



PISTON:

Journal of Technical Engineering:

Optimalisasi Aliran Udara Pada Gedung Assembly Line 2 PT Astra Daihatsu Motor dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*

Sahid Alvin Saputro¹, Setyawan Bektı Wibowo^{1,a)}, Deva Andriansyah²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Mesin, Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281, Indonesia

²PT Astra Daihatsu Motor-Assy Plant, Sunter, Tanjung Priok, Jakarta Utara, DKI Jakarta, 14330, Indonesia

E-mail: ^{a)} setyawanbw@ugm.ac.id

Received: 21 Juni 2024

Revision: 14 Juli 2024

Accepted: 29 Juli 2024

Abstrak: Lingkungan kerja yang nyaman dan aman menjadi fokus perusahaan untuk meningkatkan produktivitas dan meningkatkan kenyamanan karyawan. Salah satu tantangan yang dihadapi adalah temperatur tinggi mencapai rata-rata $33,435^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan udara rata-rata $0,833\text{m/s}$ di Gedung Departemen Assembly Line 2 PT Astra Daihatsu Motor. Hal ini disebabkan oleh aliran udara yang tidak merata dan kurangnya sistem pendinginan. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengoptimalkan aliran udara menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan dengan merancang beberapa alternatif *layout* dan penambahan *big fan* untuk mendapatkan solusi yang paling efektif dan optimal. Hasil optimalisasi menunjukkan bahwa perubahan *layout* dan penambahan *big fan* terbukti mempengaruhi distribusi udara di dalam ruang produksi menjadi lebih merata serta menurunkan temperatur. Hasil penurunan temperatur menjadi rata-rata $32,659^{\circ}\text{C}$ dan peningkatan kecepatan udara rata-rata $1,614\text{ m/s}$.

Kata Kunci: Optimalisasi; Simulasi CFD; Distribusi Aliran Udara; Distribusi Temperatur.

Abstract: A comfortable and safe working environment was the focus of the company to increase productivity and improve employee comfort. One of the challenges faced was the high temperature, reaching an average of 33.435°C with an average air velocity of 0.833m/s in the Assembly Line 2 Department Building of PT Astra Daihatsu Motor. This was caused by uneven airflow and lack of a cooling system. This research aimed to solve the problem by optimizing the airflow using the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation method. The simulation was conducted by designing several alternative layouts and adding big fans to get the most effective and optimal solution. The optimization results showed that the layout changes and the addition of big fans were proven to affect the air distribution in the production room, making it more even and reducing the temperature. The result was a decrease in temperature to an average of 32.659°C and an increase in air velocity to an average of 1.614 m/s .

Keywords: Optimization; CFD Simulation; Airflow Distribution; Temperature Distribution.

PENDAHULUAN

PT Astra Daihatsu Motor (ADM) adalah perusahaan otomotif dengan kapasitas produksi terbesar dan memiliki fasilitas *Research and Development Center* pertama dan terlengkap di Indonesia. Perusahaan ini bergerak di bidang manufaktur perakitan mobil dan menjadi basis produksi kendaraan *brand* Daihatsu. Salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam sebuah perusahaan adalah lingkungan kerja. Lingkungan kerja meliputi temperatur, kelembaban, kebisingan, dan pencahayaan ruang kerja. Lingkungan kerja harus diperhatikan untuk memberikan rasa aman dan nyaman kepada semua tenaga kerja dalam menjalankan pekerjaan [1]. Menurut Peraturan Menteri Ketenagakerjaan RI Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja, nilai temperatur ruangan yang nyaman kisaran $23^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ dan perbedaan

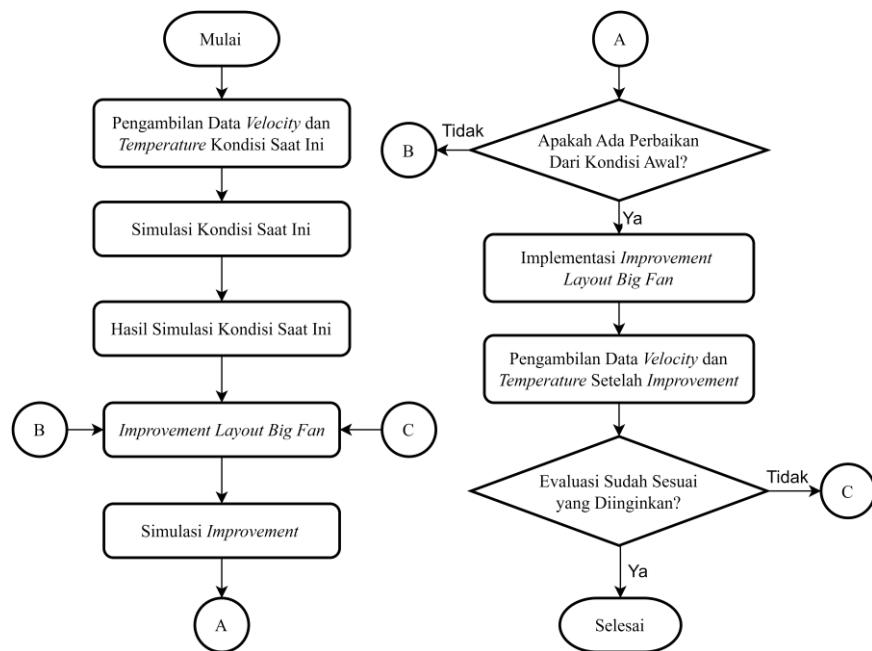
temperatur antar ruangan tidak melebihi 5°C [2]. Bekerja dalam temperatur yang tidak nyaman berdampak negatif pada kinerja, sehingga dapat mempengaruhi produksi secara keseluruhan.

Salah satu masalah lingkungan kerja di Gedung Departemen Assembly Line 2 PT Astra Daihatsu Motor adalah temperatur tinggi yang mencapai rata-rata 33,435°C dengan kecepatan udara rata-rata 0,833m/s. Hal ini disebabkan oleh aliran udara tidak merata dan kurangnya sistem pendinginan. Penggunaan *big fan* hanya pada titik tertentu juga masih belum efektif dalam mendistribusikan aliran udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengoptimalkan aliran udara menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan dengan merancang beberapa alternatif *layout* dan penambahan *big fan* untuk mendapatkan solusi yang paling efektif dan optimal. Diharapkan hasil simulasi menggunakan *software Ansys CFD* dapat menentukan perubahan *layout* yang menghasilkan distribusi udara yang lebih merata di dalam ruang produksi serta menurunkan temperatur. Optimalisasi yang menjadikan ruang produksi nyaman akan meningkatkan efektivitas pekerja dan menjaga kesehatan mereka.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji simulasi CFD pada kontainer pengiriman selada. Simulasi berfokus pada aliran udara dan distribusi temperatur yang melibatkan variasi lokasi *inlet* dan *outlet* untuk mengevaluasi dampak perbedaan posisi *inlet* dan *outlet* [3]. Referensi tersebut, mendasari penelitian yang akan dilakukan dengan mempertimbangkan lokasi *inlet* dan *outlet* yang sesuai dengan keadaan aslinya agar tidak ada perbedaan hasil simulasi. Dalam konteks penelitian menggunakan metode perbandingan terkait analisis perbandingan diameter *inlet* dan *outlet* *guide fan* terhadap kecepatan udara. Ratu dan Anggara menemukan bahwa pemilihan alternatif hasil analisis menggunakan metode perbandingan dapat memberikan solusi yang tepat [4]. Dari referensi tersebut, pada penelitian ini dalam pemilihan alternatif yang efektif dapat diperoleh dengan membandingkan keseluruhan hasil simulasi yang akan dilakukan. Selain itu, penelitian lain mempertimbangkan analisis CFD untuk distribusi udara dalam sebuah bangunan dengan membandingkan dari arah angin yang berbeda. Penyelesaian masalah dilakukan dengan memilih arah angin terbaik, yang ternyata adalah dari arah barat. Kesimpulan tersebut berdasarkan hasil simulasi distribusi udara yang optimal, seperti yang diamati dalam proses perbandingan dari studi [5]. Hal ini berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan dengan mendasarkan arah angin pada simulasi sesuai dengan arah angin di lokasi penelitian. Diharapkan bahwa penelitian terdahulu dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam memudahkan penyelesaian masalah dalam penelitian tentang proses optimalisasi aliran udara menggunakan metode simulasi CFD ini.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan diagram alir yang tercantum pada Gambar 1. Diagram alir tersebut menggambarkan tahapan dari penelitian optimalisasi aliran udara di Gedung Departemen Assembly Line 2 menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*.



Gambar 1. Alir penelitian

Penelitian dimulai dengan pengambilan data temperatur dan kecepatan udara di ruangan produksi menggunakan alat anemometer dan termometer. Pengambilan data dilakukan pada setiap *gate* yang berjumlah 36 *gate* dan 5 ventilasi. Data tersebut dirata-rata menjadi 8 *inlet gate* dengan nilai kecepatan udara antara lain: 0,43m/s; 0,6m/s; 0,53m/s; 0,83m/s; 1,025m/s; 0,3m/s; 0,5m/s; 0,15m/s dan nilai temperatur antara lain: 30,57°C; 31,37°C; 31,53°C; 31,07°C; 32,175°C; 32,27°C; 33,25°C; 32,92°C. Kemudian, pengukuran kecepatan dan temperatur udara pada titik kritis yang berjumlah 5 dengan masing-masing titik diambil 5 hingga 8 titik yang berbeda. Hasil pengukuran kecepatan udara rata-rata sebesar 0,833m/s dan temperatur rata-rata sebesar 33,435°C.

Penelitian ini terdapat sumber panas yang ditimbulkan dari panel listrik. Sumber panas yang dikeluarkan dari panel listrik dapat mempengaruhi temperatur udara di sekitar. Perhitungan *sources term* menggunakan persamaan 1 pada perpindahan panas konveksi dari panel listrik ke udara di sekitarnya. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

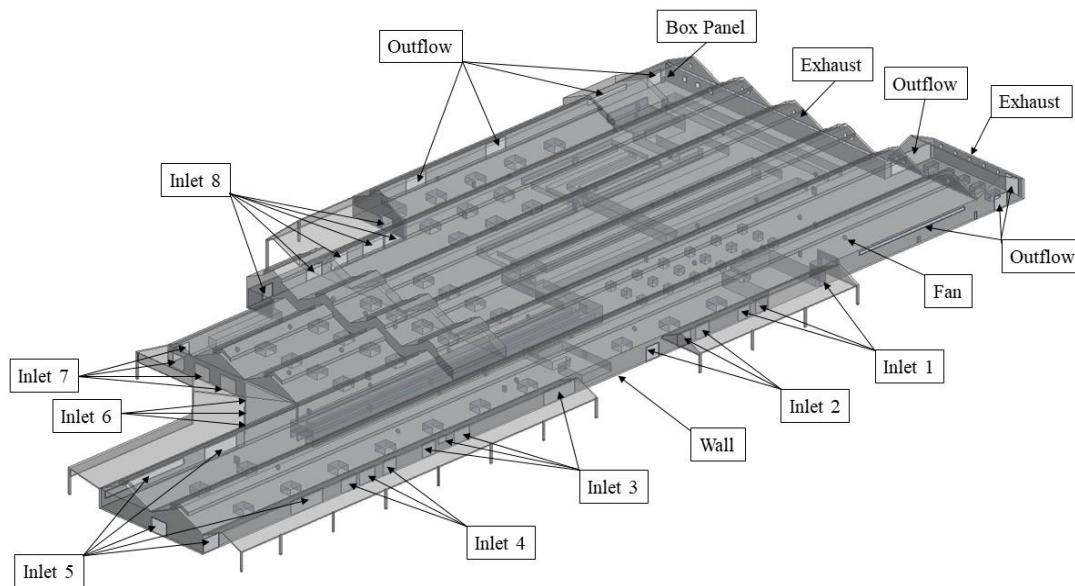
$$Q_{conv} = hA_s (T_s - T_{\infty}) \quad (1)$$

Q_{conv} adalah laju perpindahan panas konveksi (W), h adalah koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$), A_s adalah luas permukaan (m^2), dan T adalah temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$) [6]. Penyesuaian dari batasan penelitian untuk mengetahui kondisi aliran udara dan temperatur yang terjadi di wilayah Jakarta Utara sepanjang tahun 2023. Data diambil menurut BMKG dari Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok, Jakarta Utara pada tahun 2023 mengenai temperatur dan kecepatan angin [7]. Data tersebut digunakan sebagai perbandingan dan penentuan dari efisiensi hasil optimalisasi yang akan dilakukan di lokasi penelitian. Pergantian udara per jam atau *Air Change per Hour* (ACH) merupakan jumlah udara yang terjadi pada suatu ruang yang dengan interval per jam [8]. Ruangan produksi atau pabrik yaitu 8 hingga 10 ACH [9]. Perhitungan kebutuhan sirkulasi udara dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$N = \frac{60Q}{V} \quad (2)$$

N adalah jumlah *air changes per hours* (ACH), Q adalah laju udara dalam *cubic feet per hour* (CFM), dan V adalah volume ruang dalam *cubic feet* (ft^3) [10]. Dari hasil perhitungan didapatkan lebih dari 41 *unit big fan* yang perlu digunakan untuk optimalisasi aliran udara di dalam ruangan produksi. Keseluruhan data ini digunakan sebagai proses *input* simulasi yang akan dilakukan.

Kemudian tahapan berikutnya dilakukan simulasi dari kondisi *existing* untuk mengetahui kondisi aliran udara dan temperatur di dalam ruang produksi. Proses awal membuat *geometry* dan pendefinisian *domain* yang bertujuan untuk memberikan identitas terhadap bagian-bagian dari *boundary condition*. Adapun pendefinisian *domain* seperti Gambar 2.



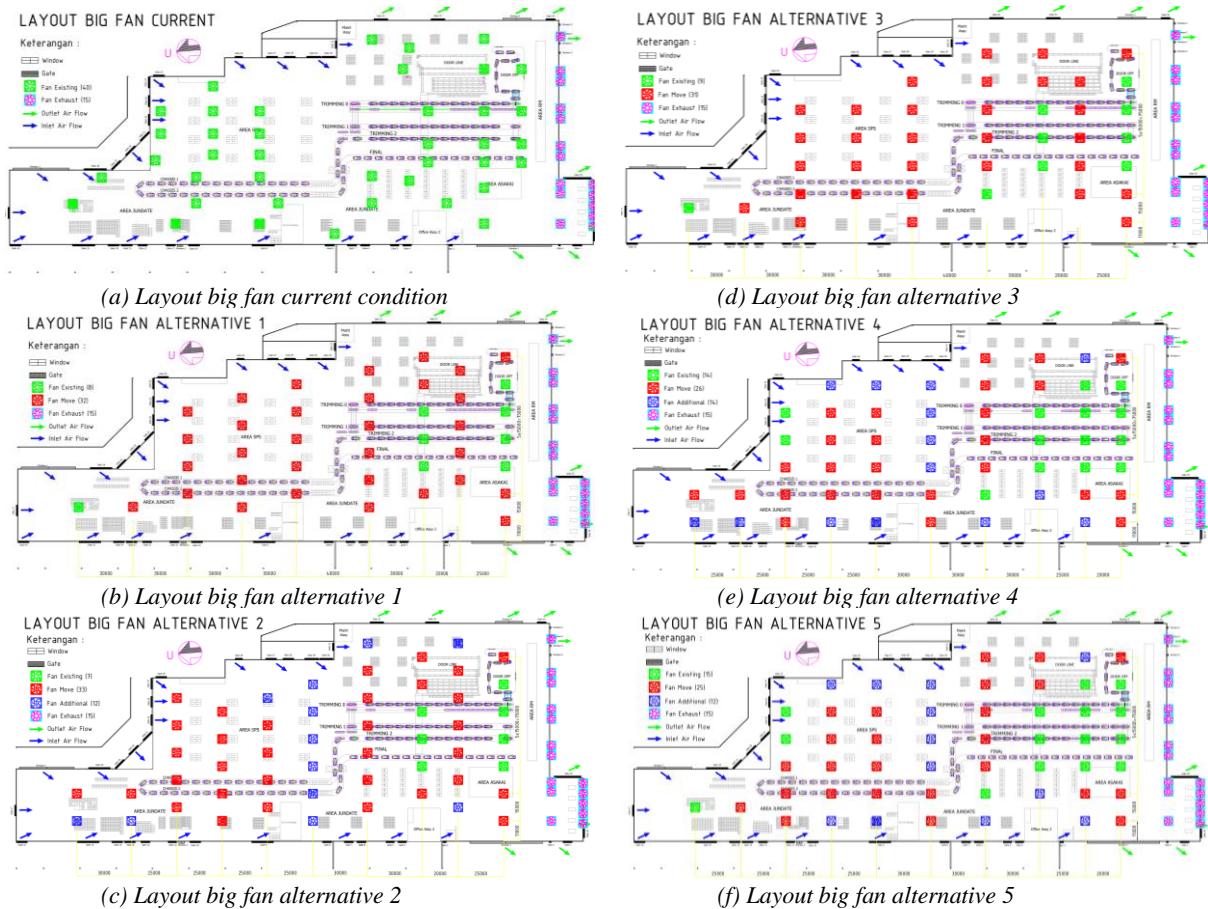
Gambar 2. Pendefinisian *domain*

Tahapan selanjutnya pembuatan *meshing* yang bertujuan membagi *geometry* yang telah didefinisikan menjadi *grid-grid* kecil dengan *input* ukuran atau *sizing*. Tujuan pembagian *geometry* menjadi bagian-bagian kecil untuk mendapatkan ketelitian dari hasil analisis komputasinya [11]. Nilai *surface mesh* dengan *minimum size* 5 mm dan *maximum size* 2000 mm dan *volume mesh* yang digunakan *poly-hedra*. Kemudian, proses *solver* dengan mengatur *setup* dan *input* parameter simulasi. Tujuan *solver* memberikan pengaturan terhadap model pengujian, serta memasukan data spesifikasi dari fluida dan komponen sesuai dengan *domain-domain* yang telah didefinisikan [12]. Berikut konfigurasi dari simulasi CFD seperti Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi simulasi

Parameter	Setting
<i>Cell zone condition</i>	
Gedung	<i>Solid</i>
<i>Big fan</i>	<i>Solid</i>
Panel listrik	<i>Solid</i>
<i>Internal domain</i>	<i>Fluid-incompressible air</i>
Analysis type	<i>Steady state</i>
Gravity	-9.81 m/s
Turbulence model	<i>k-epsilon (k - ε) realizable</i>
<i>Boundary condition</i>	
Inlet	<i>Velocity-inlet (0,15-1,025m/s)</i> <i>Thermal (30,57-33,25°C)</i>
Outlet	<i>Outflow dan Pressure-oulet</i>
Heat sources	<i>Sources terms S_h (W/m³)</i>
Wall	<i>non-equilibrium wall functions</i>
Solution methods	<i>Coupled (momentum based)</i>
Momentum	<i>Second order upwind</i>

Tahapan berikutnya yaitu *post-processor* dengan menampilkan data hasil simulasi yang telah dilakukan pada tahap-tahap sebelumnya [13]. Data yang ditampilkan berupa *velocity streamline*, *velocity contour*, *temperature contour*, *temperature volume*, dan nilai dari *report definition*. Dari hasil simulasi kondisi eksisting melakukan identifikasi masalah yang ada di dalam ruang produksi. Cara identifikasi dilihat dari hasil numerik dan visualisasi *result* simulasi. Hasil visualisasi aliran udara dan temperatur kondisi saat ini tentunya terdapat beberapa masalah yang menimbulkan distribusi aliran udara tidak merata keseluruhan ruangan produksi dan temperatur udara yang panas. Kemudian, merancang beberapa alternatif dari perubahan *layout* yang mempertimbangkan 2 faktor utama yaitu perubahan posisi *layout big fan* dan jumlah *big fan* yang akan digunakan. Penelitian ini membuat 5 alternatif yang berbeda-beda dengan mempertimbangkan kedua faktor penting tersebut seperti dengan hasil seperti Gambar 3.



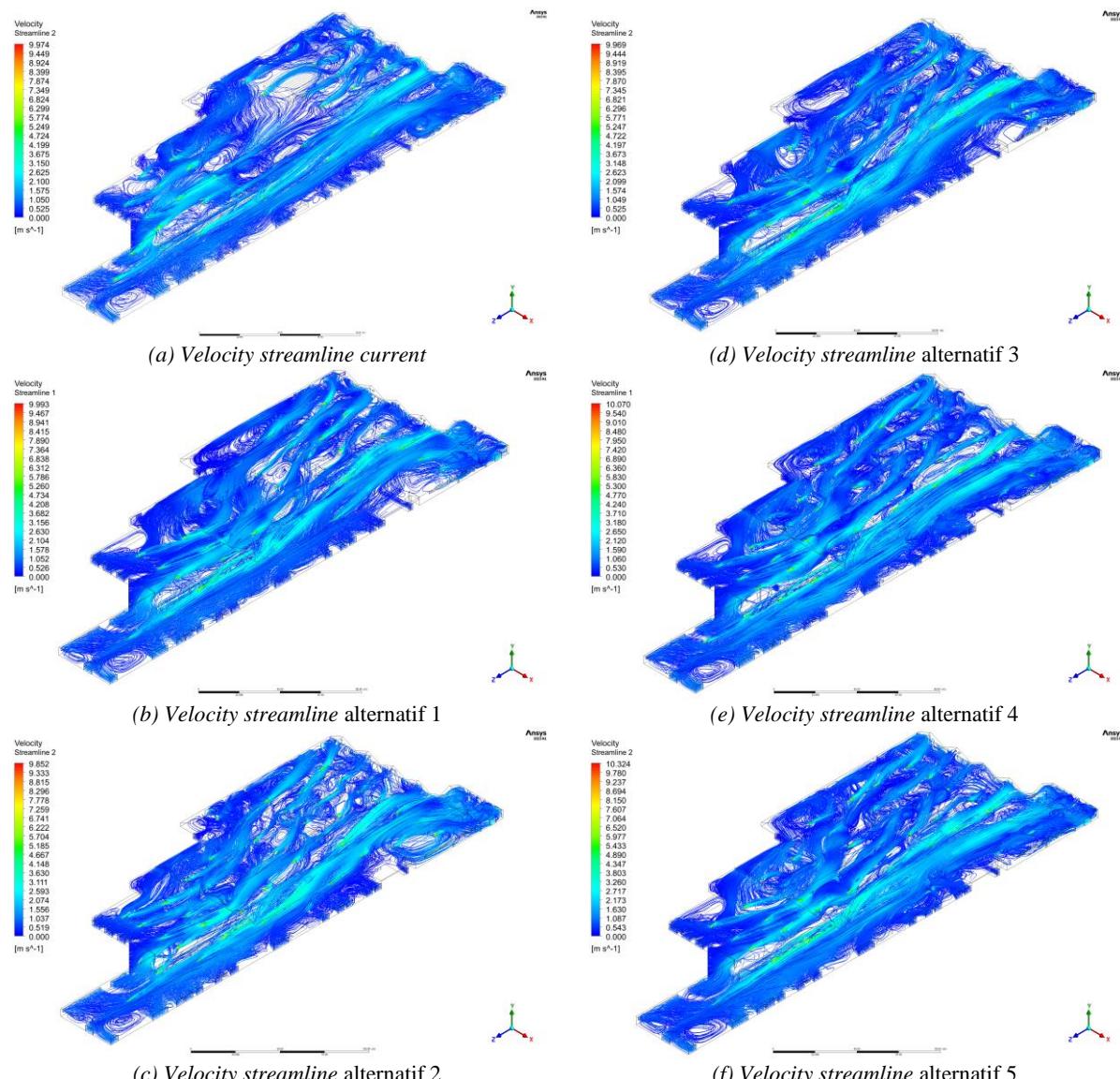
Tabel 2 menunjukkan penjelasan mengenai pola *layout* alternatif yang dibuat dengan posisi *big fan* yang berpolo zig-zag dan lurus. Kemudian jumlah penambahan unit *big fan* yang berbeda dari alternatif 1 dan 3 yang hanya dilakukan pemindahan *big fan* tanpa penambahan *big fan*. Kemudian, alternatif 2 dan 5 yang dilakukan penambahan 12 unit *big fan* dan alternatif 4 dengan penambahan 14 unit *big fan*.

Tabel 2. Variasi alternatif

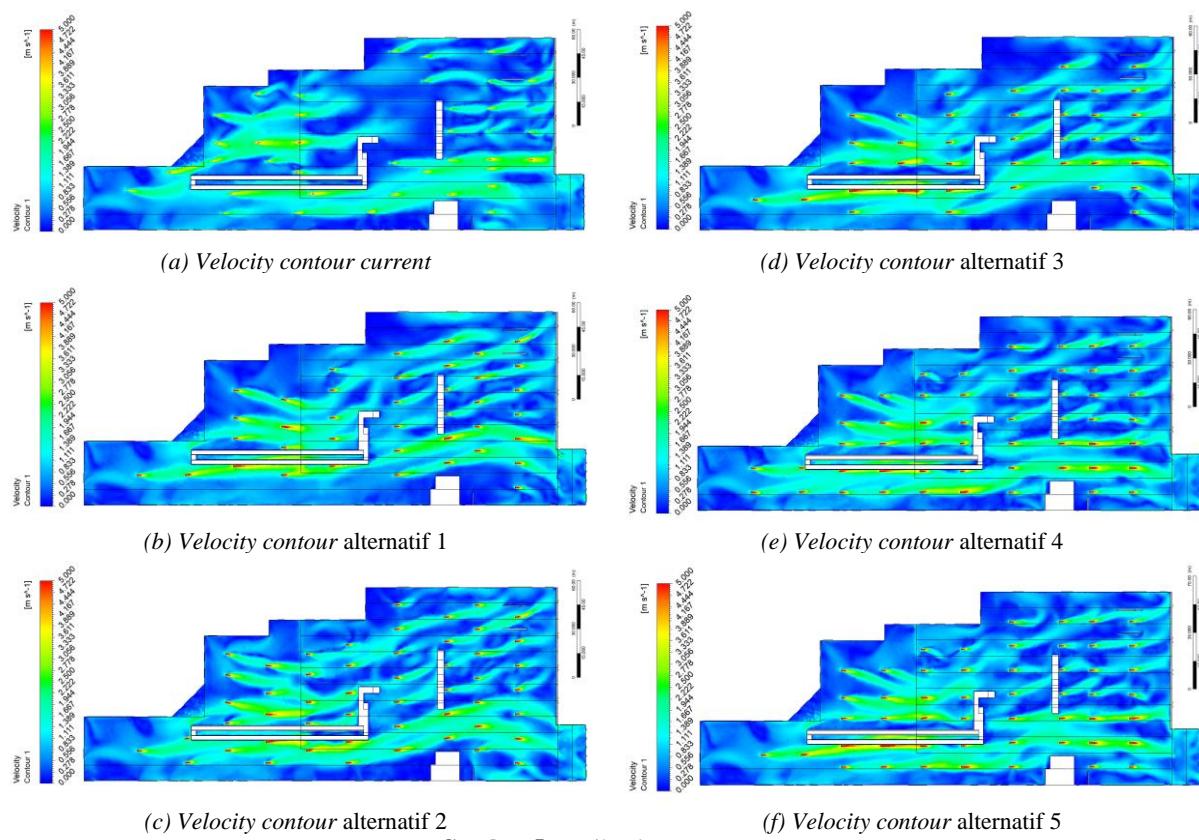
Item	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Pola	Zig-zag	Zig-zag	Lurus	Lurus	Lurus
<i>Fan</i>	40 unit	40+12 unit	40 unit	40+14 unit	40+12 unit
Jarak	X=30-40 m	X=25-30 m	X=30-40 m	X=25-30 m	X=25-30 m
Sumbu	Y=15 m	Y = 15 m	Y = 15 m	Y = 15 m	Y = 15 m
Biaya	0	137 Jt	0	160 Jt	137 Jt
ACH	9,6	12,5	9,6	13	12,5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dalam bentuk visualisasi menggunakan *result pathline* yang dimulai dari *boundary condition inlet*. Adapun hasil simulasi seperti pada Gambar 4 menunjukkan *result velocity streamline* dari kondisi eksisting dan 5 alternatif yang dirancang. Kemudian, hasil simulasi seperti pada Gambar 5 menunjukkan *result velocity contour* dari kondisi eksisting dan 5 alternatif yang dirancang.



Gambar 4. Hasil *velocity streamline*

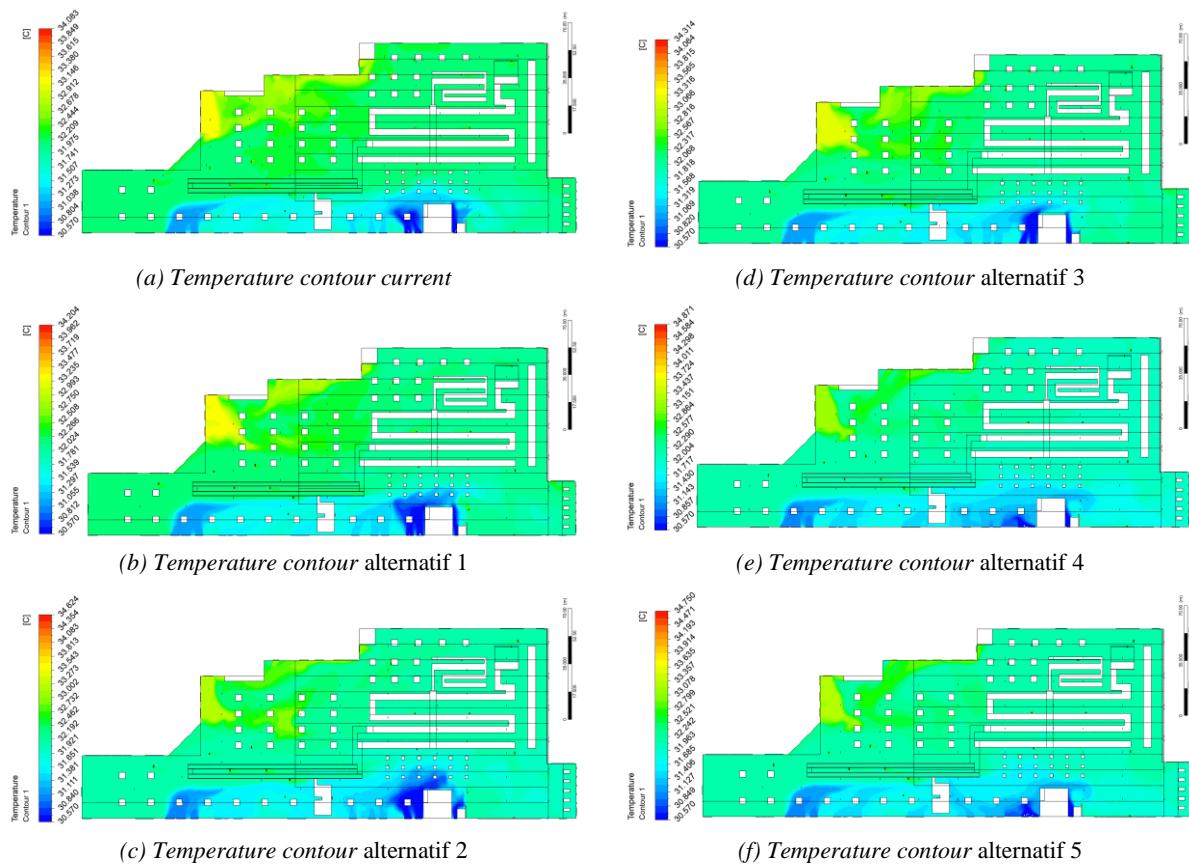


Gambar 5. Hasil velocity contour

Hasil simulasi dari Gambar 4 dan Gambar 5 yang menunjukkan *result velocity streamline* dan *contour*. Hasil visualisasi menunjukkan dua jenis warna dasar pada garis *pathline* udara pencampuran, yaitu warna merah dan biru. Warna merah menandakan kecepatan udara yang tinggi, sementara warna biru menunjukkan kecepatan udara yang rendah. Garis tanpa warna menandakan tidak adanya aliran udara dalam analisis tersebut. Pada kondisi eksisting, hasil simulasi didapatkan dengan nilai kecepatan udara rata-rata sebesar 1,125m/s. Hasil visualisasi terdapat area gedung masih tidak mendapatkan aliran udara karena distribusi penggunaan *big fan* yang belum merata. Sementara itu, alternatif 1 dengan jumlah *big fan* yang sama tetapi *layout* yang berbeda dengan posisi antar *big fan* zig-zag. Hasil simulasi didapatkan kecepatan udara rata-rata sebesar 1,224m/s.

Pada alternatif 3 yang memiliki jumlah *big fan* yang sama dengan layout posisi *big fan* lurus, menunjukkan perbaikan dalam distribusi aliran udara dengan kecepatan udara rata-rata sebesar 1,224m/s. Kemudian, hasil simulasi dari alternatif 2 yang melibatkan penambahan 12 unit *big fan* dan posisi antar *big fan* zig-zag, menghasilkan distribusi aliran udara yang lebih merata dengan kecepatan udara rata-rata sebesar 1,86m/s. Dalam hal ini, alternatif 4 dengan penambahan 14 unit *big fan* menunjukkan peningkatan kecepatan udara rata-rata paling besar sekitar 1,968m/s dengan *layout* posisi antar *big fan* lurus. Pada alternatif 5 dengan penambahan 12 unit bentuk *layout* posisi antar *big fan* lurus, menunjukkan hasil simulasi yang serupa dengan alternatif 2 tetapi perbaikan distribusi aliran udara lebih signifikan. Hasil simulasi menunjukkan nilai kecepatan udara rata-rata sebesar 1,9m/s.

Pada Gambar 6, hasil visualisasi simulasi *temperature contour* menampilkan dua jenis warna dasar, yaitu merah dan biru. Warna merah menunjukkan temperatur tinggi, sedangkan warna biru menunjukkan temperatur rendah. Hasil simulasi eksisting terdapat area yang cukup luas berwarna kuning, menunjukkan distribusi temperatur panas yang masih dominan, nilai temperatur rata-rata sebesar 32,772°C. Sementara itu, hasil simulasi alternatif 1 dengan nilai temperatur rata-rata sebesar 32,528°C menunjukkan perubahan yang minimal. Kemudian, alternatif 3 menggunakan jumlah *big fan* yang sama mendapatkan nilai temperatur rata-rata sebesar 32,441°C. Di sisi lain, hasil simulasi alternatif 2 dengan penambahan 12 unit *big fan* menghasilkan penurunan temperatur yang lebih baik yaitu temperatur rata-rata sebesar 31,992°C. Kondisi tersebut dilihat dari area luas warna kuning yang lebih kecil. Dalam hal ini, alternatif 4 dengan penambahan 14 unit *big fan* mengalami penurunan temperatur rata-rata yang paling besar yaitu 31,903°C. Pada alternatif 5 dengan penambahan 12 unit menunjukkan hasil simulasi yang hampir serupa dengan alternatif 2 tetapi hasil penurunan temperatur yang lebih signifikan sebesar 31,922°C.



Gambar 6. Hasil temperature contour

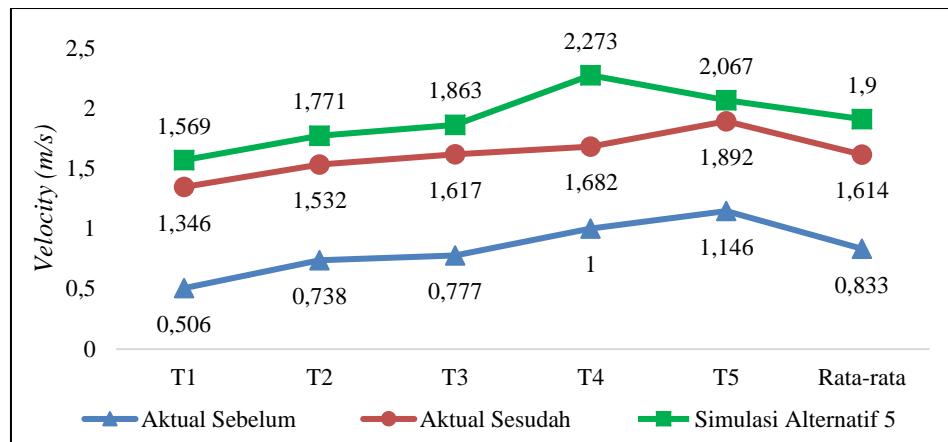
Selanjutnya, untuk memudahkan pemilihan alternatif, dilakukan komparasi dan mengkalkulasi hasil analisis dari kondisi eksisting serta kelima alternatif yang dirancang. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan pilihan alternatif yang paling efektif dan optimal untuk diimplementasikan. Penentuan alternatif ini juga melibatkan biaya yang akan dikeluarkan dari total penambahan *big fan* yang diperlukan. Berikut hasil simulasi secara keseluruhan seperti Tabel 3.

Tabel 3. Komparasi dan kalkulasi hasil simulasi

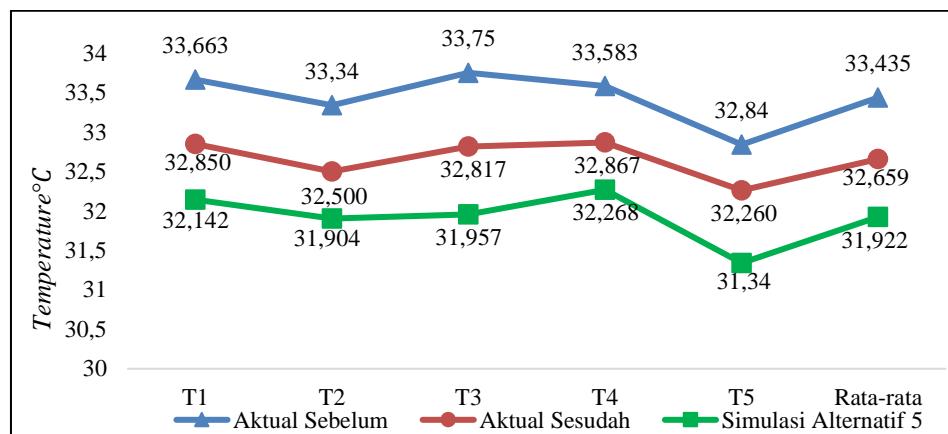
Simulasi	Velocity m/s	Temperature °C
Current	1,125	32,772
Alternatif 1	1,224	32,528
Alternatif 2	1,86	31,992
Alternatif 3	1,256	32,441
Alternatif 4	1,968	31,903
Alternatif 5	1,9	31,922

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan perubahan *layout* alternatif 5 dengan posisi antar *big fan* lurus dan penambahan 12 unit *big fan* menunjukkan hasil yang paling efisien karena dapat mengatur distribusi aliran udara secara merata di seluruh ruangan produksi dengan optimal, efektif, dan biaya yang lebih murah. Kemudian, hasil dari implementasi yang sudah direalisasikan, dari temperatur ruangan di dalam gedung yang awalnya rata-rata $33,435^{\circ}\text{C}$ menjadi $32,659^{\circ}\text{C}$ dengan penurunan temperatur sebesar $0,776^{\circ}\text{C}$ dan penambahan kecepatan angin sebesar $0,781\text{m/s}$ yang awalnya rata-rata $0,833\text{ m/s}$ menjadi $1,614\text{ m/s}$.

Tahapan berikutnya verifikasi hasil dari implementasi yang dilakukan pengukuran data diambil secara aktual pada gedung dengan posisi titik kritis yang sama dengan kondisi eksisting. Dari hasil pengukuran di dapatkan data seperti pada grafik Gambar 7 dan Gambar 8. Grafik persentase ini dibuat untuk menunjukkan hasil optimalisasi yang telah dilakukan, dengan tujuan memperlihatkan peningkatan distribusi aliran udara secara merata serta penurunan temperatur.



Gambar 7. Grafik hasil presentase perbandingan *velocity*



Gambar 8. Grafik hasil presentase perbandingan *temperature*

Dari Gambar 7 dan 8 menunjukkan grafik perbandingan hasil pengukuran data aktual kondisi eksisting, kondisi setelah implementasi, dan hasil simulasi alternatif 5. Hasil pengukuran data aktual setelah implementasi menunjukkan terjadi penurunan temperatur rata-rata sebesar $0,776^{\circ}\text{C}$ dari $33,435^{\circ}\text{C}$ menjadi $32,659^{\circ}\text{C}$ serta peningkatan kecepatan udara sebesar $0,781\text{m/s}$ dari $0,833\text{m/s}$ menjadi $1,614\text{m/s}$. Sehingga, hasil penelitian yang dilakukan dengan optimalisasi aliran udara pada gedung disimpulkan sudah berhasil mengatasi permasalahan dari ketidakmeratanya aliran udara dan upaya peningkatan kenyamanan pekerja. Hal ini terlihat dari penurunan temperatur dan peningkatan aliran udara serta meratanya distribusi udara di dalam gedung.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan optimalisasi aliran udara pada Gedung Assembly Line 2 menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*, disimpulkan bahwa hasil dari simulasi dan implementasi *re-layout* alternatif 5 dengan penambahan 12 unit *big fan* mengalami penurunan temperatur sebesar $0,776^{\circ}\text{C}$ dari $33,435^{\circ}\text{C}$ menjadi $32,659^{\circ}\text{C}$ serta peningkatan kecepatan udara sebesar $0,781\text{m/s}$ dari $0,833\text{m/s}$ menjadi $1,614\text{m/s}$. Kemudian, hasil verifikasi dari perubahan *layout* alternatif 5 menunjukkan peningkatan distribusi aliran udara secara merata di seluruh ruangan produksi dan penurunan temperatur yang paling efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. D. Utami, "Pengaruh keselamatan kerja terhadap kinerja karyawan melalui lingkungan kerja (studi pada divisi industri pt. barata indonesia gresik)," vol. 5, pp. 1–8, 2017.
- [2] M. Ketenagakerjaan and Indonesia, "Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja." p. 258, 2018.
- [3] A. Mohd Noh, M. A. Mohamad Tahir, S. Mat, and M. H. Dzulkifli, "CFD simulation of temperature and airflow inside a shipping container size plant factory for optimal lettuce production," *Food Res.*, vol. 4, pp. 54–59, 2020, doi: 10.26656/fr.2017.4(S6).039.

- [4] R. A. Ratu and F. Anggara, "Inventigasi Analisis Numerik pada Pengaruh Perbandingan Diameter Inlet dan Outlet Guide Vane Terhadap Velocity Profile," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.20527/sjmekinematika.v5i1.98.
- [5] O. R. Kummitha, R. V. Kumar, and V. M. Krishna, "CFD analysis for airflow distribution of a conventional building plan for different wind directions," *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 559–569, 2021, doi: 10.1093/jcde/qwaa095.
- [6] Y. A. Cengel, *Heat Transference a Practical Approach*, vol. 4, no. 9. 2004.
- [7] BMKG, "Data Temperatur dan Kecepatan Angin di Wilayah Jakarta Utara," vol. 4, no. 1, pp. 88–100, 2023.
- [8] Norbert Lechner, *Heating, Cooling, Lighting*, 4th ed. United States of America, 2015.
- [9] R. L. Hedrick *et al.*, "Ventilation for acceptable indoor air quality," *ASHRAE Stand.*, vol. 8400, no. STANDARD 62.1, pp. 1–70, 2010.
- [10] A. C. Yunus and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics Fundamental and Application Third Edition*. 2012.
- [11] S. Hussain, S. Illias, M. T. Mustaffa, and K. Alir, "Thermal Comfort Study of a Classroom in Northern Malaysia : A CFD Approach Thermal Comfort Study of a Classroom in Northern Malaysia : A CFD Approach," no. December, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/670/1/012011.
- [12] H. Bin, A. Kasim, M. Faizal, B. Mohamad, and S. K. Alias, "Computational fluid dynamics analysis on the effect of flow distribution on pedestrian in urban area Computational fluid dynamics analysis on the effect of flow distribution on pedestrian in urban area," *Mater. Sci. Eng.*, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/834/1/012030.
- [13] A. A. Youssef, E. M. Mina, A. R. Elbaz, and R. N. Abdelmessih, "Studying comfort in a room with cold air system using computational fluid dynamics," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 1753–1762, 2018, doi: 10.1016/j.asej.2016.07.005.