sangat besar sehingga terjadi turbulensi pada area tersebut dan mempunyai implikasi terhadap kurangnya distribusi udara secara merata dalam keseluruhan ruangan. Hal tersebut sejalan dengan temuan dari penelitian yang dilakukan oleh Putra (1).

4.2. Distribusi temperatur udara.

Setelah simulasi terhadap distribusi udara berhasil dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan pemecahan terhadap pemodelan distribusi temperatur. Hasil dari pemodelan tersebut disajikan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Distribusi suhu udara di dalam ruangan kantor dan lorong

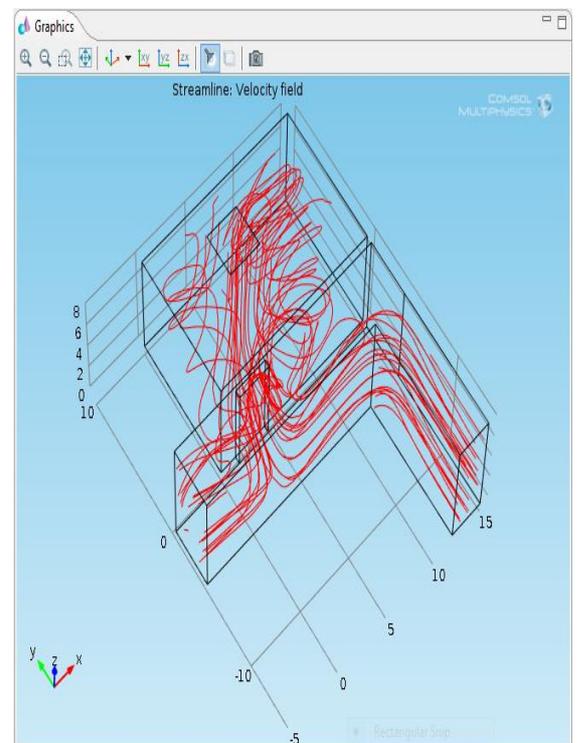
Berdasarkan hasil simulasi terhadap distribusi temperatur di dalam ruangan kantor seperti yang disajikan pada Gambar 7. Dapat diketahui bahwa distribusi suhu udara di dalam ruangan kantor dan lorong mengindikasikan bahwa aliran udara tidak terdistribusi dengan baik. Hal tersebut dapat terlihat dari sebaran nilai temperatur yang seragam hampir di semua lorong dan ruangan kantor. Kemudian

dilakukan studi parametrik terhadap kecepatan udara untuk mengetahui pengaruh lebih lanjut apakah nilai kecepatan udara berpengaruh terhadap sebaran temperature di dalam ruang tertutup dalam hal ini adalah ruang kantor. Nilai kecepatan udara yang digunakan pada studi ini ditabulasikan pada Tabel 1 dibawah ini.

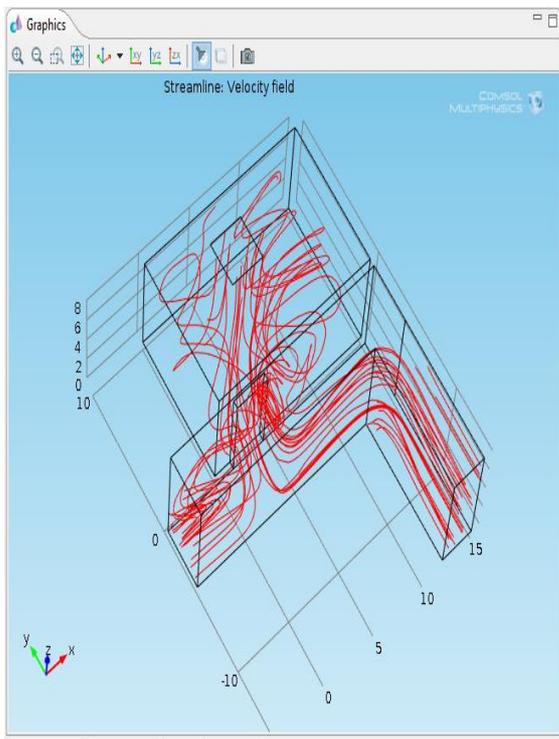
Tabel 1. Nilai kecepatan udara untuk studi parametrik

Nomor model	Kecepatan udara (m/s)
1	0.5
2	1

Arah aliran udara untuk kecepatan udara 0.5 m/s dan 1 m/s disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9 dibawah ini secara berurutan.



Gambar 8. Arah aliran udara pada saat kecepatan udara = 0.5 m/s

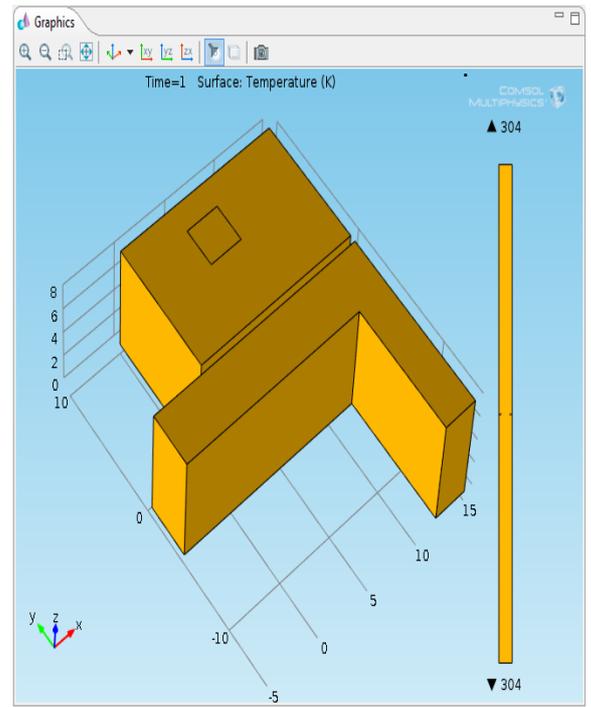


Gambar 10. Arah aliran udara pada kecepatan = 1 m/s

Pola aliran udara dipengaruhi oleh letak outlet yang mendukung arah pergerakan udara di dalam ruangan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 mengenai arah aliran udara dengan nilai kecepatan udara yang berbeda tetapi menunjukkan pola pergerakan yang sama. Namun, dalam strategi untuk pengenceran polutan di dalam ruangan perlu dilakukan simulasi untuk mendapatkan kecepatan yang efektif dalam melakukan hal tersebut. Karena pendekatan dalam studi tersebut sangat erat kaitannya terhadap waktu.

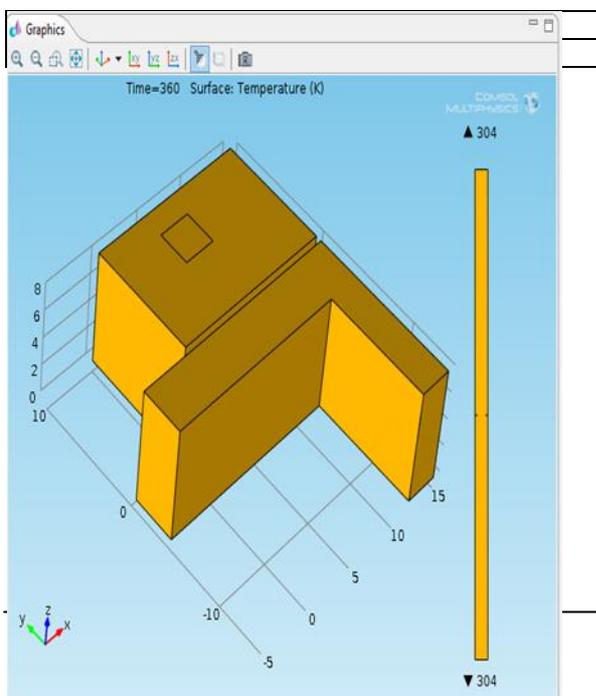
Selanjutnya, implikasi studi parametrik terhadap pola sebaran temperature di sajikan pada Gambar 11 dan Gambar 12 di bawah ini secara berurutan.

Gambar 11. Distribusi temperature pada model 1



Gambar 12. Distribusi temperature pada model 2

Berdasarkan distribusi temperatur yang telah disajikan pada Gambar 11 dan 12 terlihat bahwa pola sebaran distribusi temperatur terlihat merata baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai kecepatan udara yang digunakan dalam parametrik studi ini tidak cukup untuk menurunkan kondisi temperatur baik di lokasi pasokan udara maupun di lokasi yang letaknya jauh dari pasokan udara tersebut.



4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. penentuan lokasi pasokan udara mempunyai dampak penting bagi sebaran udara dan temperatur di dalam ruang tertutup
2. Lokasi outlet sebagai jalur distribusi udara dapat direkayasa sebagai salah satu solusi dalam mendistribusikan udara segar atau mendistribusikan kenyamanan termal di dalam ruangan

DAFTAR PUSTAKA

1. Chandra J, Putra P. A study of thermal comfort and occupant satisfaction in office room. *Procedia Eng* [Internet]. 2017;170:240–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.057>
2. Bauman FS, Arens EA, Ph D. TASK / AMBIENT CONDITIONING SYSTEMS: ENGINEERING AND APPLICATION GUIDELINES FINAL REPORT. Vol. 94720. 1996.
3. ASHRAE Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2003.
4. Cena K, de Dear R. Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. *J Therm Biol* [Internet]. 2001 Sep [cited 2016 Jul 30];26(4–5):409–14. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456501000523>
5. Fanger P. O. Moderate Thermal Environments Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. 1984.
6. Robinson S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. *J Oper Res Soc* [Internet]. 2007 Jan 24;59(3):278–90. Available from: <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602368>
7. Shannon RE. Systems Simulation - The Art and Science. BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics & Applications. NJ: Prentice- Hall; 1975.
8. Lin Z, Chow TT, Tsang CF, Fong KF, Chan LS. CFD study on effect of the air supply location on the performance of the displacement ventilation system. *Build Environ* [Internet]. 2005 Aug [cited 2014 Nov 24];40(8):1051–67. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132304002811>
9. B. Zhao JW. Effect of Particle Spatial Distribution on Particle Deposition in Ventilation Rooms. 2009;170:449–56.