

**TUGAS AKHIR - SF234801**

**ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)  
PENGARUH PANEL DIFUSER UDARA PERFORASI  
TERHADAP DISTRIBUSI ALIRAN UDARA DI RUANG J-  
103**

**KHOFIFAH IZZATUR ROHMAH**

**NRP 5001211110**

Dosen Pembimbing

**Susilo Indrawati, S.Si., M.Si.**

**NIP 1986201811001**

**Dr. Suyatno, S.Si., M.Si.**

**NIP 197606202002121004**

**Program Studi Sarjana**

Departemen Fisika

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



**TUGAS AKHIR - SF234801**

**ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)  
PENGARUH PANEL DIFUSER UDARA PERFORASI  
TERHADAP DISTRIBUSI ALIRAN UDARA DI RUANG J-  
103**

**KHOFIFAH IZZATUR ROHMAH**

NRP 5001211110

Dosen Pembimbing

**Susilo Indrawati, S.Si., M.Si**

NIP 19862018110001

Dr. Suyatno, S.Si., M.Si.

NIP 197606202002121004

**Program Studi Sarjana**

Departemen Fisika

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT - SF234801**

**COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ANALYSIS  
OF THE EFFECT OF PERFORATED AIR DIFFUSER  
PANELS ON AIRFLOW DISTRIBUTION IN ROOM J-103**

**KHOFIFAH IZZATUR ROHMAH**

**NRP 5001211110**

Advisor

**Susilo Indrawati, M. Si.**

**NIP 1986201811001**

**Dr. Suyatno, M. Si.**

**NIP 197606202002121004**

**Bachelor Program**

Department of Physics

Faculty of Science and Data Analytics

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) PENGARUH PANEL DIFUSER UDARA PERFORASI TERHADAP DISTRIBUSI ALIRAN UDARA DI RUANG J-103

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar S.Si pada

Program Studi S-1 Fisika

Departemen Fisika

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **KHOFIFAH IZZATUR ROHMAH**

NRP. 5001211110

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Susilo Indrawati, M.Si.  
NIP. 1986201811001

Pembimbing

2. Dr. Suyatno, M.Si.  
NIP. 197606202002121004

Ko-pembimbing

3. Dr. Muhammad Taufiqi, M.Si

Penguji

4. Drs. Bachtera Indarto, M.Si.  
NIP. 196104041991021002

Penguji



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Khofifah Izzatur Rohmah / 5001211110  
Program studi : Fisika  
Dosen Pembimbing 1 / NIP : Susilo Indrawati, S.Si., M.Si. / 1986201811001  
Dosen Pembimbing 2 / NIP : Dr. Suyatno, S.Si., M.Si. / 197606202002121004

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) CFD PENGARUH PANEL DIFUSER UDARA PERFORASI TERHADAP DISTRIBUSI ALIRAN UDARA DI RUANG J-103" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 Juli 2025

Dosen Pembimbing 1

  
Susilo Indrawati, M.Si.  
NIP. 1986201811001

Dosen Pembimbing 2

  
Dr. Suyatno, M. Si.  
NIP. 197606202002121004

Mahasiswa

  
Khofifah Izzatur Rohmah  
NRP. 500121111

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRAK

### ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) PENGARUH PANEL DIFUSER UDARA PERFORASI TERHADAP DISTRIBUSI ALIRAN UDARA DI RUANG J-103

Nama Mahasiswa / NRP : Khofifah Izzatur Rohmah / 5001211110  
Departemen : Fisika  
Dosen Pembimbing 1 : Susilo Indrawati, S.Si., M.Si.  
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Suyatno, S.Si., M.Si.

#### Abstrak

Kenyamanan termal yang tidak efisien dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan bagi pengguna. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan mengoptimalkan desain interior melalui penggunaan panel diffuser udara (air diffuser panel). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan kinerja pola aliran udara di Ruang J-103 melalui penerapan panel diffuser udara. Metode analisis yang digunakan adalah Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan variasi suhu AC, yaitu 16°C, 20°C, dan 28°C, guna mengidentifikasi distribusi tekanan serta pola aliran udara yang optimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan panel perforasi mampu meningkatkan distribusi aliran udara secara merata hingga hampir 50%, sehingga berkontribusi signifikan dalam meningkatkan kenyamanan termal dan mengurangi risiko gangguan kesehatan yang disebabkan oleh aliran udara yang tidak merata, seperti ketegangan otot dan gangguan pernapasan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perancangan sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) yang lebih efisien dan nyaman. Pada kondisi optimal, yaitu saat suhu AC diatur pada 20°C dan pengukuran dilakukan pada ketinggian 1,2 meter, suhu ruangan berada dalam kisaran 23,25°C hingga 27,05°C. Sementara itu, tekanan aliran udara berkisar antara 1.503 Pa hingga 1.528 Pa. Berdasarkan temuan ini, desain panel perforasi direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas sirkulasi udara dalam ruangan dan mengurangi risiko penyakit yang berkaitan dengan ketidakseimbangan aliran udara, seperti Bell's Palsy. Selain itu, penggunaan perangkat lunak ANSYS juga direkomendasikan untuk penelitian sejenis, mengingat efisiensinya dalam melakukan simulasi distribusi aliran udara.

**Kata kunci:** *aliran udara, CFD, desain diffuser perforasi, kenyamanan termal, panel perforasi,*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRACT

### COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ANALYSIS OF THE EFFECT OF PERFORATED AIR DIFFUSER PANELS ON AIRFLOW DISTRIBUTION IN ROOM J-103

**Student Name / NRP** : Khofifah Izzatur Rohmah / 5001211110  
**Department** : Fisika - ITS  
**Advisor 1** : Susilo Indrawati, S.Si., M.Si  
**Advisor 2** : Dr. Suyatno, S.Si., M. Si

#### Abstract

Inefficient thermal comfort can cause various health problems for users. One solution to overcome this problem is to optimize interior design through the use of air diffuser panels. This study aims to analyze the improvement of airflow pattern performance in Room J-103 through the application of air diffuser panels. The analysis method used is Computational Fluid Dynamics (CFD) with variations in air conditioning temperature, namely 16°C, 20°C, and 28°C, to identify the optimal pressure distribution and airflow pattern. The simulation results show that the use of perforated panels can improve the even distribution of airflow by almost 50%, thus contributing significantly to improving thermal comfort and reducing the risk of health problems caused by uneven airflow, such as muscle tension and respiratory problems. This research makes an important contribution to the design of more efficient and comfortable HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems. Under optimal conditions, when the AC temperature was set at 20°C and measurements were taken at a height of 1.2 meters, the room temperature was in the range of 23.25°C to 27.05°C. Meanwhile, the airflow pressure ranged from 1,503 Pa to 1,528 Pa. Based on these findings, a perforated panel design is recommended to improve indoor air circulation quality and reduce the risk of illness. such as Bell's Palsy. In addition, the use of ANSYS software is also recommended for similar research, given its efficiency in simulating airflow distribution.

**Keywords:** *acoustic design, airflow, CFD, perforated panels, thermal comfort*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan Raahmat-Nya, Petunjuk-Nya, serta Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir di Departemen Fisika Fakultas Sains dan Analitika Data ITS dengan judul “ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD) PENGARUH PANEL DIFUSER UDARA PERFORASI TERHADAP DISTRIBUSI ALIRAN UDARA DI RUANG J-103”. Tugas Akhir (TA) ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan Pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika – FSAD ITS Surabaya. terselesaikannya Tugas Akhir (TA) ini tidak akan selesai secara optimal jika tanpa adanya bantuan dan juga bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada

1. Bapak, Ibu, dan Adik yang selalu memberikan dukungan tanpa syarat, menjadi penyemangat terbesar dalam hidup saya. Ibu dan Bapak, terima kasih untuk cinta, doa, dan kerja keras yang tidak pernah berhenti. Anda berdua adalah inspirasi utama saya untuk terus maju dan memberikan yang terbaik. Setiap doa dan pengorbanan yang telah kalian berikan adalah sumber kekuatan yang sangat berharga bagi saya. Saya merasa sangat diberkati memiliki keluarga yang senantiasa memberikan cinta dan kasih sayang tanpa henti.
2. Ibu Susilo Indrawati, M.Si., dan Dr. Suyatno, M. Si. Selaku pembimbing selalu memberi dan meluangkan waktunya untuk membimbing, memberi ilmu pengetahuan, serta masukan hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
3. Bapak Dr.rer.nat. Eko Minarto Selaku Dosen wali yang telah memberi arahan terkait masalah perkuliahan Penulis dan Segenap Dosen dan Staff Departemen Fisika ITS.
4. Endang Nur Hanifah selaku teman yang selalu menemani, mendukung, menguatkan, dan memotivasi saya untuk terus berusaha, berdo'a, dan tidak boleh menyerah dalam kondisi apapun, kenangan-kenangan indah yang tercipta, dan semangat juang yang tidak pernah luntur.
5. Ayatullah Mathamah Firziqillah, Myra Rizky Ardelia, Nesya Azzahra Rianti, dan Siska Yulinda Chesara selaku teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang selalu memberi semangat dan membantu saya ketika kesulitan dalam melakukan pengerjaan Tugas Akhir penulis.
6. Adila, Audy, Kiki, Mifta, Pingky, Ummu, dan Mahara selaku teman-teman yang telah menemani perjalanan ini penuh kesabaran, tawa, dan dukungan yang selalu ada untuk membantu saya dalam setiap kesulitan yang saya hadapi. Terima kasih atas kebersamaan yang luar biasa, kenangan-kenangan indah yang tercipta, dan semangat juang yang tidak pernah luntur. Tanpa kalian, perjalanan ini tidak akan seindah dan sepenuh ini.
7. Kepada teman-teman penghuni akustik Nabiha, Nico, Satria, Sutan, Puput, Mas mehdi, Mas Naufal, dan Adi yang membantu peneliti untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Teman-teman seperjuangan Departemen Fisika Angkatan 2021 “Gluon” yang telah memberikan support sejauh ini.

Berkat bantuan dari pihak-pihak tersebut, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik, namun penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan

ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan penulis sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                | i   |
| PERNYATAAN ORISINALITAS .....                          | iii |
| ABSTRAK .....  | iv  |
| ABSTRACT .....   | vii |
| KATA PENGANTAR .....                                   | ix  |
| DAFTAR ISI .....                                       | xii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                    | xiv |
| DAFTAR TABEL .....                                     | xv  |
| BAB 1    PENDAHULUAN .....                             | 1   |
| 1.1    Latar Belakang .....                            | 2   |
| 1.2    Rumusan Masalah .....                           | 3   |
| 1.3    Batasan Masalah .....                           | 3   |
| 1.4    Tujuan .....                                    | 3   |
| 1.5    Manfaat .....                                   | 3   |
| BAB 2    TINJAUAN PUSTAKA .....                        | 4   |
| 2.1    Hasil Penelitian Terdahulu .....                | 4   |
| 2.2    Continuity .....                                | 5   |
| 2.3    Navier Stoke .....                              | 5   |
| 2.4    Kecepatan Aliran Udara .....                    | 6   |
| 2.5    Perpindahan Panas .....                         | 6   |
| 2.6    Suhu .....                                      | 7   |
| 2.7    British Thermal Unit (BTU) .....                | 8   |
| 2.8    Air Conditioner (AC) .....                      | 9   |
| 2.9    Simulasi CFD (Computation Fluid Dynamics) ..... | 10  |
| 2.10   Panel Perforasi .....                           | 11  |
| BAB 3    METODOLOGI .....                              | 14  |
| 3.1    Metode yang digunakan .....                     | 14  |
| 3.2    Bahan dan peralatan yang digunakan .....        | 14  |
| 3.3    Urutan pelaksanaan penelitian .....             | 15  |
| 3.3.1   Studi Literatur .....                          | 16  |
| 3.3.2   Pengumpulan Data .....                         | 16  |
| 3.3.3   Pengukuran .....                               | 16  |
| 3.3.4   Perancangan / Pemilihan Desain Panel .....     | 17  |

|       |                              |    |
|-------|------------------------------|----|
| 3.3.5 | Simulasi .....               | 17 |
| 3.3.6 | Pengolahan Data .....        | 17 |
| 3.3.7 | Analisis .....               | 17 |
| 3.4   | Pelaksanaan Penelitian ..... | 18 |
| BAB 4 | Hasil dan Pembahasan.....    | 20 |
| 4.1   | Analisis Data .....          | 20 |
| 4.1.1 | Pengukuran .....             | 20 |
| 4.1.2 | Pemodelan / Simulasi .....   | 22 |
| 4.1.3 | Pengaruh Panel .....         | 27 |
| 4.2   | Perhitungan.....             | 37 |
| 4.3   | Pembahasan .....             | 38 |
| BAB 5 | Kesimpulan dan Saran.....    | 39 |
| 5.1   | Kesimpulan.....              | 40 |
| 5.2   | Saran .....                  | 40 |
|       | DAFTAR PUSTAKA .....         | 42 |
|       | LAMPIRAN.....                | 44 |
|       | BIODATA PENULIS .....        | 50 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2 1 Air Conditioner (AC).....   | 9  |
| Gambar 2 2 Simulasi Computation Fluid Dynamics .....   | 11 |
| Gambar 2 3 Panel Perforasi .....   | 11 |
| Gambar 3 1. Diagram Alir .....   | 16 |
| Gambar 3 2 Desain panel perforasi tampak depan .....   | 17 |
| Gambar 4.1 Simulasi terhadap kecepatan pola aliran udara ketika tanpa panel di dalam ruang J 103 (A) Suhu 16°C, (B) Suhu 20°C, dan (C) Suhu 28°C .....   | 22 |
| Gambar 4.2 Simulasi tanpa panel ANSYS CFX ketika suhu 20°C terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC) .....         | 24 |
| Gambar 4.3 Simulasi terhadap suhu ruangan ketika tanpa panel di suhu AC 20°C (A) 1,2 meter, (B) 1,6 meter, dan (C) 2,6 meter.....  | 25 |
| Gambar 4.4 Simulasi terhadap kecepatan pola aliran udara ketika panel di pasaran di dalam ruang J 103 (A) Suhu 16°C, (B) Suhu 20°C, dan (C) Suhu 28°C .....  | 27 |
| Gambar 4.5 Simulasi panel di pasaran ANSYS CFX ketika suhu 20°C terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC) .....    | 29 |
| Gambar 4.6 Simulasi terhadap suhu ruangan ketika panel dipasaran di suhu AC 20°C (A) 1,2 meter, (B) 1,6 meter, dan (C) 2,6 meter.....  | 31 |
| Gambar 4.7 Simulasi terhadap kecepatan pola aliran udara ketika panel di modifikasi di dalam ruang J 103 (A) Suhu 16°C, (B) Suhu 20°C, dan (C) Suhu 28°C.....  | 32 |
| Gambar 4.8 Simulasi panel di modifikasi ANSYS CFX ketika suhu 20°C terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC) ..... | 34 |
| Gambar 4.9 Simulasi terhadap suhu ruangan ketika panel dimodifikasi di suhu AC 20°C (A) 1,2 meter, (B) 1,6 meter, dan (C) 2,6 meter .....  | 36 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4. 1 Data Kecepatan Aliran Udara ( $v$ ) pada Setiap AC ketika Suhu $16^{\circ}\text{C}$ ..... | 20 |
| Tabel 4. 2 Data Kecepatan Aliran Udara ( $v$ ) pada Setiap AC ketika Suhu $20^{\circ}\text{C}$ ..... | 20 |
| Tabel 4. 3 Data Kecepatan Aliran Udara ( $v$ ) pada Setiap AC ketika Suhu $28^{\circ}\text{C}$ ..... | 20 |
| Tabel 4. 4 Data Suhu Ruangan ( $^{\circ}\text{C}$ ) .....  | 21 |
| Tabel 4. 5 Data Kelembapan Relatif rh (%) .....  | 21 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pengendalian aliran udara adalah proses mengatur dan mengontrol aliran udara untuk mencapai tujuan tertentu. Adapun aspek pengendalian udara berdasarkan tujuan antara lain mengurangi kebisingan, meningkatkan efisiensi energi, mengatur suhu dan kelembapan, mencegah polusi udara, dan meningkatkan kenyamanan dan keselamatan. Sebagian besar seseorang akan merasakan nyaman menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara, dan untuk kecepatan aliran udara, suhu ruangan yang dianggap nyaman berkisar antara 20°C hingga 27,1°C. Rentang ini dibagi menjadi beberapa tingkatan: sejuk nyaman (20,5°C - 22,8°C), nyaman optimal (22,8°C - 25,8°C), dan hampir nyaman (25,8°C - 27,1°C). Selain suhu, kelembapan udara juga berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal, dengan kisaran ideal 50% - 80% menurut SNI. Namun, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Cena dan Dear, kenyamanan termal merupakan hasil sinergitas antara beberapa aspek seperti usia, jenis kelamin, tingkat metabolisme, dan waktu dalam setahun (Cena, 2001). Strategi yang dapat dilakukan untuk melakukan efisiensi energi dengan cara mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan, tetapi hal tersebut bukan berarti mengurangi fungsi atau kenyamanan bangunan sehingga kebutuhan energi berkurang, tetapi dengan cara pengendalian dari beban panas dalam ruangan, untuk memenuhi preferensi termal oleh individu (Bauman, 1988).

Beberapa penelitian terkait pola aliran udara dan distribusi temperatur menunjukkan pentingnya pengaturan sistem ventilasi dan aliran udara dalam menciptakan kenyamanan termal. Penelitian oleh Chandra (2020) mengungkapkan bahwa posisi outlet udara dan kecepatan udara sangat mempengaruhi distribusi udara dan temperatur di ruang kantor, dengan hasil yang menunjukkan bahwa lokasi outlet udara berperan penting dalam mendistribusikan udara segar secara merata, meskipun kecepatan udara yang lebih tinggi tidak selalu menjamin efisiensi pendinginan yang optimal. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik yang sistematis, meskipun terbatas pada ruang kantor dan belum memperhitungkan faktor kelembapan atau efisiensi energi. Di sisi lain, penelitian oleh Widiarta (2024) menganalisis pengaruh ventilasi mekanis terhadap sirkulasi udara dan kenyamanan pernapasan menggunakan CFD dan eksperimen, di mana hasilnya menunjukkan bahwa penambahan ventilasi mekanis dengan ACH 6,7 meningkatkan sirkulasi udara tanpa menurunkan tekanan secara signifikan. Meskipun penelitian ini relevan untuk desain bangunan sehat, penelitian ini terbatas pada skala laboratorium dan belum memperhitungkan faktor biaya serta lingkungan lainnya.

Sehingga, penelitian kali ini berfokus pada adanya penambahan panel yang dapat mempengaruhi pola aliran udara dan kenyamanan termal dalam ruangan. Penambahan panel ini diharapkan dapat mengoptimalkan distribusi udara dengan cara yang lebih merata, meningkatkan efisiensi sistem pendingin, serta mengurangi potensi masalah kesehatan yang terkait dengan aliran udara yang tidak merata, seperti penyakit *Bell's palsy* atau gangguan pernapasan. Metode yang digunakan untuk pengoptimalan penggunaan energi ini menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*), metode CFD merupakan suatu metode numerik yang digunakan untuk menganalisis dan memodelkan aliran fluida. Melalui simulasi pemodelan aliran udara menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) terkait penempatan massa

bangunan pada kawasan dapat memberikan informasi penting sehingga dapat digunakan dalam pembangunan kawasan yang sensitif terhadap iklim. Informasi simulasi pemodelan pola aliran udara sangat berguna bagi perancang sebagai dasar perancangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana distribusi suhu dan aliran udara di ruangan J103?
2. Bagaimana hasil simulasi aliran udara menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) di ruangan J103?
3. Apa pengaruh pemberian panel terhadap penyebaran aliran udara di ruangan J103?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Parameter kinerja akustik yang diukur adalah suhu udara, kecepatan udara, dan kelembaban relative,
2. Desain dari bahan yang diuji terbuat dari Polipropilena (PP),
3. Parameter koefisien hamburan pola aliran udara dikarakterisasi dengan pengukuran,
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS.

## 1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang dipaparkan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi distribusi suhu dan aliran udara di ruangan J 103,
2. Menyimulasikan persebaran aliran udara dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD),
3. Menganalisis pengaruh pemberian panel pada ruangan J 103 terhadap penyebaran aliran udara.

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi terkait bentuk visualisasi pemodelan 3D dan menganalisis simulasi aliran udara di ruang kelas J 103. Sehingga dapat dimanfaatkan perancang ataupun masyarakat untuk mendesain dan menata bangunan disekitar sehingga pengguna dapat merasa nyaman dan sehat serta mencegah kemungkinan terjadinya penyakit *Bell's palsy*.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Jouvan Chandra Pratama Putra pada tahun 2020 , membahas pola aliran udara dan distribusi temperatur yang diinduksi oleh sistem air conditioning dalam ruangan kantor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana posisi outlet dan kecepatan udara mempengaruhi distribusi udara dan temperatur guna meningkatkan kenyamanan termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi outlet udara sangat berperan dalam mendistribusikan udara segar secara merata, sementara kecepatan udara yang lebih tinggi tidak selalu menjamin efisiensi pendinginan yang optimal. Keunggulan studi ini terletak pada penggunaan simulasi numerik yang sistematis, serta relevansinya dalam perancangan sistem ventilasi yang efisien. Namun, penelitian ini masih terbatas pada ruang kantor tertentu, belum mempertimbangkan faktor lingkungan lain seperti kelembaban dan jumlah penghuni, serta tidak mengevaluasi efisiensi energi sistem pendinginan. Secara keseluruhan, jurnal ini memberikan wawasan penting mengenai strategi optimasi ventilasi dalam ruangan tertutup (Chandra Pratama Putra, 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Aprilia Rahmi Utama pada tahun 2023 dengan berjudul “pemodelan simulasi aliran udara terhadap bangunan 3D menggunakan CityGML dan Computational Fluid Dynamics (CFD) di Kampus 1 ITN Malang”, yang memiliki tujuan untuk memvisualisasikan pemodelan 3D kampus 1 ITN Malang dengan City GML, untuk mengetahui simulasi aliran udara disekitar kampus 1 ITN Malang, dan Untuk mengetahui nilai RSME hasil simulasi aliran udara terhadap bangunan yang lebih tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Aprilia hasil yang didapat berupa pemodelan 3D dengan CityGML LOD2 mampu memberikan visualisasi bangunan yang lebih detail, serta simulasi CFD dapat menggambarkan pola aliran udara dengan cukup akurat. Simulasi ini mengungkapkan bahwa kepadatan bangunan berpengaruh terhadap kecepatan angin, di mana bangunan yang lebih rapat menyebabkan penurunan kecepatan angin karena hambatan yang lebih besar. Validasi menggunakan data observasi lapangan dan BMKG menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dengan nilai RMSE yang kecil. Dari penelitian ini memiliki beberapa kelebihan, seperti penggunaan metode yang komprehensif dengan gabungan CityGML dan CFD, validasi data dengan observasi lapangan, serta relevansinya untuk perencanaan tata kota guna menciptakan lingkungan yang lebih nyaman. Namun, terdapat beberapa kekurangan, antara lain tidak memasukkan faktor vegetasi yang dapat mempengaruhi pola aliran udara, penggunaan CityGML masih pada LOD2 yang kurang detail dibandingkan LOD3 atau LOD4, serta keterbatasan data observasi yang hanya diambil pada satu hari, sehingga belum merepresentasikan variasi aliran udara dalam jangka waktu lebih panjang. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan penting bagi pengembangan perencanaan kota yang lebih baik dengan mempertimbangkan aspek sirkulasi udara untuk meningkatkan kenyamanan termal di lingkungan perkotaan (Utami, 2023)

Penelitian yang dilakukan oleh I Putu Widiarta pada tahun 2024 membahas analisis pola aliran dan tekanan udara dalam ruangan dengan ventilasi mekanis menggunakan CFD dan eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak ventilasi mekanis terhadap pertukaran udara dan kenyamanan pernapasan. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan ventilasi mekanis dengan ACH 6,7 meningkatkan sirkulasi udara tanpa menyebabkan penurunan tekanan yang signifikan, sehingga tetap memenuhi standar kenyamanan penghuni. Keunggulan studi ini terletak pada pendekatan CFD yang komprehensif dan relevansinya untuk desain bangunan sehat, tetapi masih terbatas pada skala laboratorium dan belum mempertimbangkan aspek biaya serta faktor lingkungan lainnya (Putu Widiarta, 2024).

## 2.2 Continuity

Persamaan *continuity* adalah salah satu hukum dasar dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa massa suatu fluida bersifat kekal, tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Dalam sistem pendingin udara (*air conditioner/AC*), prinsip ini digunakan untuk memastikan bahwa jumlah massa udara yang masuk dan keluar dari suatu saluran distribusi (*duct*) tetap seimbang. Hal ini sangat penting dalam perancangan sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) untuk menjaga kenyamanan termal dan efisiensi distribusi udara (White, 2011). Secara matematis, persamaan keberterusan dalam bentuk umum dituliskan sebagai berikut:

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

Dalam persamaan continuity,  $\rho$  menyatakan massa jenis udara ( $(kg/m^3)$ ),  $\vec{v}$  menyatakan vector kecepatan aliran udara ( $(m/s)$ ). Pada kebanyakan sistem AC bangunan, udara sebagai fluida tak termampatkan (*incompressible*) karena perubahan suhu dan tekanan relatif kecil. Dari asumsi tersebut, persamaan *continuity* dapat disederhanakan menjadi

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (2)$$

Mengartikan bahwa jumlah udara yang masuk ke suatu volume control sama dengan jumlah yang keluar, sehingga tidak terjadi akumulasi massa (Çengel dan Boles, 2015). Dalam konteks sistem AC, memastikan bahwa aliran udara yang keluar melalui duct berjalan dengan efisien dan merata ke seluruh ruangan. Persamaan *continuity* menjadi bagian untuk penyelesaian aliran fluida secara numerik. Persamaan ini digunakan bersamaan dengan persamaan momentum (*Navier-Stokes*) dan energi untuk memprediksi distribusi aliran udara dari outlet AC, menganalisis dead zone (daerah stagnan), dan mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan (Versteeg, 2007).

## 2.3 Navier Stoke

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan bidang ilmu yang memanfaatkan metode numerik dan algoritma komputasi untuk menganalisis dan mensimulasikan aliran fluida. Inti dari analisis CFD adalah penyelesaian numerik terhadap persamaan dasar yang mengatur gerakan fluida, yaitu persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini mewakili hukum kekekalan momentum, dan biasanya disertai dengan persamaan kontinuitas (kekekalan massa), serta, dalam beberapa kasus, persamaan energi. Dalam praktik CFD, bentuk diferensial dari persamaan tersebut diubah menjadi bentuk diskret menggunakan pendekatan numerik seperti

metode beda hingga (FDM), metode elemen hingga (FEM), atau metode volume hingga (FVM). Proses ini dikenal sebagai diskretisasi, dan bertujuan untuk menyelesaikan aliran fluida secara numerik pada grid atau mesh domain tertentu.

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (3)$$

Dengan persamaan kontinuitas (kekekalan massa):

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (4)$$

Dalam persamaan Navier-Stokes,  $u$  menyatakan vektor kecepatan fluida yang memiliki satuan meter per detik (m/s), dan  $t$  merupakan waktu dengan satuan detik (s).  $\rho$  menunjukkan massa jenis fluida (*density*) yang dinyatakan dalam kilogram per meter kubik (kg/m<sup>3</sup>), sedangkan  $p$  adalah tekanan fluida dalam satuan pascal (Pa).  $\mu$  melambangkan viskositas dinamik, yaitu ukuran kekentalan internal fluida, dengan satuan pascal-detik (Pa·s). Sementara itu,  $f$  mengacu pada gaya eksternal per satuan volume, seperti gravitasi, dengan satuan newton per meter kubik (N/m<sup>3</sup>). Terakhir, simbol  $\nabla$  merupakan operator diferensial vektor yang digunakan untuk menyatakan gradien, divergensi, atau laplasian, tergantung pada konteks operasinya dalam persamaan (Versteeg, 2007).

## 2.4 Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara merupakan parameter penting dalam dinamika fluida yang menggambarkan laju pergerakan udara di suatu ruang atau lingkungan. Kecepatan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti perbedaan tekanan, hambatan di sekitar aliran, serta suhu dan densitas udara. Dalam sistem ventilasi dan pendinginan ruangan, kecepatan aliran udara memainkan peran krusial dalam distribusi udara segar, pengurangan panas, serta peningkatan kenyamanan termal bagi penghuni (Kinsler, 2000). Secara matematis, kecepatan aliran udara dapat dihitung menggunakan persamaan kontinuitas dalam dinamika fluida, yaitu:

$$Q = v \cdot A \quad (5)$$

dimana  $Q$  adalah laju aliran volumetrik (m<sup>3</sup>/s),  $v$  adalah kecepatan aliran udara (m/s), dan  $A$  adalah luas penampang aliran (m<sup>2</sup>) (White, 2011). Dalam konteks ventilasi ruangan, nilai kecepatan udara yang ideal bergantung pada fungsinya, di mana untuk ruangan perkantoran direkomendasikan sekitar 0,1 – 0,25 m/s, sementara untuk ruang dengan kebutuhan ventilasi tinggi, seperti laboratorium atau pabrik, dapat mencapai 0,5 – 1 m/s (ASHRAE, 2003). Selain itu, kecepatan aliran udara berperan dalam pencampuran udara yang efisien dan pengenceran polutan di dalam ruangan. Pola aliran udara yang optimal dapat meningkatkan efisiensi energi dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) serta mengurangi risiko penyebaran partikel berbahaya di udara (Awbi, 2003). Oleh karena itu, pemodelan dan simulasi kecepatan aliran udara sering digunakan dalam penelitian untuk mengoptimalkan desain sistem ventilasi dan tata udara dalam bangunan.

## 2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah suatu proses yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara dua benda atau media. Proses ini dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama. Konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi melalui benda padat atau fluida tanpa pergerakan

massa. Proses ini melibatkan perbedaan suhu antara dua titik dalam media, terjadinya konduksi karena partikel-partikel dalam benda tersebut bergetar dan mentransfer energi kinetik kepada partikel yang berdekatan. Material yang memiliki konduktivitas termal tinggi, seperti logam, lebih efisien dalam menghantarkan panas (Çengel, 2015).

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (6)$$

Di mana,  $q$  adalah laju aliran panas ( $\text{W/m}^2$ ),  $-k$  adalah konduktivitas termal material ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ), dan  $\frac{dT}{dx}$  adalah gradien suhu dalam arah  $x$  ( $\text{K/m}$ ). Material yang memiliki konduktivitas termal tinggi, seperti logam, lebih efisien dalam menghantarkan panas (Holman, 2010). Konveksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi melalui fluida (gas atau cairan) yang bergerak. Proses ini melibatkan aliran massa fluida yang membawa energi panas. Konveksi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu konveksi alami dan konveksi paksa. Konveksi alami terjadi akibat perbedaan suhu yang menyebabkan perubahan kerapatan dalam fluida, sedangkan konveksi paksa melibatkan pergerakan fluida yang dipaksakan, misalnya oleh kipas atau pompa (Çengel, 2015). Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik. Berbeda dengan konduksi dan konveksi, radiasi tidak memerlukan media untuk mentransfer energi, karena dapat terjadi di ruang hampa. Semua benda yang memiliki suhu di atas 0 K memancarkan radiasi elektromagnetik. Radiasi panas bergantung pada suhu objek dan sifat permukaan benda tersebut (Incropera, 2007).

Perpindahan panas terjadi dalam keadaan tertutup, ketika aliran panas dari satu titik ke titik lainnya terjadi melalui benda yang terisolasi. Dalam keadaan tersebut, perpindahan panas ketika keadaan tertutup sering kali di aplikasikan pada sistem pendingin (Bejan, 2013). Perpindahan panas memiliki berbagai aplikasi dalam industri, termasuk dalam sistem pendinginan elektronik, desain alat pemanas, serta dalam analisis dan perancangan sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*). Dalam desain sistem pemanas atau pendingin, efisiensi perpindahan panas sangat penting untuk memastikan kinerja yang optimal (Çengel, 2015).

## 2.6 Suhu

Suhu adalah ukuran tingkat energi kinetik rata-rata partikel dalam suatu sistem. Secara umum, suhu menunjukkan seberapa panas atau dingin suatu benda atau sistem. Suhu juga mempengaruhi berbagai proses fisik dan kimia, termasuk perubahan fase dan reaksi kimia. Pengukuran suhu sangat penting dalam banyak aplikasi ilmiah dan teknik, karena suhu seringkali berhubungan langsung dengan sifat-sifat materi (Çengel, 2015). Suhu dapat didefinisikan sebagai ukuran energi kinetik rata-rata partikel dalam suatu materi, yang berhubungan langsung dengan tingkat gerakan partikel tersebut. Pada skala mikroskopik, semakin cepat gerakan partikel, semakin tinggi suhu yang tercatat pada pengukuran makroskopik (Incropera, 2007). Dalam banyak kasus, suhu digunakan untuk menggambarkan keadaan termal suatu objek, yang mempengaruhi sifat fisiknya seperti volume, tekanan, dan kepadatan. Terdapat beberapa skala yang digunakan untuk mengukur suhu, yang paling umum adalah skala Celsius, Fahrenheit, dan Kelvin (Holman, 2010). Suhu mempengaruhi perubahan fase suatu zat. Misalnya, ketika suhu suatu zat meningkat, energi kinetik partikel meningkat, yang dapat menyebabkan perubahan fase dari padat ke cair (pencairan) atau dari cair ke gas

(evaporasi). Sebaliknya, jika suhu diturunkan, materi dapat mengalami perubahan fase dari gas ke cair (kondensasi) atau dari cair ke padat (pembekuan) (Bejan, 2013). Oleh karena itu, pengaturan suhu menjadi sangat penting dalam berbagai proses industri, seperti dalam pembuatan es, pengolahan makanan, dan sistem pendinginan. Suhu juga berhubungan erat dengan energi termal suatu benda. Ketika suatu objek dipanaskan, energi dalam bentuk panas diberikan kepada objek tersebut, yang meningkatkan suhu dan energi kinetik partikel di dalamnya. Sebaliknya, ketika objek tersebut didinginkan, energi panas dikurangi, sehingga suhu dan energi kinetiknya menurun (Çengel, 2015). Dalam termodinamika, suhu merupakan parameter penting dalam hukum pertama termodinamika, yang menyatakan bahwa perubahan energi dalam suatu sistem adalah hasil dari penambahan energi dalam bentuk panas dan kerja. Suhu juga memainkan peran penting dalam hukum kedua termodinamika, yang menyatakan bahwa entropi suatu sistem akan meningkat seiring dengan proses perpindahan panas secara alami dari suhu tinggi ke suhu rendah (Çengel, 2015).

## 2.7 British Thermal Unit (BTU)

British Thermal Unit (BTU) adalah satuan yang digunakan untuk mengukur energi panas. Satu BTU didefinisikan sebagai jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 pound air sebesar 1 derajat Fahrenheit pada tekanan atmosfer normal. BTU sering digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam bidang pendinginan dan pemanasan, untuk mengukur kapasitas alat pemanas, pendingin udara (AC), dan peralatan industri lainnya (Çengel, 2015). BTU, sebagai satuan energi panas, banyak digunakan dalam industri HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) untuk mengukur kapasitas pendinginan atau pemanasan suatu sistem. Satu BTU ekuivalen dengan sekitar 1.055 joule atau 0.293 watt-jam (Holman, 2010). Dalam pengukurannya, BTU dapat menunjukkan jumlah energi yang diserap atau dilepaskan oleh suatu sistem dalam periode waktu tertentu, terutama dalam konteks perubahan suhu. Dalam sistem HVAC, BTU digunakan untuk mengukur kapasitas pendinginan atau pemanasan dari peralatan seperti AC atau pemanas ruangan. Misalnya, AC dengan kapasitas 12.000 BTU akan dapat menghilangkan atau menghasilkan jumlah panas yang setara dengan 12.000 BTU per jam (Çengel, 2015). Kapasitas ini menggambarkan seberapa cepat dan efisien sistem dapat mengubah suhu dalam ruang yang ditentukan. Untuk menghitung kebutuhan BTU dalam sistem pemanasan atau pendinginan, biasanya digunakan rumus yang melibatkan volume ruangan, suhu yang diinginkan, serta faktor-faktor lain seperti isolasi termal dan jumlah penghuni ruangan. Misalnya, untuk menghitung kebutuhan BTU suatu ruangan, rumus umum yang digunakan adalah:

$$BTU = Volume\ Ruang \times Perubahan\ Suhu \times Faktor\ Koreksi \quad (7)$$

Dalam kondisi ruangan J-103, untuk menentukan PK bisa dengan cara hitung total volume dan konversi ke kebutuhan BTU.

$$BTU = Volume\ Ruang \times 141 \quad (8)$$

Dari nilai tersebut dapat menentukan berapa PK yang cocok untuk ruangan tersebut.

$$PK = \frac{BTU}{9000} \quad (9)$$

di mana volume ruangan diukur dalam kaki kubik, perubahan suhu dalam derajat Fahrenheit, dan faktor koreksi tergantung pada karakteristik ruangan seperti insulasi dan penggunaan (Bejan, 2013). BTU juga digunakan untuk mengukur efisiensi energi dalam berbagai sistem pemanas dan pendingin. Dengan mengetahui kapasitas BTU suatu sistem, kita dapat mengevaluasi apakah sistem tersebut memenuhi kebutuhan energi dengan cara yang efisien. Sistem dengan kapasitas BTU yang tepat untuk ukuran ruangan akan menghindari pemborosan energi dan mengoptimalkan konsumsi energi (Holman, 2010)

$$BTU/hr = Q \times 1.8 \quad (10)$$

Di mana Q adalah Kapasitas pendinginan dan 1.8 adalah konversi dari watt ke BTU per jam. Efisiensi ini sangat penting dalam konteks penghematan energi, terutama pada sistem pendinginan dan pemanasan yang beroperasi dalam skala besar. Selain dalam HVAC, BTU juga digunakan dalam industri pembakaran untuk mengukur jumlah energi yang dihasilkan oleh bahan bakar. Sebagai contoh, bahan bakar seperti batu bara, minyak, atau gas alam memiliki nilai BTU tertentu yang menggambarkan jumlah energi yang dilepaskan ketika bahan tersebut terbakar (Çengel, 2015).

## 2.8 Air Conditioner (AC)



Gambar 2 1 Air Condisioner (AC)

Air conditioner (AC) adalah sistem yang digunakan untuk mengatur suhu, kelembaban, dan kualitas udara di suatu ruangan atau bangunan, sehingga menciptakan kenyamanan termal bagi penghuninya. AC bekerja dengan prinsip dasar perpindahan panas, yaitu mengambil panas dari udara dalam ruangan dan membuangnya ke luar melalui proses pendinginan (Çengel, 2015). Air conditioner bekerja dengan prinsip dasar termodinamika yang mengalirkan panas dari dalam ruangan ke luar ruangan. Sistem AC terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kompresor mengompresi refrigeran gas yang bertekanan rendah menjadi gas bertekanan tinggi. Gas panas ini kemudian mengalir ke kondensor, di mana panas dilepaskan ke lingkungan sekitar dan refrigeran berubah menjadi cair. Selanjutnya, refrigeran cair melewati katup ekspansi yang menyebabkan penurunan tekanan dan suhunya. Proses ini menyebabkan refrigeran mendingin dan mengalir melalui evaporator, di mana udara dalam ruangan didinginkan. Udara dingin ini kemudian disirkulasikan ke dalam ruangan untuk menurunkan suhu (Incropera, 2007). Sistem AC terdiri dari empat komponen utama: kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kompresor bertugas untuk memampatkan refrigeran gas sehingga memiliki tekanan dan suhu yang lebih tinggi. Kondensor, yang biasanya berupa koil, berfungsi untuk melepaskan panas dari refrigeran cair ke lingkungan luar. Katup ekspansi mengurangi tekanan refrigeran cair sehingga suhu refrigeran turun, memungkinkan proses pendinginan di evaporator. Evaporator adalah tempat di mana refrigeran mendingin dan menghisap panas dari udara dalam ruangan

(Çengel, 2015). Setiap komponen ini bekerja secara sinergis untuk menciptakan efek pendinginan yang diinginkan.

Proses pendinginan dalam AC dilakukan melalui siklus refrigerasi. Refrigeran, yang berfungsi sebagai medium perpindahan panas, mengalir melalui siklus kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi. Proses ini dimulai ketika refrigeran gas dikompresi oleh kompresor dan berubah menjadi gas panas bertekanan tinggi. Gas panas ini mengalir ke kondensor, di mana ia melepaskan panas ke luar ruangan dan berubah menjadi cair. Refrigeran cair yang masih panas ini kemudian mengalir ke katup ekspansi, di mana tekanannya diturunkan. Setelah melalui katup ekspansi, refrigeran berubah menjadi cair dingin dan mengalir ke evaporator. Di sini, refrigeran menyerap panas dari udara ruangan, menyebabkan udara dalam ruangan menjadi lebih dingin (Holman, 2010). Terdapat berbagai jenis sistem pendingin udara yang digunakan sesuai dengan kebutuhan dan skala penggunaan. Jenis-jenis AC yang umum digunakan antara lain AC sentral, AC split, dan AC portable. AC sentral umumnya digunakan untuk pendinginan area yang luas atau bangunan besar, di mana satu unit pendingin udara terhubung dengan saluran distribusi udara ke berbagai ruangan. AC split, yang terdiri dari unit dalam dan luar ruangan, lebih umum digunakan untuk rumah tinggal atau kantor kecil. Sementara itu, AC portable adalah unit pendingin udara yang dapat dipindahkan dan digunakan untuk area yang lebih kecil dan fleksibel (Çengel, 2015). Kinerja sistem AC sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban udara. Suhu udara yang lebih tinggi akan membuat sistem AC bekerja lebih keras untuk menurunkan suhu ruangan, sedangkan kelembaban yang tinggi juga dapat mempengaruhi efisiensi pendinginan. Ketika kelembaban udara tinggi, AC harus bekerja lebih keras untuk mengurangi kelembaban, selain menurunkan suhu, karena kondensasi kelembaban akan mengurangi kapasitas pendinginan udara (Bejan, 2013). (Ridzuan, 2022). Oleh karena itu, pengaturan suhu dan kelembaban yang optimal sangat penting untuk menjaga efisiensi dan kenyamanan dalam ruangan yang menggunakan AC.

## 2.9 Simulasi CFD (Computation Fluid Dynamics)

*Computational Fluid Dynamics Simulation* (CFD) adalah suatu cabang mekanika fluida yang menggunakan metode numerik untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Simulasi CFD memiliki tiga elemen utama yaitu *pra-prosesor*, *prosesor*, dan *post-prosesor*. Selain memiliki nilai konsentrasinya yang polutan, variable utama simulasi polutan adalah kecepatan angin, temperature dan tekanan. Karena mencerminkan kondisi actual di wilayah studi, sehingga dapat membantu meningkatkan kemampuan memprediksi pergerakan polutan (Ridzuan et al., 2022).



Dalam simulasi CFD untuk ruangan ber-AC, terdapat beberapa parameter input yang harus ditentukan agar hasil analisis dapat merepresentasikan kondisi nyata. Parameter tersebut meliputi geometri ruangan yang mencakup dimensi, tata letak furnitur, serta posisi pintu dan jendela yang dapat mempengaruhi aliran udara (Chen, 2009). Selain itu, kondisi batas (*boundary conditions*) juga menjadi faktor penting, terutama pada inlet sebagai titik masuk udara yang mencakup kecepatan, temperatur, dan kelembaban udara, serta outlet yang berfungsi sebagai titik pembuangan udara dengan tekanan tertentu (Awbi, 2003). Sumber panas dalam ruangan seperti peralatan elektronik, keberadaan manusia, dan radiasi matahari juga perlu diperhitungkan karena berkontribusi terhadap beban pendinginan. Selain itu, sifat fluida udara yang meliputi densitas, kapasitas kalor, dan konduktivitas termal turut menentukan perilaku aliran udara dalam ruangan (Incropera et al., 2007). Pemilihan model turbulensi, baik dalam bentuk aliran laminar maupun turbulen (seperti RANS, LES, atau DNS), juga berperan dalam meningkatkan akurasi simulasi (Pope, 2000).

Hasil dari simulasi CFD pada ruangan ber-AC memberikan beberapa parameter output yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pendingin. Salah satu output utama adalah distribusi suhu di dalam ruangan yang menunjukkan efektivitas pendinginan oleh AC. Selain itu, profil aliran udara yang mencakup kecepatan dan arah aliran menjadi indikator penting dalam memastikan sirkulasi udara yang merata serta menghindari terjadinya zona mati (*dead zones*) yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan temperatur (Nielsen, 2015). Distribusi tekanan di dalam ruangan juga dianalisis untuk mengidentifikasi perbedaan tekanan yang dapat mempengaruhi pola aliran udara. Selain itu, efisiensi ventilasi diukur berdasarkan tingkat pergantian udara per jam (*Air Changes per Hour/ACH*) serta konsentrasi polutan atau gas seperti CO<sub>2</sub> yang dapat berdampak pada kualitas udara dalam ruangan (ASHRAE, 2017). Kenyamanan termal juga dievaluasi menggunakan indeks PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) guna memastikan bahwa kondisi termal dalam ruangan berada dalam rentang yang nyaman bagi penghuni. Dengan demikian, simulasi CFD memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap performa sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal dalam suatu ruangan ber-AC.

## 2.10 Panel Perforasi



Gambar 2 3 Panel Perforasi

Distribusi aliran udara yang tidak merata di dalam ruangan dapat menurunkan kenyamanan termal dan efisiensi energi, menimbulkan potensi masalah kesehatan bagi pengguna. Salah satu pendekatan untuk mengatasi permasalahan ini adalah melalui optimalisasi desain interior dengan penerapan berbasis geometri. Panel perforasi bekerja dengan memungkinkan udara mengalir melalui lubang-lubang yang ada di permukaannya. Ukuran, bentuk, dan distribusi lubang dapat mempengaruhi pola aliran udara yang terjadi di sekitarnya. Panel ini sering digunakan dalam aplikasi HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) untuk meningkatkan distribusi udara dengan cara yang lebih merata di seluruh ruangan. Efektivitas panel perforasi dalam mengatur aliran udara tergantung pada desain lubang dan material yang digunakan (Awbi, 2003). Pola aliran udara yang terbentuk akibat penggunaan panel perforasi dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti ukuran dan distribusi lubang, kecepatan udara, serta desain panel itu sendiri. Ukuran lubang yang lebih kecil akan menghasilkan aliran udara yang lebih terdistribusi secara merata, sementara lubang yang lebih besar dapat mengarah pada aliran yang lebih terfokus. Selain itu, kecepatan udara yang tinggi dapat mempengaruhi distribusi aliran di sekitar panel perforasi, menciptakan turbulensi atau aliran laminar (Fahy, 2001). Salah satu aplikasi utama dari panel perforasi adalah dalam sistem ventilasi. Panel ini dapat membantu mengoptimalkan aliran udara untuk mencapai distribusi yang lebih merata dalam ruang, sehingga meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Dengan desain yang tepat, panel perforasi dapat mengurangi tekanan diferensial yang biasanya terjadi di sekitar ventilasi, yang pada gilirannya mengurangi kebisingan yang dihasilkan oleh sistem ventilasi (McQuillin, 2011). Penggunaan panel perforasi dapat memengaruhi kenyamanan termal dalam suatu ruangan dengan cara mengatur pola aliran udara. Panel perforasi yang dirancang dengan baik dapat memastikan bahwa aliran udara yang masuk ke ruang cukup merata untuk menciptakan kenyamanan termal, dengan menghindari aliran udara yang terfokus yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan atau aliran udara dingin yang berlebihan (Sager & Rother, 2009). Selain mempengaruhi aliran udara, panel perforasi juga sering digunakan dalam desain akustik untuk mengurangi kebisingan yang terjadi akibat perbedaan tekanan udara yang tiba-tiba. Panel perforasi memungkinkan udara bergerak dengan lebih terkontrol, sehingga mengurangi efek suara yang disebabkan oleh turbulensi atau aliran udara yang tidak merata (Bejan, 2013).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Metode yang digunakan

Penelitian ini menggunakan pendekatan numerik melalui simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis perilaku aliran fluida pada AC pada ruangan J 103. CFD dipilih karena kemampuannya untuk memodelkan fenomena aliran fluida dan perpindahan panas secara detail tanpa harus melakukan eksperimen fisik yang memerlukan biaya dan waktu besar. Simulasi CFD dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama yaitu, Pembuatan geometri dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS. Geometri yang dibuat disesuaikan dengan kondisi nyata atau skenario ideal dari sistem yang diteliti. Proses *meshing* dilakukan menggunakan ANSYS Meshing. Mesh dibuat sedetail mungkin untuk menghasilkan hasil simulasi yang akurat, dengan mempertimbangkan kualitas mesh (orthogonal quality, skewness, dsb). Dilakukan uji konvergensi mesh (mesh independence test) untuk memastikan hasil tidak bergantung pada ukuran mesh. Kondisi batas (*boundary condition*) ditentukan sesuai dengan data dan skenario yang akan dianalisis. Beberapa parameter yang ditentukan antara lain, Kecepatan atau debit masuk (*inlet velocity/mass flow rate*). Tekanan keluar (*outlet pressure*), Temperatur dinding atau fluida.

Model fisik yang digunakan dalam simulasi meliputi, Model aliran turbulen, Model perpindahan panas: Konduksi-konveksi, steady/transient, Model multiphase, Pemilihan model disesuaikan dengan karakteristik aliran dan tujuan analisis. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak ANSYS CFX. Solusi dihitung hingga konvergen, yaitu ketika perubahan nilai residual berada di bawah  $1e-5$  atau sesuai standar penelitian. Untuk memastikan keakuratan hasil simulasi, dilakukan validasi dengan data eksperimen atau referensi literatur. Perbandingan dilakukan terhadap parameter seperti kecepatan, tekanan, atau temperatur pada titik-titik tertentu. Data hasil simulasi dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil divisualisasikan dalam bentuk kontur tekanan, kecepatan, temperatur, serta grafik distribusi variabel utama. Interpretasi dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian.

### 3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

Tabel 3 1 Alat penelitian

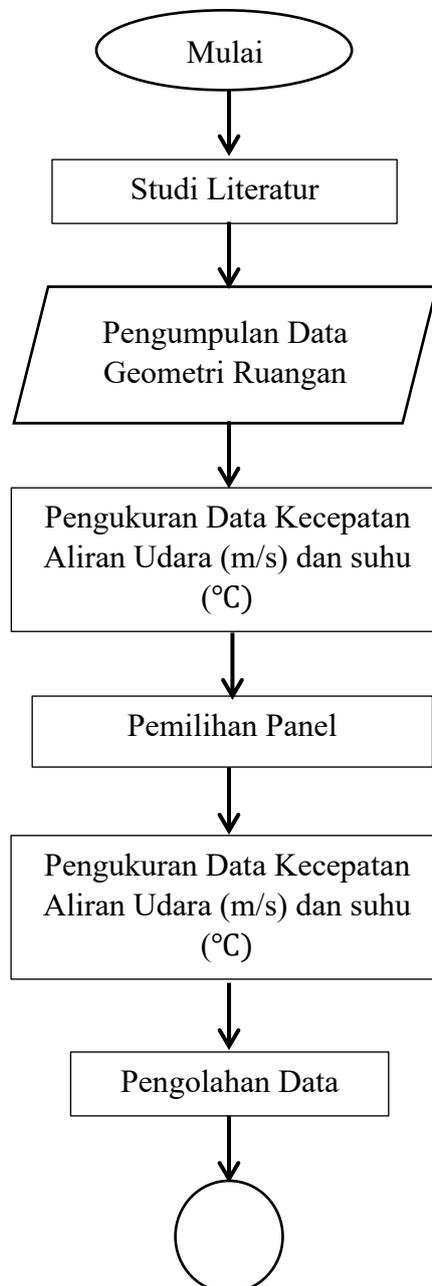
| No | Nama                           | Fungsi  |
|----|--------------------------------|---|
| 1  | Laptop                         | Sebagai alat dalam pengolahan data dan penyusunan laporan                         |
| 2  | <i>Hand Anemometer Digital</i> | Untuk pengambilan sampel kecepatan aliran udara maksimal                          |
| 3  | <i>Hygrometer</i>              | Untuk pengambilan sampel suhu ruangan   |
| 5  | Ansys R12023                   | Untuk pengolahan simulasi CFD ( <i>Computation Fluid Dynamics</i> ) pada model 3D |

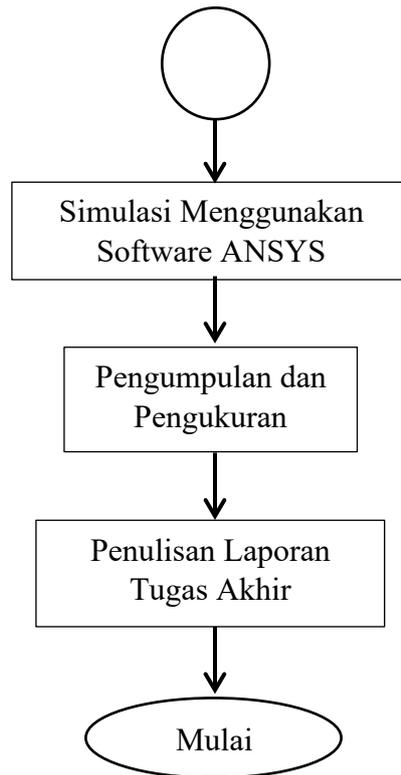
Tabel 3 2 Bahan Penelitian

| No | Nama                           | Fungsi   |
|----|--------------------------------|--|
| 1  | Data Kecepatan Angin           | Sebagai data yang digunakan untuk dimasukkan kedalam simulasi CFD                              |
| 2  | Data suhu                      | Sebagai data yang digunakan untuk dimasukkan kedalam simulasi CFD                              |
| 3  | Data sampel observasi lapangan | Data yang digunakan sebagai perbandingan untuk menghitung nilai antara pengukuran dan simulasi |

### 3.3 Urutan pelaksanaan penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian dilakukan beberapa tahapan dengan yang ditampilkan dengan yang ditampilkan pada diagram alir penelitian pada Gambar 3.1.





Gambar 3 1. Diagram Alir

### 3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah Langkah yang krusial dalam proses penelitian yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai teori dasar yang mendukung penelitian tersebut serta mengumpulkan data dari penelitian sebelumnya. Tujuan utama dari tahap studi literatur ini sebagai memperkuat dasar teori dalam penelitian analisis air flow menggunakan metode CFD. Metode ini melibatkan analisis dan sintesis informasi dari berbagai sumber, termasuk refrensi jurnal, makalah ilmiah, tugas akhir, regulasi, disertasi, buku, dan sumber-sumber tertentu dari internet yang relevan dari penelitian ini. Pendekatan ini memungkinkan penelitian untuk memahami secara menyeluruh tentang konsep-konsep kunci, perkembangan terbaru, dan isu-isu terkait analisis air flow menggunakan metode CFD. Dalam praktiknya studi literatur melibatkan Langkah-langkah berikut:

1. Identifikasi topik penelitian
2. Pencarian sumber literatur
3. Seleksi refrensi
4. Analisis dan sintesis
5. Penguatan dasar teori

### 3.3.2 Pengumpulan Data

Langkah ini merupakan kegiatan dalam mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini. Adapun data yang diambil yaitu geometri ruangan.

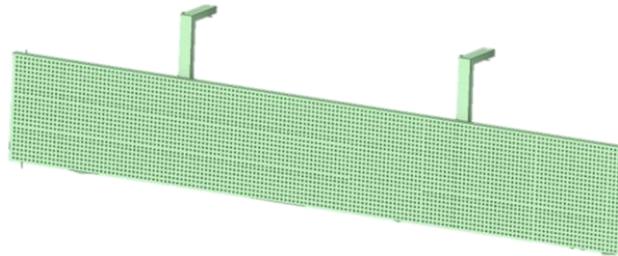
### 3.3.3 Pengukuran

Langkah ini merupakan kegiatan dalam pengukuran data yang dibutuhkan untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini dan perhitungan BTU pada setiap AC yang ada di ruangan

tersebut yang sudah diketahui untuk watt AC yang digunakan dalam ruangan tersebut bernilai 220 – 240 watt. Adapun data yang dibutuhkan yaitu suhu udara, dan kecepatan aliran udara.

### 3.3.4 Perancangan / Pemilihan Desain Panel

Perancangan yang akan diteliti, yakni panel perforasi. Desain panel dibuat dengan perangkat lunak ANSYS SpaceClaim. Desain perforasi berupa pengaturan sudut perforasi. Dengan adanya sudut akan menambahkan Panjang efektif dan lubang. Sehingga untuk ketebalan cukup tips Panjang lubang dapat ditingkatkan. Gambar 3.2 menunjukkan desain panel dengan perforasi. Dan table 3.3 menunjukkan spesifikasi panel yang di desain.



Gambar 3 2 Desain panel perforasi tampak depan

Tabel 3 3 Konfigurasi panel perforasi

| Ketebalan (t) | Diameter lubang (d) | Jarak antar Lubang |
|---------------|---------------------|--------------------|
| 10 mm         | 3mm                 | 10mm               |

### 3.3.5 Simulasi

Karakterisasi dengan disimulasi digunakan untuk menentukan desain mana yang memiliki kemampuan terbaik dari beberapa desain yang dibuat. Parameter akustik akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak ANSYS. Untuk mendapatkan hasil simulasi terhadap distribusi temperature tahapan yang akan dilakukan adalah dengan cara memecahkan model distribusi udara terlebih dahulu. Selanjutnya untuk memecahkan aliran udara perlu dilakukan meshing. 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.

### 3.3.6 Pengolahan Data

Tahap ini merupakan pemrosesan data dilakukan untuk memperoleh produk penelitian yang akan dianalisis. Pengolahan data ini meliputi pengolahan data suhu udara, mean radiant temperature, kecepatan udara, dan kelembaban relatif., pemodelan 3D menggunakan Sketchup 2021, serta pengolahan simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics).

### 3.3.7 Analisis

Tahap ini merupakan tahapan untuk menganalisis hasil pemodelan simulasi aliran udara yang dibuat dan yang didapatkan.

### **3.4 Pelaksanaan Penelitian**

Setelah desain yang dianggap paling optimal diperoleh, langkah berikutnya adalah melakukan validasi melalui proses pengukuran. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi parameter pengukuran kecepatan aliran udara yang bertujuan untuk menentukan seberapa merata energi gelombang aliran udara yang dipantulkan oleh suatu permukaan. Penempatan sampel dalam kondisi terkontrol, dari sumber aliran udara diarahkan ke permukaan sampel untuk mengamati distribusi aliran udara tersebut. Dalam pengukuran ini, temperature AC diatur dengan suhu  $16^{\circ}C$ ,  $20^{\circ}C$ , dan  $28^{\circ}C$  . Sehingga terdapat tiga titik pengukuran yang mempresentasikan pola penyebaran aliran udara dari panel.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Analisis Data

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi suhu dan aliran udara, dengan melakukan simulasi aliran udara menggunakan metode CFD, dan menganalisis pengaruh pemberian panel. Pengujian dan simulasi pada ruangan J 103 terhadap penyebaran aliran udara. Kecepatan aliran udara yang optimal berperan dalam menjaga kenyamanan termal, efisiensi energi, serta kesehatan penghuninya. Data mengenai kecepatan aliran udara pada setiap AC memberikan gambaran yang jelas mengenai distribusi udara yang dihasilkan oleh sistem AC dalam ruang tertentu. Pentingnya data kecepatan aliran udara ini tidak hanya terbatas pada evaluasi kenyamanan, tetapi juga mencakup aspek efisiensi energi dan efektivitas sistem ventilasi dalam kondisi berbeda, seperti suhu ruangan yang bervariasi. Dengan demikian, analisis terhadap data kecepatan aliran udara menjadi elemen yang sangat krusial dalam memahami performa setiap AC secara keseluruhan. Untuk mencapai keberhasilan tujuan tersebut diperlukan beberapa data yang harus terpenuhi sebelumnya dan dari data tersebut dapat di simulasikan menggunakan software ANSYS untuk melihat pola aliran udara dan suhu ruangan.

#### 4.1.1 Pengukuran

Karakteristik AC yang di uji adalah, AC Tipe A dan AC Tipe C menggunakan AC bermerek Panasonic, sedangkan AC Tipe B menggunakan AC merek Daikin. AC Panasonic memiliki karakteristik dengan nilai PK sebesar 1,5 PK dan untuk AC merek Daikin memiliki PK sebesar 0,5 PK dengan tegangan pada ketiga AC bernilai 220V. Pengambilan data ini menggunakan ruangan J-103. Hasil dari pengukuran di ruang J 103 tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4. 1 Data Kecepatan Aliran Udara ( $v$ ) pada Setiap AC ketika Suhu 16°C

| Tipe AC | Kecepatan Aliran Udara $v$ (m/s) |                  |                     |
|---------|----------------------------------|------------------|---------------------|
|         | Tanpa Panel                      | Panel Di Pasaran | Panel Di Modifikasi |
| A       | 2,7                              | 1,3              | 1,7                 |
| B       | 2,5                              | 0,8              | 1,4                 |
| C       | 2,7                              | 1,3              | 1,7                 |

Tabel 4. 2 Data Kecepatan Aliran Udara ( $v$ ) pada Setiap AC ketika Suhu 20°C

| Tipe AC | Kecepatan Aliran Udara $v$ (m/s) |                  |                     |
|---------|----------------------------------|------------------|---------------------|
|         | Tanpa Panel                      | Panel Di Pasaran | Panel Di Modifikasi |
| A       | 2,1                              | 1,1              | 1,3                 |
| B       | 2                                | 0,4              | 1                   |
| C       | 2,1                              | 1,1              | 1,3                 |

Tabel 4. 3 Data Kecepatan Aliran Udara ( $v$ ) pada Setiap AC ketika Suhu 28°C

| Tipe AC | Kecepatan Aliran Udara $v$ (m/s) |                  |                     |
|---------|----------------------------------|------------------|---------------------|
|         | Tanpa Panel                      | Panel Di Pasaran | Panel Di Modifikasi |
| A       | 1,7                              | 1                | 1,1                 |
| B       | 1,9                              | 0                | 0,3                 |

|   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| C | 1,7 | 1 | 1,1 |
|---|-----|---|-----|

Tabel 4. 4 Data Suhu Ruangan ( $^{\circ}C$ )

| Suhu AC<br>( $^{\circ}C$ ) | Suhu Ruangan ( $^{\circ}C$ ) |                  |                     |
|----------------------------|------------------------------|------------------|---------------------|
|                            | Tanpa Panel                  | Panel Di Pasaran | Panel Di Modifikasi |
| 16                         | 27,8                         | 28,7             | 29                  |
| 20                         | 28                           | 29               | 29                  |
| 28                         | 28                           | 30               | 29                  |

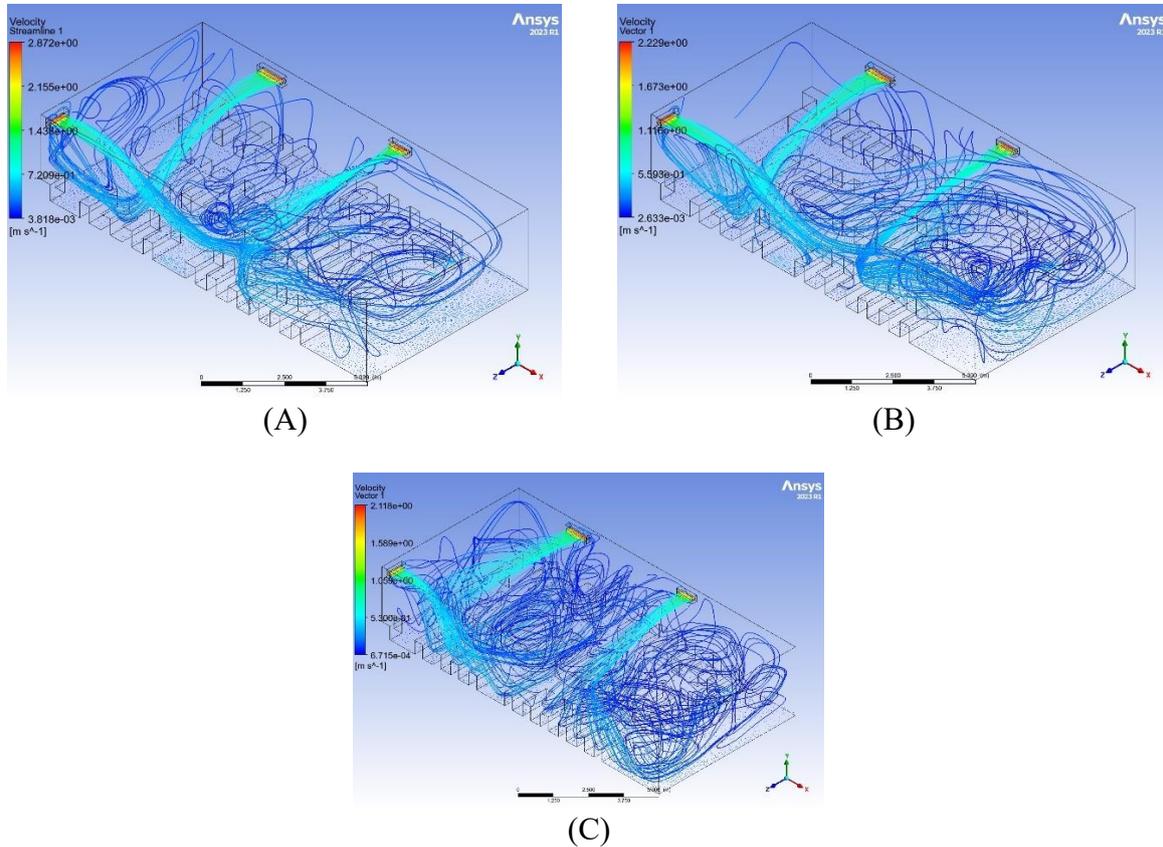
Tabel 4. 5 Data Kelembapan Relatif rh (%)

| Suhu AC<br>( $^{\circ}C$ ) | Kelembapan Relatif rh (%) |                  |                     |
|----------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|
|                            | Tanpa Panel               | Panel Di Pasaran | Panel Di Modifikasi |
| 16                         | 65                        | 61               | 61                  |
| 20                         | 62                        | 61               | 61                  |
| 28                         | 61                        | 61               | 61                  |

Pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3 menyatakan ketika suhu dinaikkan maka akan terjadinya kecepatan aliran udara ( $v$ ) pada ruangan tersebut menjadi lebih kecil. Hal tersebut berhubungan dengan perubahan diferensial suhu antara udara yang dikeluarkan oleh AC dengan suhu ruangan, yang mana kecepatan aliran udara semakin kecil ketika suhu ruangan semakin tinggi. Dapat dilihat pada tabel 4.1 hingga 4.3, pada suhu rendah ( $16^{\circ}C$ ) AC bekerja lebih efektif dalam menghasilkan kecepatan aliran udara yang tinggi, karena selisih suhu yang besar, sementara pada suhu ( $28^{\circ}C$ ) perbedaan suhu tersebut berkurang, sehingga terjadinya penurunan kecepatan aliran udara. AC yang mempunyai kapasitas PK yang lebih besar juga mempengaruhi kecepatan aliran udara, dari data pengukuran didapatkan hasil simulasi pada Gambar 4.1. Untuk Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara, dan untuk kecepatan aliran udara menurut SNI disarankan pada kecepatan 1,5m/s hingga 2,5m/s. Dari data pada Tabel 4.1 hingga 4.5 menunjukkan bahwa penggunaan panel, baik "Panel Di Pasaran" maupun "Panel Di Modifikasi", secara konsisten menurunkan kecepatan aliran udara dari AC dibandingkan kondisi "Tanpa Panel". Kecepatan yang lebih rendah ini berpotensi mengurangi dampak hembusan udara dingin yang langsung dan kuat ke tubuh seseorang. Meskipun demikian, panel di pasaran dapat menurunkan kecepatan aliran udara hingga 0 m/s pada AC Tipe B. Kondisi ini tidak ideal karena tidak memberikan sirkulasi udara sama sekali, yang juga dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal. Kondisi yang paling seimbang adalah menggunakan "Panel Di Modifikasi". Panel ini berhasil menurunkan kecepatan aliran udara dibandingkan kondisi tanpa panel, tetapi masih mempertahankan kecepatan yang cukup untuk sirkulasi udara (misalnya, 1,7 m/s pada suhu  $16^{\circ}C$  dan 1,1 m/s pada suhu  $28^{\circ}C$  untuk AC Tipe A dan C). Pada Tabel 4.4 Data suhu ruangan menunjukkan bahwa dengan panel, suhu ruangan cenderung lebih hangat ( $29-30^{\circ}C$ ) dibandingkan tanpa panel ( $27.8-28^{\circ}C$ ). Kondisi ini, meskipun tidak memenuhi standar SNI untuk kenyamanan termal, dapat mengurangi "kejutan dingin" yang bisa menjadi pemicu Bell's palsy.

#### 4.1.2 Pemodelan / Simulasi

Simulasi dilakukan setelah didapatkannya pengukuran yang berada didalam ruang J 103, dengan adanya tiga AC di ruang J 103. Parameter yang diambil ada 3 parameter yaitu, kecepatan aliran udara, suhu, dan kelembapan relative. Sehingga dari parameter tersebut didapatkan nilai hasil dari simulasi berupa kecepatan aliran udara, tekanan dan suhu. Untuk simulasi kecepatan aliran udara dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Simulasi terhadap kecepatan pola aliran udara ketika tanpa panel di dalam ruang J 103 (A) Suhu 16°C, (B) Suhu 20°C, dan (C) Suhu 28°C

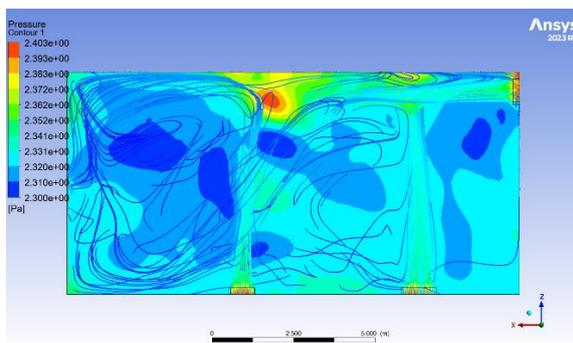
Dari Gambar 4.1 (a) bahwa distribusi aliran udara dingin pada ruangan J 103 secara efektif menyebarkan udara dingin dari AC ke Sebagian besar ruangan, udara tersebut akan cenderung turun dan menyebar di sepanjang lantai, seperti yang terlihat pada streamlines Gambar 4.1 (a) ruangan tersebut akan mengalami pendinginan yang cepat dan suhu akan cenderung merata di area dengan aliran udara aktif. Tetapi dengan suhu AC yang sangat rendah dan kecepatan aliran udara yang tinggi hingga mencapai 2,872 m/s, maka akan adanya potensi untuk merasakan hembusan udara yang dingin drafts yang tidak nyaman serta berpotensi terkena penyakit Bell's palsy terutama di jalur aliran langsung dari AC, dari Gambar 4.1 (a) terlihat beberapa area yang termasuk zona stagnan atau zona dengan kecepatan udara rendah yang ditandai dengan warna biru gelap.

Dari gambar 4.1 (b) distribusi aliran udara yang keluar dari inlet AC kemudian masuk ke dalam ruangan dengan warna oranye hingga kuning terang, menunjukkan bahwa udara dihembuskan dengan kecepatan tertinggi dari titik-titik ini (maksimum sekitar 2.229 m/s). Dari persebaran awal tersebut Udara yang keluar dari inlet bergerak lurus ke depan dengan kecepatan tinggi. Garis-garis streamlines yang terdapat pada Gambar 4.1 (b) menyatakan bahwa garis

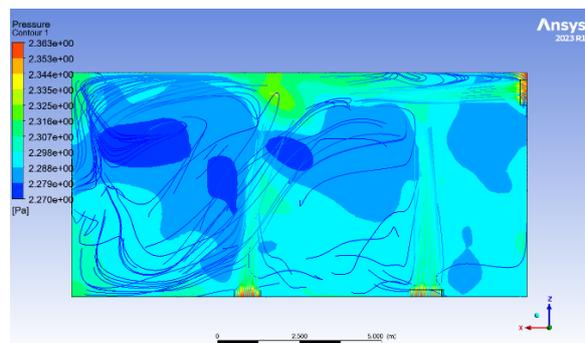
aliran yang padat dan lurus berwarna kuning/hijau muda menunjukkan jalur awal udara. Setelah udara bergerak lebih jauh ke dalam ruangan dan berinteraksi dengan massa udara lainnya serta dinding/struktur, aliran mulai menjadi turbulen. Ini ditunjukkan oleh garis-garis aliran biru yang melengkung, meliuk-liuk, dan saling bersilangan di sebagian besar bagian tengah dan bawah ruangan. Turbulensi ini sangat penting karena membantu pencampuran udara di seluruh ruangan, mendistribusikan panas atau dingin secara lebih merata dan terdapat indikasi aliran udara yang berputar atau membentuk pusaran (vorteks) di beberapa area, terutama di sudut-sudut atau di balik struktur di bagian kiri bawah (mungkin furnitur atau partisi). Sebagian aliran udara terlihat turun ke bawah menuju lantai, kemudian menyebar secara horizontal di sepanjang permukaan lantai dan bergerak ke arah depan ruangan. Ini menunjukkan bahwa pendinginan atau sirkulasi udara juga mencapai level yang lebih rendah di dalam ruangan. Adapun area yang memiliki kecepatan rendah/stagnan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 (b) bagian-bagian ruangan yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona-zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah. Area-area ini dapat menjadi "zona mati" di mana udara cenderung stagnan atau pergerakannya sangat lambat. Dalam konteks suhu, zona-zona ini mungkin mengalami fluktuasi suhu yang lebih besar atau kurang optimal karena pertukaran udara yang minim.

Dari Gambar 4.1 (c) Distribusi aliran udara yang dihembuskan ke dalam ruangan dengan kecepatan tinggi dinyatakan dengan warna oranye/kuning. Persebaran udara dingin yang dihembuskan dari saluran atas bergerak lurus ke depan dengan kecepatan tinggi. Ketika aliran udara ini menemui penghalang atau saat energi kinetiknya berkurang, aliran udara mulai menyebar dan bercabang. Pada Gambar 4.1 (c) terlihat banyak garis aliran (streamlines) menunjukkan pola turbulen dan tidak teratur, khususnya di bagian tengah dan bawah ruangan. Ini ditunjukkan oleh garis-garis biru yang meliuk-liuk dan saling silang. Pola turbulen membantu pencampuran udara di dalam ruangan. Beberapa aliran udara terlihat turun ke bawah dan menyebar di sepanjang lantai, kemudian bergerak ke arah depan dan samping. Adapun indikasi aliran udara yang berputar atau membentuk sirkulasi di beberapa area, terutama di sudut-sudut ruangan atau di belakang struktur di bagian bawah kiri. Pada bagian ruangan yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona-zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah. Ini bisa menjadi "zona mati" di mana udara cenderung stagnan atau pergerakannya sangat lambat. Zona-zona ini mungkin mengalami suhu yang kurang optimal karena pertukaran udara yang minim.

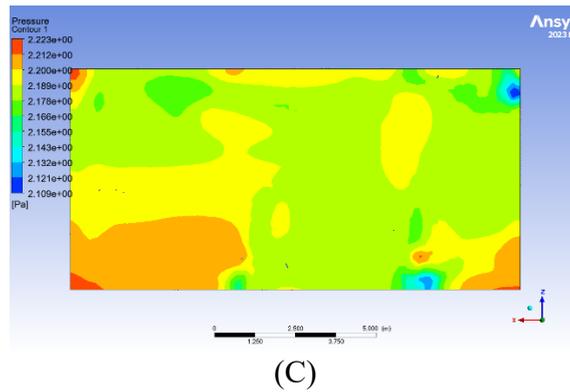
Simulasi berupa tekanan memiliki variasi pada ketinggian dan suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.2



(A)



(B)



Gambar 4. 2 Simulasi tanpa panel ANSYS CFX ketika suhu 20°C terhadap *pressure* (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)

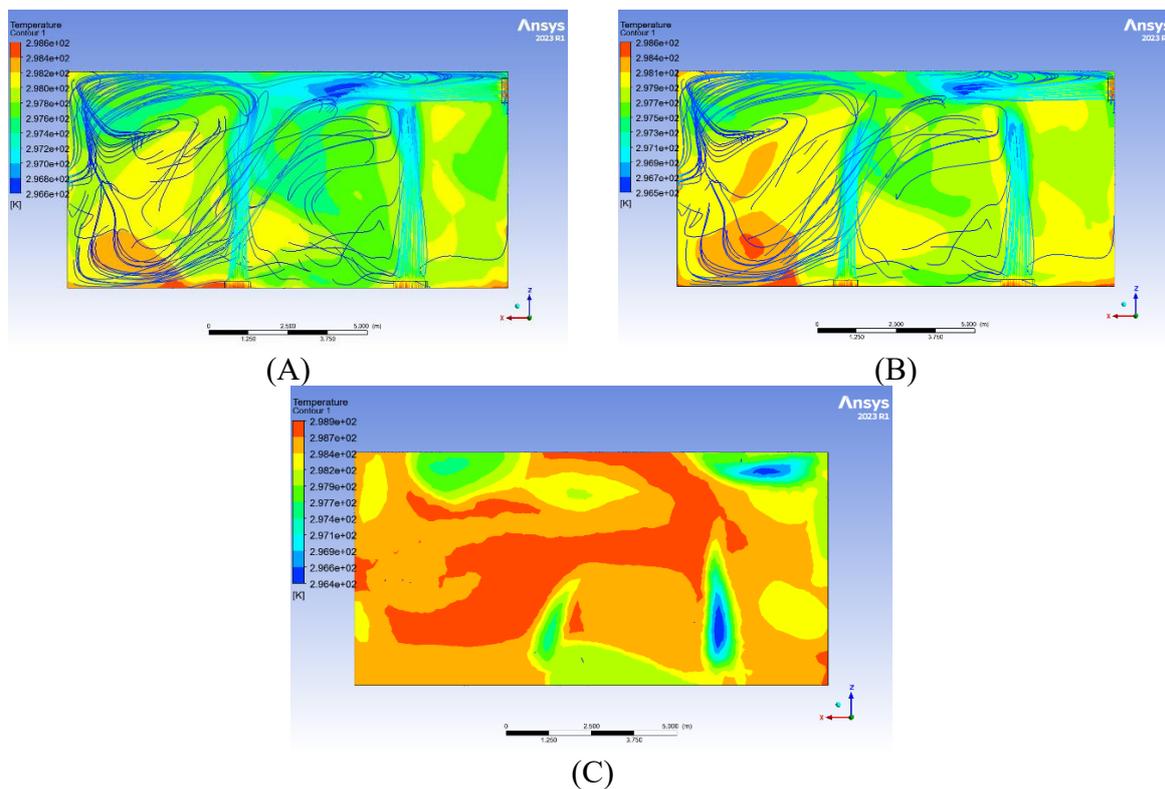
Pada Gambar 4.2 (a) menunjukkan rentang tekanan dari sekitar kisaran 2.300 Pa hingga 2.403 Pa, dengan Sebagian besar ruangan didominasi oleh warna biru muda hingga biru, yang menunjukkan bahwa area dengan tekanan yang lebih rendah dibandingkan puncak tekanan. Area puncak tekanan atau tekanan tinggi yang berwarna oranye/kuning. Ini terlihat jelas di bagian atas-tengah ruangan dan juga di dekat beberapa saluran masuk udara di sudut kanan atas dan kiri atas. Tekanan tinggi di dekat saluran masuk ini adalah hal yang wajar karena udara dihembuskan ke dalam ruangan, menciptakan dorongan atau area bertekanan positif. Sedangkan area berwarna biru tua menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Area ini tersebar di beberapa bagian ruangan, terutama di sisi kiri dan kanan bawah, serta di beberapa "kantong" di tengah. Tekanan rendah sering kali terkait dengan area di mana udara bergerak lebih cepat (sesuai prinsip Bernoulli) atau area di mana udara ditarik keluar. Garis aliran (streamlines), Garis-garis ini menunjukkan pola aliran udara pada ketinggian 1.2 meter. Terlihat bahwa udara mengalir keluar dari area tekanan tinggi dan menuju area tekanan rendah, menciptakan pola sirkulasi yang kompleks. Pada ketinggian ini, kita melihat beberapa kantong tekanan rendah yang lebih dalam dan area tekanan tinggi yang lebih kuat di titik-titik tertentu. Hal ini bisa berarti bahwa orang yang duduk mungkin mengalami perbedaan tekanan yang lebih terasa, yang secara tidak langsung dapat mempengaruhi persepsi kenyamanan aliran udara (misalnya, adanya hembusan angin langsung atau stagnasi).

Pada Gambar 4.2 (b) menunjukkan rentang tekanan dari sekitar 2.270 Pa hingga 2.363 Pa. Rentang tekanan di ketinggian 1.6 meter ini secara keseluruhan sedikit lebih rendah daripada di ketinggian 1.2 meter. Nilai tekanan maksimum dan minimumnya lebih rendah. Sama seperti pada ketinggian 1,2 meter warna biru muda hingga biru mendominasi, menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Area tekanan tinggi (oranye/kuning) masih terlihat di lokasi yang serupa, yaitu di dekat saluran masuk udara di sudut kanan atas dan kiri atas. Namun, area oranye/kuning ini tampak sedikit lebih kecil atau kurang intens dibandingkan pada ketinggian 1.2 meter, dan nilai puncaknya juga lebih rendah. Sedangkan area tekanan rendah (biru tua) juga tersebar di berbagai lokasi, mirip dengan gambar pertama, menunjukkan pola sirkulasi dan perbedaan tekanan yang mendorong aliran udara. Garis aliran (streamlines) pola garis aliran udara juga terlihat pada ketinggian 1.6 meter, menunjukkan pergerakan udara dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah. Rentang tekanan yang sedikit lebih rendah secara keseluruhan menunjukkan bahwa pada ketinggian berdiri, mungkin ada sedikit tekanan statis yang lebih rendah atau distribusi tekanan yang sedikit berbeda. Ini bisa berarti bahwa efek "dorongan" dari AC mungkin sedikit berkurang di ketinggian ini, atau udara telah menyebar lebih merata.

Pada Gambar 4.2 (c) menunjukkan rentang tekanan dari sekitar 2.109 Pa hingga 2.223 Pa. Sebagian besar area atap didominasi oleh warna kuning cerah hingga hijau muda. Ini

menunjukkan bahwa sebagian besar area atap berada dalam rentang tekanan yang relatif menengah hingga tinggi dalam skala yang disajikan. Terdapat beberapa area berwarna oranye hingga kuning terang yang mengindikasikan tekanan yang lebih tinggi. Area-area ini terlihat terutama di sepanjang tepi bawah (dekat dinding belakang tempat inlet udara AC berada) dan di beberapa "pulau" di tengah. Kehadiran tekanan tinggi di dekat area inlet udara (yang biasanya berada di bagian atas dinding atau langit-langit) adalah wajar, karena udara dihembuskan masuk, menciptakan zona bertekanan positif. Area berwarna biru kehijauan hingga hijau gelap menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Area ini tersebar di beberapa lokasi, seperti di sudut kanan atas dan beberapa spot di bagian tengah. Area tekanan rendah ini mungkin berhubungan dengan daerah di mana udara telah menyebar atau di mana ada efek "penarikan" (entrainment) udara akibat kecepatan aliran. Tekanan yang lebih tinggi di tingkat hunian (1.2m dan 1.6m) memastikan bahwa udara dingin yang dihembuskan didorong ke area di mana orang berada, membantu menjaga kenyamanan termal. Ketinggian atap sendiri mungkin tidak langsung mempengaruhi kenyamanan manusia, tetapi pola tekanannya adalah indikator bagaimana sistem AC bekerja untuk mendistribusikan udara di seluruh volume ruangan.

Simulasi suhu ruangan memiliki variasi pada ketinggian dan suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Simulasi terhadap suhu ruangan ketika tanpa panel di suhu AC 20°C (A) 1,2 meter, (B) 1,6 meter, dan (C) 2,6 meter

Pada Gambar 4.3 (a) dengan ketinggian 1.2 meter dengan nilai suhu ruangan 25,4°C, pada area merah/oranye lebih panas, sedangkan area biru/hijau lebih dingin. Pada area yang lebih hangat, terutama di bagian kiri bawah dan tengah gambar, serta beberapa di sepanjang tepi bawah. Ini mungkin merupakan area di mana terdapat sumber panas, atau di mana sirkulasi udara stagnan, menyebabkan panas menumpuk. Area yang lebih dingin terlihat di bagian kanan atas dan beberapa bagian di sepanjang tepi atas dan kanan. Ini kemungkinan besar adalah area

yang dipengaruhi oleh unit pendingin udara atau asupan udara segar, atau di mana udara yang lebih dingin mengendap. Pada Gambar 4.3 (a) ada beberapa pusaran atau vorteks (pola berputar) yang terlihat, terutama di bagian kiri dan tengah ruangan. Ini menunjukkan bahwa udara tidak bergerak dalam aliran searah yang sederhana. Di mana garis aliran jarang atau menunjukkan putaran kecil yang sangat rapat, itu menunjukkan area dengan kecepatan udara yang relatif rendah atau udara yang stagnan, yang dapat berkontribusi pada variasi suhu lokal. Terdapat arus yang terlihat jelas, misalnya, udara tampak bergerak dari kanan atas menuju kanan bawah, dan juga dari kiri atas ke bawah. Ini menunjukkan adanya lubang masuk dan keluar udara, atau mungkin kipas. Adanya pola pusaran berarti udara bercampur, yang umumnya baik untuk mendistribusikan suhu. Namun, pusaran lokal yang kuat juga dapat menciptakan hembusan angin atau area di mana udara tidak bercampur secara efisien, menyebabkan titik panas atau dingin.

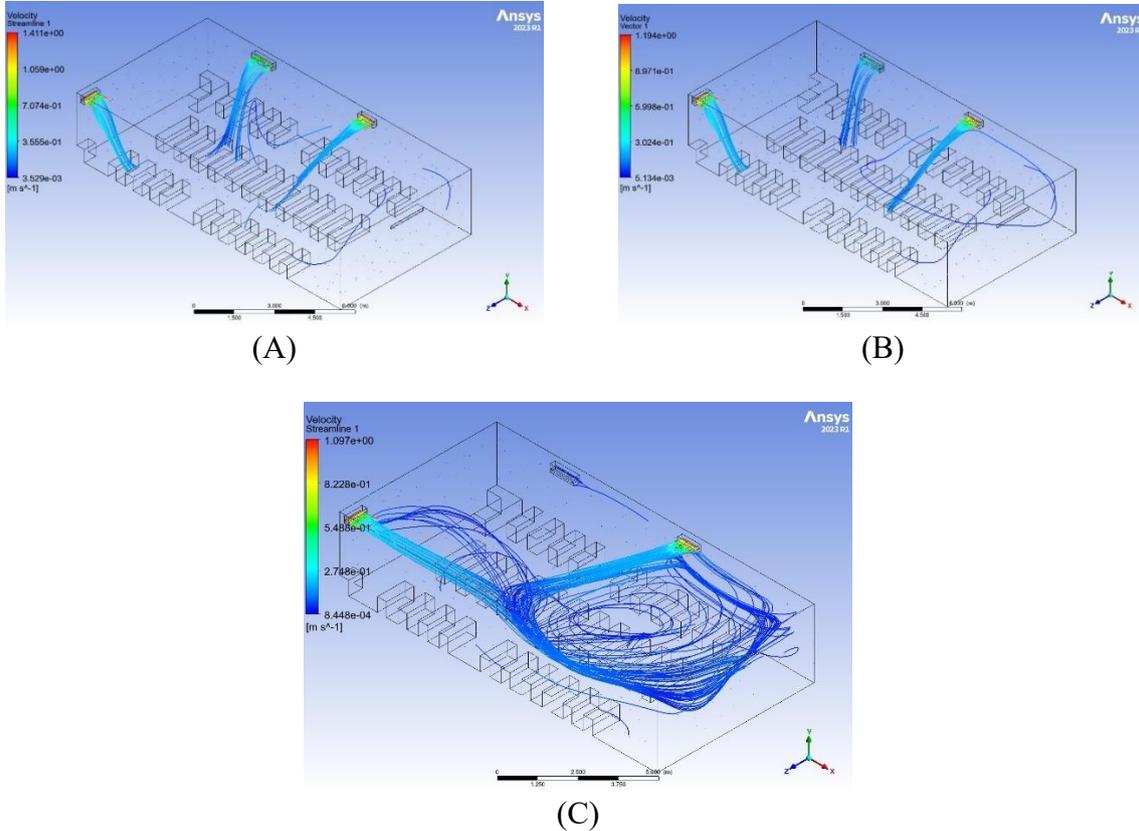
Pada Gambar 4.3 (b) dengan ketinggian 1,6 meter dengan nilai suhu ruangan  $25,4^{\circ}\text{C}$ , pada area merah/oranye lebih panas, sedangkan area biru/hijau lebih dingin. Sama seperti Gambar 4.3 (a) area yang lebih hangat, terutama di bagian kiri bawah dan tengah gambar. Ada juga area panas yang lebih luas di bagian tengah dan cenderung memanjang ke kanan. Ini bisa menunjukkan adanya sumber panas di ketinggian 1,6 meter atau area di mana udara panas cenderung naik dan berkumpul, atau kurangnya sirkulasi udara efektif di zona tersebut. Area yang lebih dingin terlihat di bagian atas kanan dan sepanjang tepi atas. Ini konsisten dengan adanya unit pendingin udara di bagian atas ruangan yang mengeluarkan udara dingin, yang kemudian mulai menyebar. Pola sirkulasi udara masih kompleks, namun mungkin ada sedikit perbedaan dibandingkan dengan Gambar 4.3 (a) pada ketinggian 1.2 meter. Dapat dilihat pusaran udara (eddies/vortices) yang signifikan, terutama di sisi kiri dan tengah ruangan. Ini menunjukkan pencampuran udara yang aktif. Dapat dilihat perbedaan dominan pada pola aliran. Pada ketinggian 1.6 meter, yang lebih tinggi dari ketinggian pernapasan normal saat duduk, aliran udara mungkin lebih dipengaruhi oleh outlet AC (jika ada di atas) atau sirkulasi udara keseluruhan ruangan. Udara dingin dari AC (yang cenderung jatuh) mungkin lebih terlihat dampaknya di bagian atas ruangan. Ada area di mana garis aliran sangat padat, menunjukkan kecepatan udara yang lebih tinggi, dan area di mana garis aliran lebih jarang atau membentuk pusaran kecil, menunjukkan kecepatan udara yang lebih rendah atau potensi area stagnan.

Pada Gambar 4.3 (c) dengan ketinggian 2,6 meter dengan suhu ruangan berkisar  $25,7^{\circ}\text{C}$ . Kisaran ini masih tergolong nyaman untuk lingkungan dalam ruangan, meskipun ada variasi yang lebih lebar dibandingkan ketinggian sebelumnya. Area merah/oranye lebih panas, sedangkan area biru/hijau lebih dingin. Pada ketinggian 2.6 meter, sebagian besar ruangan didominasi oleh warna merah dan oranye, yang menunjukkan suhu yang relatif lebih tinggi. Ada area merah yang sangat luas di bagian tengah dan kiri ruangan, menunjukkan udara hangat cenderung berkumpul di bagian atas ruangan. Pada area lebih dingin da beberapa kantong kecil udara yang lebih dingin (biru/hijau), terutama terlihat di bagian kanan atas dan sedikit di bagian tengah bawah. Keberadaan area dingin di kanan atas sangat konsisten dengan lokasi unit pendingin udara yang biasanya dipasang di bagian atas dinding, mengeluarkan udara dingin yang kemudian perlahan-lahan menyebar dan turun.

### 4.1.3 Pengaruh Panel

#### 4.1.3.1 Panel Di Pasaran

Simulasi kecepatan aliran udara pada ruangan J 103 untuk panel di pasaran memiliki variasi pada suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.4



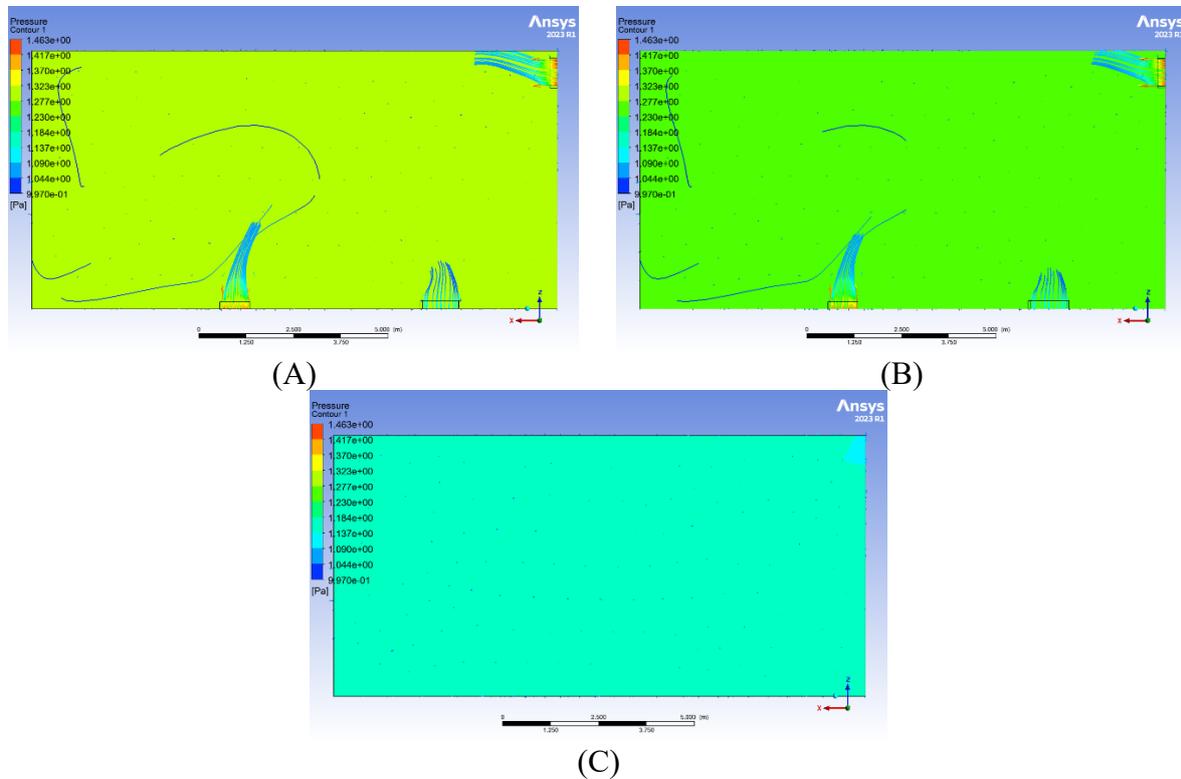
Gambar 4. 4 Simulasi terhadap kecepatan pola aliran udara ketika panel di pasaran di dalam ruang J 103 (A) Suhu 16°C, (B) Suhu 20°C, dan (C) Suhu 28°C

Pada Gambar 4.4 (a) terdapat tiga sumber utama aliran udara yang masuk, pada area inlet didominasi oleh warna oranye dan kuning terang, yang menunjukkan bahwa udara dihembuskan dengan kecepatan tertinggi dengan nilai 1,411 m/s. persebaran udara yang keluar dari inlet bergerak lurus ke depan dengan kecepatan tinggi. Garis-garis aliran awal yang padat dan berwarna kuning/hijau muda menunjukkan jalur dorongan utama udara. Udara dingin yang lebih padat cenderung turun ke bawah dan menyebar di antara deretan objek, kemudian bergerak ke arah depan ruangan dan juga beberapa aliran kembali ke sisi. Pada area yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah atau stagnan. Objek-objek interior kemungkinan besar menciptakan lebih banyak area bayangan aliran atau "zona mati" di belakangnya, di mana udara kurang bergerak. Ini terlihat di beberapa sudut atau celah di antara objek-objek. Dengan suhu AC 16 °C, pola aliran yang terhalang dan terdistorsi oleh objek-objek akan menyebabkan distribusi suhu yang kurang seragam dibandingkan ruangan kosong, menciptakan tantangan dalam mencapai kenyamanan termal yang merata dan menghindari "hot spot" atau "cold spot" yang berlebihan.

Pada Gambar 4.4 (b) tiga sumber utama aliran udara masuk, yang terlihat sebagai lubang persegi panjang di bagian atas dinding belakang ruangan. Area di dekat lubang-lubang ini didominasi oleh warna oranye hingga kuning terang, menunjukkan bahwa udara dihembuskan dengan kecepatan tertinggi dari titik-titik ini. Udara yang dihembuskan dari inlet bergerak lurus ke depan dengan kecepatan tinggi. Kemudian udara berinteraksi dengan deretan objek, menyebabkan aliran berbelok, menyebar, dan menciptakan pola turbulen yang kompleks di antara dan di sekitar objek-objek tersebut. Banyak garis aliran menunjukkan bahwa udara dipaksa untuk bergerak di lorong-lorong sempit di antara objek-objek. Ini dapat menyebabkan peningkatan kecepatan lokal di beberapa titik atau sebaliknya, menciptakan zona dengan aliran yang terhambat. Meskipun ada banyak penghalang, masih terlihat pola turbulen (garis-garis biru yang meliuk-liuk dan saling bersilangan) di seluruh ruangan. Turbulensi ini sangat penting untuk pencampuran udara yang efektif, membantu menyebarkan udara dari AC ke seluruh volume ruangan, meskipun kini lebih terarah oleh tata letak objek. Udara dingin yang lebih padat cenderung turun ke bawah dan menyebar di antara deretan objek, kemudian bergerak ke arah depan ruangan dan juga beberapa aliran kembali ke sisi. Pada area yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah atau stagnan. Objek-objek interior kemungkinan besar menciptakan lebih banyak area bayangan aliran atau "zona mati" di belakangnya, di mana udara kurang bergerak. Ini terlihat di beberapa sudut atau celah di antara objek-objek. Pada aliran udara ini menunjukkan bahwa tata letak interior memainkan peran krusial dalam membentuk pola aliran udara dan, akibatnya, distribusi suhu. Dengan suhu AC 20 °C, pola aliran yang terhalang dan terdistorsi oleh objek-objek akan menyebabkan distribusi suhu yang kurang seragam dibandingkan ruangan kosong, menciptakan tantangan dalam mencapai kenyamanan termal yang merata dan menghindari "hot spot" atau "cold spot" yang berlebihan, meskipun suhu setpointnya sudah dalam rentang yang nyaman.

Pada Gambar 4.4 (c) terdapat tiga inlet udara utama di bagian atas dinding belakang ruangan (terlihat sebagai lubang persegi panjang berwarna oranye/kuning). Udara dihembuskan dari sini dengan kecepatan tertinggi. Aliran udara dari inlet kiri dan kanan bergerak lurus ke depan, dengan aliran dari inlet kiri tampak lebih dominan dan mencapai jarak yang lebih jauh sebelum bertemu hambatan. Objek-objek balok di lantai secara signifikan mengganggu dan mengubah pola aliran udara. Udara dipaksa untuk berbelok, menyebar, dan mengalir melalui celah-celah di antara objek. Aliran udara cenderung menyebar secara horizontal di antara lorong-lorong yang dibentuk oleh objek. Terdapat banyak garis aliran biru yang meliuk-liuk dan membentuk pusaran kecil di antara objek, menunjukkan adanya turbulensi dan resirkulasi udara. Ini berarti udara berputar-putar di area tertentu, yang penting untuk pencampuran tetapi juga bisa berarti udara tidak selalu bergerak dalam satu arah yang efisien. Udara terlihat turun ke bawah dan menyebar di sepanjang permukaan lantai setelah berinteraksi dengan objek-objek. Area yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah atau stagnan. Objek-objek interior menciptakan banyak "zona mati" ini, terutama di belakang objek atau di sudut-sudut yang tidak terkena hembusan langsung. Dengan AC 28 °C, sistem ini akan berfungsi lebih sebagai sistem ventilasi untuk mencegah penumpukan panas berlebihan dan mendistribusikan udara moderat ke seluruh ruangan, daripada sebagai sistem pendingin agresif. Objek-objek interior akan menciptakan tantangan signifikan dalam mencapai homogenitas suhu yang sempurna dan dapat menyebabkan "hot spot" di area-area dengan aliran udara yang terhambat.

Simulasi berupa tekanan memiliki variasi pada ketinggian dan suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.5



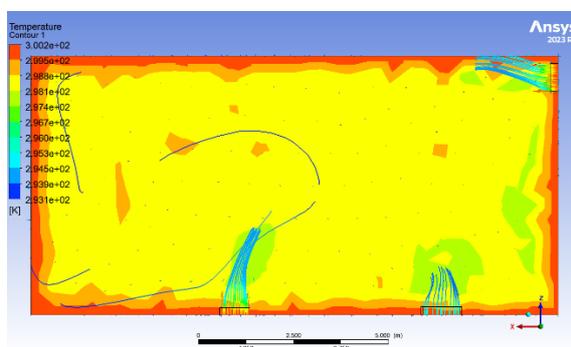
Gambar 4. 5 Simulasi panel di pasaran ANSYS CFX ketika suhu 20°C terhadap *preasure* (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)

Pada Gambar 4.5 (a) Menunjukkan rentang tekanan yang relatif sempit, dari sekitar 0.997e+00 Pa (sekitar 1 Pa) hingga 1.463e+00 Pa (sekitar 1.463 Pa). Sebagian besar area pada ketinggian 1.2 meter ini didominasi oleh warna kuning cerah hingga hijau muda. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar ruangan pada ketinggian ini memiliki tekanan yang relatif homogen, berada di kisaran tengah hingga tinggi dari skala yang ditunjukkan. Ada beberapa area berwarna oranye hingga kuning terang yang mengindikasikan tekanan yang lebih tinggi. Ini terlihat jelas di bagian tengah-bawah ruangan, terutama di sekitar dua lokasi yang menyerupai grille atau saluran keluar udara di lantai (bagian bawah gambar). Tekanan tinggi di dekat saluran keluar udara di lantai adalah hal yang wajar karena udara dihembuskan keluar, menciptakan dorongan atau area bertekanan positif. Ada juga area kecil tekanan tinggi di sudut kanan atas. Area berwarna hijau gelap (tidak ada biru tua yang signifikan dalam gambar ini) menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Area ini tersebar di beberapa bagian, terutama di sisi kiri dan kanan bawah. Garis-garis aliran menunjukkan bahwa udara keluar dari area tekanan tinggi di lantai dan menyebar ke arah samping dan atas. Pola ini terlihat lebih "terfokus" pada aliran keluar dari lantai dibandingkan gambar aliran sebelumnya yang lebih banyak berasal dari atas. Pola tekanan pada ketinggian 1.2 meter yang didominasi oleh hembusan udara dari lantai. Tekanan ini adalah mekanisme pendorong di balik aliran udara yang akan menentukan bagaimana suhu didistribusikan di area hunian.

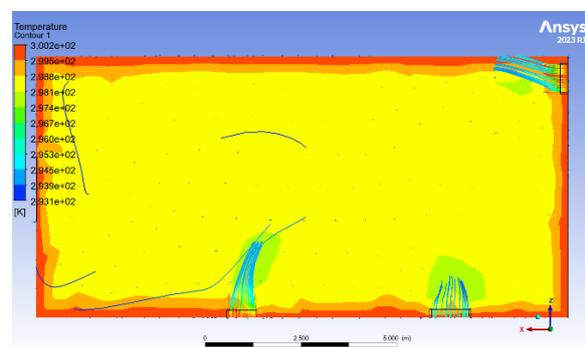
Pada Gambar 4.5 (b) Menunjukkan menunjukkan rentang tekanan yang relatif sempit, dari sekitar  $0.997e+00$  Pa (sekitar 1 Pa) hingga  $1.463e+00$  Pa (sekitar 1.463 Pa). Sebagian besar area pada ketinggian 1.6 meter ini didominasi oleh warna kuning cerah hingga hijau muda. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar ruangan pada ketinggian ini memiliki tekanan yang relatif homogen dalam skala yang disajikan. Ada beberapa area berwarna oranye hingga kuning terang yang mengindikasikan tekanan yang lebih tinggi. Ini terlihat di bagian tengah-bawah ruangan, khususnya di sekitar dua lokasi yang menyerupai grille atau saluran keluar udara di lantai. Tekanan tinggi di dekat saluran ini menunjukkan di mana udara dihembuskan keluar. Ada juga area kecil tekanan tinggi di sudut kanan atas. Area berwarna hijau gelap menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Garis-garis aliran menunjukkan bahwa udara keluar dari area tekanan tinggi di lantai dan menyebar. Pola ini terlihat lebih "terfokus" pada aliran keluar dari lantai. Area tekanan tinggi di lantai menunjukkan titik masuk udara, sedangkan area yang relatif seragam di sebagian besar ruangan pada ketinggian 1.6 meter menunjukkan bahwa tekanan telah tersebar setelah udara dihembuskan. Garis-garis aliran menunjukkan bagaimana udara ini kemudian bergerak dan menyebar.

Pada Gambar 4.5 (c) Menunjukkan rentang tekanan yang relatif sempit, dari sekitar  $0.997e+00$  Pa (sekitar 1 Pa) hingga  $1.463e+00$  Pa (sekitar 1.463 Pa). Seluruh area pada ketinggian 2.6 meter ini didominasi oleh warna biru muda hingga hijau muda (cyan/light blue), dengan sangat sedikit variasi warna. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar ruangan pada ketinggian ini memiliki tekanan yang sangat seragam dan relatif rendah dalam skala yang disajikan. Hanya ada sedikit area berwarna oranye/kuning terang yang mengindikasikan tekanan tinggi. Yang paling jelas terlihat adalah di sudut kanan atas ruangan. Pada ketinggian 2,6 meter di dominan area adalah biru muda/cyan, yang mewakili tekanan yang relatif rendah dan sangat seragam, pada ketinggian 2.6 meter sangat menunjukkan kondisi tekanan di dekat langit-langit dalam sebuah ruangan yang menggunakan sistem distribusi udara dari bawah (UFAD). Tekanan yang seragam dan rendah, ditambah dengan area tekanan tinggi kecil yang mengindikasikan saluran balik udara, menguatkan gagasan tentang stratifikasi termal dan peran ketinggian ini dalam mengeluarkan udara hangat dari ruangan.

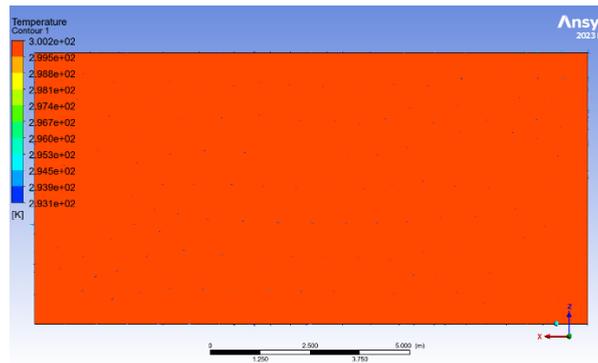
Simulasi suhu ruangan memiliki variasi pada ketinggian dan suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.6



(A)



(B)



(C)

Gambar 4. 6 Simulasi terhadap suhu ruangan ketika panel dipasaran di suhu AC 20°C (A) 1,2 meter, (B) 1,6 meter, dan (C) 2,6 meter

Pada Gambar 4.6 (a) dengan ketinggian 1.2 meter dapat dilihat suhu berkisar antara 19.95°C hingga 27.0°C. Ini adalah rentang suhu yang cukup luas, menunjukkan adanya variasi signifikan dalam ruangan. Suhu 19.9°C bisa terasa dingin, sementara 27.05°C masih cukup hangat untuk standar kenyamanan dalam ruangan. Area oranye/merah menunjukkan suhu yang lebih tinggi, sedangkan area kuning/hijau/biru menunjukkan suhu yang lebih rendah. Dominasi warna oranye dan merah sangat terlihat di sebagian besar area gambar, menunjukkan bahwa sebagian besar ruangan pada ketinggian 1.2 meter berada pada suhu yang relatif hangat hingga panas (sekitar 27°C atau lebih). Ini bisa menunjukkan bahwa pendinginan tidak efektif di sebagian besar area atau ada sumber panas yang signifikan. Area yang lebih dingin (kuning-hijau-biru) hanya terlihat di beberapa lokasi terisolasi di bagian kanan atas, ada area biru/hijau yang cukup jelas. Ini mungkin menunjukkan lokasi diffuser AC yang menghembuskan udara dingin, yang kemudian mulai menyebar ke bawah. Di bagian kanan bawah, ada juga area hijau/kuning yang lebih dingin. Ini bisa jadi area di mana udara dingin dari diffuser di atas telah mencapai ketinggian ini atau ada outlet udara dingin lainnya. Ada sedikit area hijau/kuning di kiri bawah, yang juga bisa menjadi area yang terkena aliran udara dingin. Garis-garis aliran terlihat berasal dari area dingin di kanan atas (menunjukkan hembusan udara dingin dari AC) dan beberapa dari area di bagian bawah (kemungkinan return air atau aliran udara dingin dari bawah). Dengan sebagian besar area pada suhu 26-27°C (dan bahkan lebih tinggi di beberapa titik), ini menunjukkan bahwa banyak penghuni ruangan mungkin merasa kurang nyaman karena suhu yang cenderung hangat pada ketinggian pernapasan mereka.

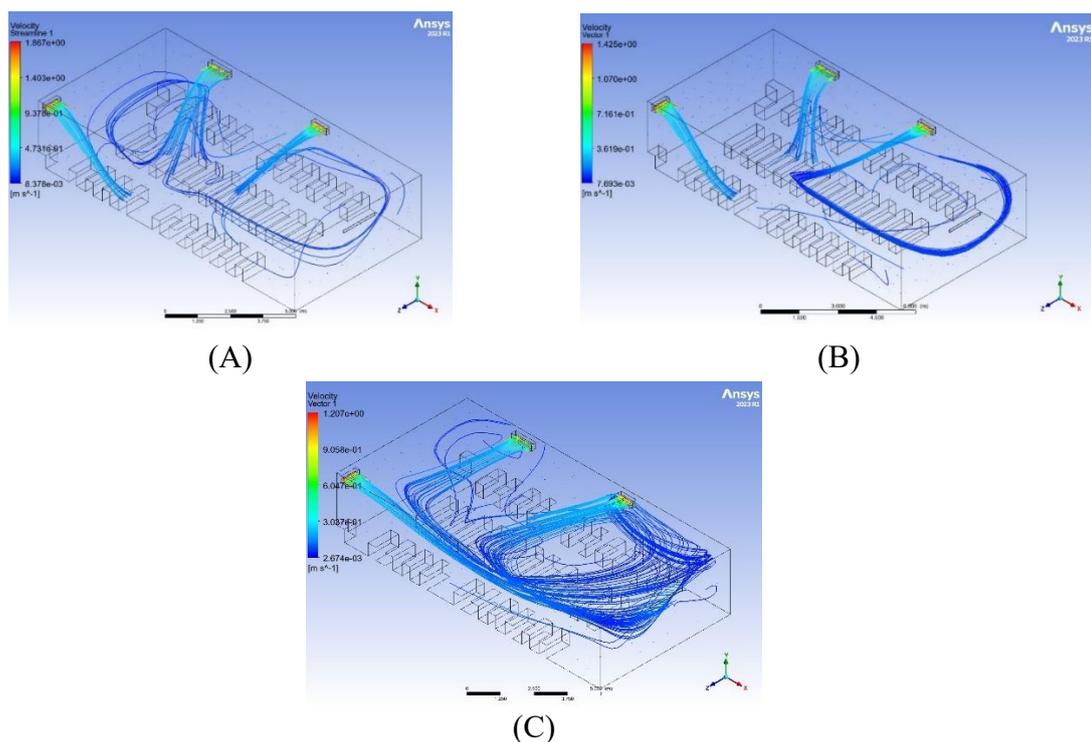
Pada Gambar 4.6 (b) dengan ketinggian 1.6 meter dapat dilihat suhu berkisar antara 19.95°C hingga 27.05°C. Area oranye/merah menunjukkan suhu yang lebih tinggi, sedangkan area kuning/hijau/biru menunjukkan suhu yang lebih rendah, sebagian besar ruangan pada ketinggian 1.6 meter didominasi oleh warna oranye dan merah. Ini menunjukkan bahwa suhu yang relatif hangat (sekitar 27°C atau lebih) juga mendominasi pada ketinggian ini. Ini konsisten dengan akumulasi udara panas yang cenderung naik. Area yang lebih dingin hanya terlihat di beberapa lokasi yang sangat spesifik dan terisolasi, di bagian kanan atas, ada area biru/hijau yang jelas. Ini adalah lokasi diffuser AC, dan pada ketinggian 1.6 meter (yang lebih dekat ke langit-langit daripada 1.2 meter), aliran udara dinginnya masih cukup terkonsentrasi. Di bagian kanan bawah dan tengah bawah, ada area hijau/kuning. Garis aliran udara yang terlihat di sini mengonfirmasi bahwa udara dingin dari diffuser AC di atas telah mencapai zona ini, menciptakan "pulau-pulau" dingin di tengah lautan udara hangat. Garis-garis aliran menunjukkan pergerakan udara dingin yang keluar dari diffuser di kanan atas dan turun ke

bawah. Ada juga beberapa garis aliran yang mengalir dari outlet di bagian bawah, menunjukkan pergerakan udara dingin di ketinggian tersebut. Fakta bahwa sebagian besar ruangan tidak memiliki garis aliran yang padat menunjukkan bahwa sirkulasi udara di area tersebut cenderung lemah atau stagnan. Udara panas yang terperangkap tidak dicampur secara efektif. Dominasi suhu hangat ( $26\text{-}27^{\circ}\text{C}$  atau lebih) pada ketinggian ini mengindikasikan bahwa ruangan tersebut mungkin terasa tidak nyaman bagi sebagian besar penghuninya, terutama dalam iklim tropis seperti Surabaya.

Pada Gambar 4.6 (c) dengan ketinggian 2.6 meter dapat dilihat suhu berkisar antara  $19.95^{\circ}\text{C}$  hingga  $27.05^{\circ}\text{C}$ . Area oranye/merah menunjukkan suhu yang lebih tinggi, sedangkan area kuning/hijau/biru menunjukkan suhu yang lebih rendah. Pada Gambar 4.6 (c) didominasi warna merah dan oranye yang hampir absolut di seluruh penampang ruangan pada ketinggian 2.6 meter. Hampir tidak ada warna lain yang terlihat, kecuali sedikit perubahan warna di tepi-tepi ruangan, mengindikasikan bahwa suhu di seluruh area pada ketinggian 2.6 meter adalah seragam, dan suhunya berada pada kisaran tertinggi, yaitu sekitar  $27^{\circ}\text{C}$  (atau lebih). Ini adalah bukti kuat dari akumulasi udara panas di bagian atas ruangan.

#### 4.1.3.2 Panel Di Modifikasi

Simulasi kecepatan aliran udara pada ruangan J 103 untuk panel di pasaran memiliki variasi pada suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Simulasi terhadap kecepatan pola aliran udara ketika panel di modifikasi di dalam ruang J 103 (A) Suhu  $16^{\circ}\text{C}$ , (B) Suhu  $20^{\circ}\text{C}$ , dan (C) Suhu  $28^{\circ}\text{C}$

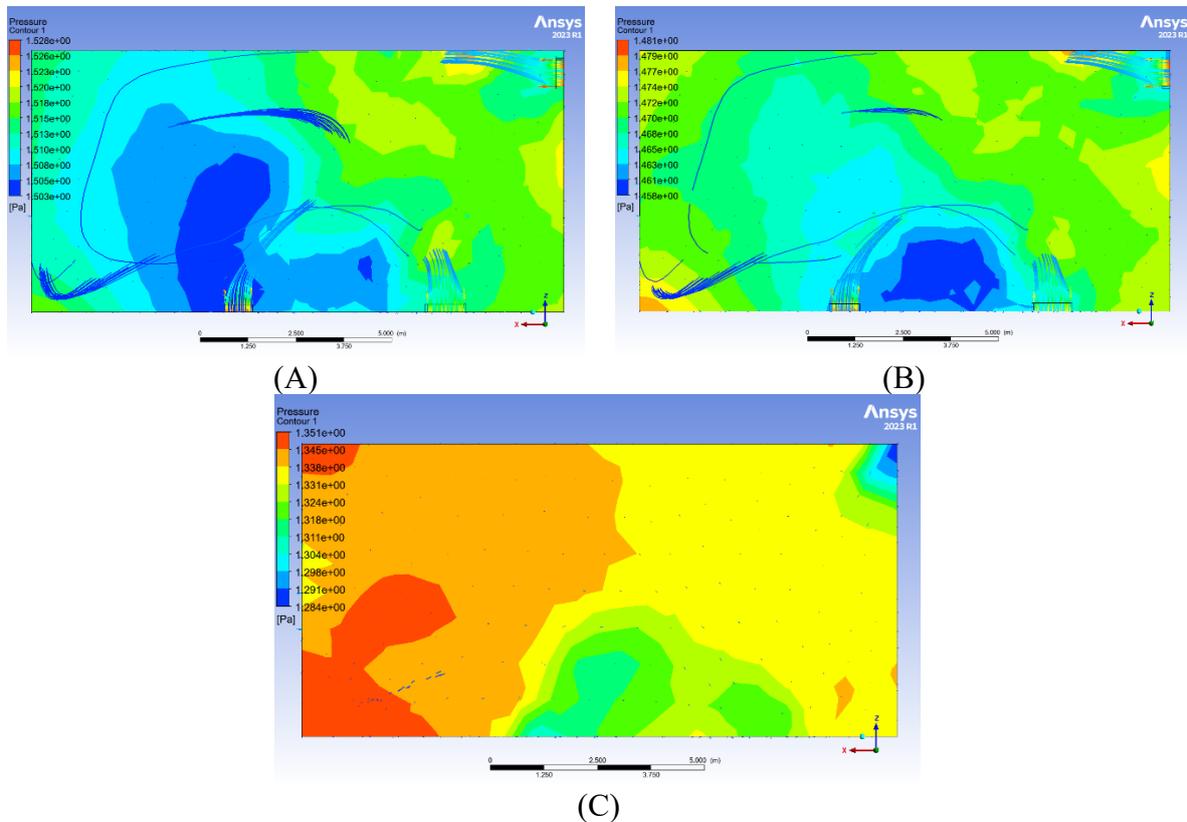
Pada Gambar 4.7 (a) terdapat tiga saluran masuk udara (inlet) yang jelas terlihat di bagian atas dinding belakang ruangan. Warna oranye/kuning terang di dekat inlet menunjukkan bahwa udara dihembuskan dengan kecepatan tinggi dari titik-titik ini. Udara dingin yang dihembuskan dari AC dipaksa untuk membelok, menyebar, dan mengalir melalui celah-celah sempit di antara

objek-objek tersebut. Di seluruh bagian ruangan, terutama di antara dan di sekitar objek-objek, terlihat banyak garis aliran biru yang meliuk-liuk, bercabang, dan saling bersilangan. Ini menunjukkan adanya turbulensi dan resirkulasi udara yang ekstensif. Udara dingin 16°C yang lebih padat akan cenderung turun ke bawah setelah dihembuskan dari atas. Garis-garis aliran menunjukkan udara bergerak ke arah lantai dan menyebar di antara deretan objek. Setelah mencapai lantai atau berinteraksi dengan objek di tingkat rendah, banyak garis aliran menunjukkan udara yang kemudian bergerak kembali ke atas atau menyebar secara horizontal. Ini melengkapi pola sirkulasi di mana udara dingin turun, menyerap panas dari ruangan, dan kemudian naik kembali. Area yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah atau stagnan. Objek-objek interior secara signifikan meningkatkan jumlah dan luasnya "zona mati" ini, terutama di belakang objek atau di sudut-sudut yang tidak terkena hembusan langsung.

Pada Gambar 4.7 (b) terdapat tiga saluran masuk udara (inlet) yang jelas terlihat di bagian atas dinding belakang ruangan. Area di dekat inlet ini didominasi oleh warna oranye/kuning terang, menandakan bahwa udara dihembuskan dengan kecepatan tinggi dari titik-titik ini. Ini adalah outlet AC. Udara dari AC dipaksa untuk membelok, menyebar, dan mengalir melalui celah-celah sempit di antara objek-objek. Hal ini menciptakan jalur aliran yang kompleks, terkadang dengan peningkatan kecepatan lokal di lorong-lorong sempit dan area kecepatan rendah di balik penghalang. Udara yang lebih dingin (dari AC) dan lebih padat akan cenderung turun ke bawah setelah dihembuskan dari atas. Garis-garis aliran menunjukkan udara bergerak ke arah lantai dan menyebar di antara deretan objek. Setelah mencapai lantai atau berinteraksi dengan objek di tingkat rendah, banyak garis aliran menunjukkan udara yang kemudian bergerak kembali ke atas atau menyebar secara horizontal. Ini melengkapi pola sirkulasi di mana udara dingin turun, menyerap panas dari ruangan, dan kemudian naik kembali. Area yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah atau stagnan.

Pada Gambar 4.7 (c) terdapat tiga saluran masuk udara (inlet) yang jelas terlihat di bagian atas dinding belakang ruangan. Area di dekat inlet ini didominasi oleh warna oranye/kuning terang, menandakan bahwa udara dihembuskan dengan kecepatan tinggi dari titik-titik ini. Ini adalah outlet AC. Udara yang dihembuskan dari AC dipaksa untuk membelok, menyebar, dan mengalir melalui celah-celah sempit di antara objek-objek tersebut. Hal ini menciptakan jalur aliran yang kompleks, kadang-kadang dengan peningkatan kecepatan lokal di lorong-lorong sempit dan area kecepatan rendah di balik penghalang. Di seluruh bagian ruangan, terutama di antara dan di sekitar objek-objek, terlihat banyak garis aliran biru yang meliuk-liuk, bercabang, dan saling bersilangan. Ini adalah indikasi kuat adanya turbulensi dan resirkulasi udara yang ekstensif. Udara yang dihembuskan dari AC cenderung turun ke bawah dari inlet yang berada di atas. Garis-garis aliran menunjukkan udara bergerak ke arah lantai dan menyebar di antara deretan objek. Setelah mencapai lantai atau berinteraksi dengan objek di tingkat rendah, banyak garis aliran menunjukkan udara yang kemudian bergerak kembali ke atas atau menyebar secara horizontal. Ini melengkapi pola sirkulasi. Area yang didominasi oleh garis-garis biru gelap atau area dengan sedikit garis aliran menunjukkan zona dengan kecepatan udara yang sangat rendah atau stagnan. Objek-objek interior secara signifikan meningkatkan jumlah dan luasnya "zona mati" ini, terutama di belakang objek atau di sudut-sudut yang tidak terkena hembusan langsung.

Simulasi berupa tekanan memiliki variasi pada ketinggian dan suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Simulasi panel di modifikasi ANSYS CFX ketika suhu 20°C terhadap *pressure* (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)

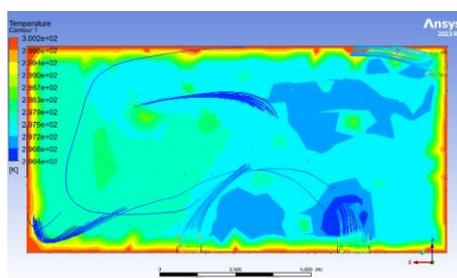
Pada Gambar 4.8 (a) menunjukkan rentang tekanan dari sekitar 1.503e+00 Pa (sekitar 1.503 Pa) hingga 1.528e+00 Pa (sekitar 1.528 Pa). Sebagian besar area pada ketinggian 1.2 meter ini didominasi oleh warna kuning cerah hingga hijau muda. Ini menunjukkan tekanan yang relatif homogen dan berada di kisaran tengah hingga tinggi dari skala yang disajikan. Ada area berwarna oranye hingga kuning terang yang mengindikasikan tekanan yang lebih tinggi. Ini terlihat jelas di sepanjang sisi kanan ruangan dan di beberapa "pulau" di tengah. Area berwarna biru (lebih gelap dari hijau muda) menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Area ini terlihat menonjol di bagian tengah-kiri ruangan, membentuk semacam "kantong" tekanan rendah. Ini mungkin merupakan lokasi saluran udara balik (return air) atau area di mana udara bergerak lebih cepat sehingga tekanannya turun (sesuai prinsip Bernoulli). Garis-garis aliran menunjukkan udara bergerak keluar dari area tekanan tinggi (terutama di kanan) dan menuju area tekanan rendah (di tengah-kiri). Garis aliran juga terlihat mengumpul di area tekanan rendah yang mengindikasikan lokasi penarikan udara.

Pada Gambar 4.8 (b) menunjukkan rentang tekanan dari sekitar 1.458×100 Pa (sekitar 1.458 Pa) hingga 1.481×100 Pa (sekitar 1.481 Pa). Sebagian besar area pada ketinggian 1.6 meter ini didominasi oleh warna hijau muda hingga kuning cerah. Ini menunjukkan tekanan yang relatif homogen di sebagian besar area. Ada area berwarna kuning terang hingga oranye di sepanjang sisi kanan ruangan dan beberapa titik lain yang mengindikasikan tekanan yang lebih tinggi. Area berwarna biru yang menonjol terlihat di bagian tengah-bawah gambar,

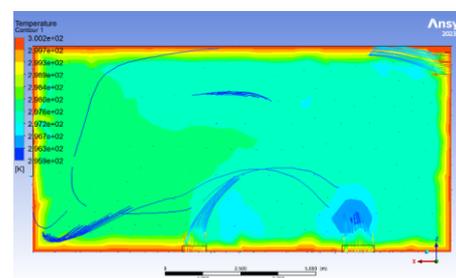
terutama di sekitar dua lokasi yang menyerupai grille atau saluran di lantai. Ini adalah perbedaan signifikan dari gambar tekanan sebelumnya pada ketinggian ini (Gambar 4.8 (b)) yang menunjukkan area tekanan rendah di tengah-kiri. Di sini, area tekanan rendah tampaknya bertepatan langsung dengan lokasi inlet udara dari lantai. Jika ini adalah sistem UFAD (Underfloor Air Distribution) di mana udara dihembuskan dari lantai, maka tekanan yang ditampilkan sebagai rendah di area inlet ini mungkin mengindikasikan tekanan statis yang relatif rendah di mulut diffuser atau bisa juga efek dari percepatan udara yang keluar dari saluran (sesuai prinsip Bernoulli, kecepatan tinggi berhubungan dengan tekanan statis rendah). Namun, secara fungsional, ini adalah sumber aliran udara masuk. Garis-garis aliran terlihat muncul dari area tekanan rendah yang menonjol di bagian tengah-bawah, menyebar ke atas dan ke samping. Ini mengkonfirmasi bahwa ini adalah titik di mana udara disalurkan ke dalam ruangan.

Pada Gambar 4.8 (c) menunjukkan rentang tekanan dari sekitar  $1.284 \times 100$  Pa (sekitar 1.284 Pa) hingga  $1.351 \times 100$  Pa (sekitar 1.351 Pa). Sebagian besar area pada ketinggian 2.6 meter ini didominasi oleh warna kuning cerah hingga hijau muda. Ini menunjukkan tekanan yang relatif homogen dan berada di kisaran tengah hingga tinggi dari skala yang disajikan. Ada area berwarna oranye hingga merah yang mengindikasikan tekanan yang lebih tinggi. Ini terlihat jelas di sepanjang sisi kiri ruangan. Ini kemungkinan merupakan lokasi saluran udara masuk (inlet) atau area di mana udara masuk dengan kecepatan tinggi, menciptakan tekanan positif. Area berwarna biru yang menonjol terlihat di sudut kanan atas ruangan. Ini menunjukkan tekanan yang paling rendah. Area ini kemungkinan besar adalah lokasi saluran keluar udara buang (exhaust outlet) atau saluran balik AC (return air vent), di mana udara ditarik keluar dari ruangan, menyebabkan penurunan tekanan. Area berwarna biru yang menonjol terlihat di sudut kanan atas ruangan. Ini menunjukkan tekanan yang paling rendah. Area ini kemungkinan besar adalah lokasi saluran keluar udara buang (exhaust outlet) atau saluran balik AC (return air vent), di mana udara ditarik keluar dari ruangan, menyebabkan penurunan tekanan. Area tekanan rendah di sudut kanan atas adalah kunci untuk efisiensi sistem, karena di situlah udara yang telah menghangat ditarik keluar dari ruangan.

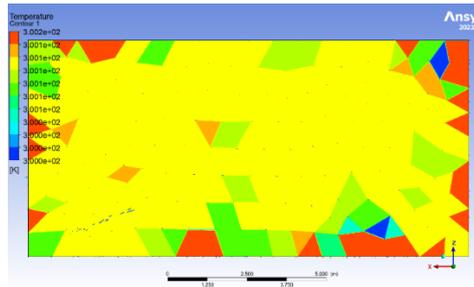
Simulasi suhu ruangan memiliki variasi pada ketinggian dan suhu AC. Untuk variasi ketinggian berada pada ketinggian 1,2 meter; 1,6 meter; dan 2,6 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.9



(A)



(B)



(A)

Gambar 4. 9 Simulasi terhadap suhu ruangan ketika panel dimodifikasi di suhu AC 20°C (A) 1,2 meter, (B) 1,6 meter, dan (C) 2,6 meter

Pada Gambar 4.9 (a) suhu berkisar antara 23.25°C hingga 27.05°C. Rentang suhu ini cukup lebar, menunjukkan adanya variasi yang signifikan. Area oranye/merah menunjukkan suhu yang lebih tinggi, sedangkan area kuning/hijau/biru menunjukkan suhu yang lebih rendah. Dengan didominasi warna biru dan cyan di sebagian besar ruangan pada ketinggian 1.2 meter. Ini mengindikasikan bahwa sebagian besar area hunian berada pada suhu yang jauh lebih dingin dan nyaman (sekitar 23-25°C). Area yang lebih panas (oranye/merah) hanya terlihat di tepi-tepi ruangan, terutama di sepanjang dinding atas, kiri, dan bawah. Hal ini wajar karena dinding luar bisa menjadi sumber panas dari luar (misalnya, sinar matahari), atau karena udara dingin belum sepenuhnya mencapai area tersebut. Dominasi warna biru menunjukkan bahwa sistem pendinginan bekerja dengan sangat efektif dalam mendistribusikan udara dingin secara merata di ketinggian 1.2 meter. Area dingin yang luas ini sangat menguntungkan untuk kenyamanan penghuni. Terlihat aliran udara yang kuat dari *diffuser* di bagian kanan atas, yang menyebar ke bagian tengah dan kiri ruangan. Ada juga aliran udara yang keluar dari bagian bawah (kemungkinan *diffuser* atau aliran udara dingin yang turun) dan menyebar ke area hunian. danya garis aliran yang menyebar ke sebagian besar ruangan menunjukkan bahwa sirkulasi udara menjadi jauh lebih aktif dan efektif dibandingkan dengan gambar-gambar sebelumnya. Udara dingin berhasil dicampur dengan udara yang ada, menciptakan suhu yang lebih seragam dan nyaman. Garis-garis aliran menunjukkan pola pergerakan udara yang kompleks namun terorganisir, mengalir dari *outlet* dan menyebar ke seluruh ruangan. Ini mengindikasikan desain sistem ventilasi yang telah ditingkatkan. Suhu yang dingin dan merata di sebagian besar ruangan pada ketinggian ini akan memberikan kenyamanan yang sangat baik bagi penghuni, baik saat duduk.

Pada Gambar 4.9 (b) suhu berkisar antara 23.45°C hingga 27.05°C. Rentang suhu ini cukup lebar, menunjukkan adanya variasi yang signifikan. Area oranye/merah menunjukkan suhu yang lebih tinggi, sedangkan area kuning/hijau/biru menunjukkan suhu yang lebih rendah. Gambar 4.9 (b) menunjukkan dominasi warna biru dan cyan yang luas di sebagian besar ruangan pada ketinggian 1.6 meter. Ini mengindikasikan bahwa sebagian besar ruangan berada pada suhu yang sejuk dan nyaman, sekitar 23-25°C. Area yang lebih panas (oranye/merah) hanya terlihat di sepanjang tepi-tepi ruangan, terutama di bagian atas dan bawah. Ini wajar karena efek dinding dan plafon yang mungkin menyerap panas, serta udara dingin yang belum sepenuhnya mencapai batas-batas ruangan. Dominasi warna biru dan cyan menunjukkan bahwa sistem pendinginan bekerja dengan sangat efektif dalam mendistribusikan udara dingin secara merata, tidak hanya di ketinggian 1.2m tetapi juga di ketinggian 1.6m. Garis-garis aliran menunjukkan pergerakan udara dingin yang menyebar ke seluruh ruangan pada ketinggian 1.6 meter. Terlihat aliran udara yang kuat dari *diffuser* di kanan atas, menyebar ke tengah dan kiri

ruangan. Ada juga aliran udara yang keluar dari bagian bawah (kemungkinan *diffuser* atau aliran udara dingin yang turun) dan menyebar ke area hunian. Garis-garis aliran yang menyebar ke seluruh ruangan menunjukkan sirkulasi udara yang aktif. Aliran udara tampaknya mengalir dari atas ke bawah dan menyebar secara horizontal, memastikan bahwa udara dingin mencapai sebagian besar area ruangan pada ketinggian ini. Suhu yang sejuk dan merata di sebagian besar ruangan pada ketinggian ini akan memberikan kenyamanan yang sangat baik bagi penghuni, baik saat berdiri.

Pada Gambar 4.9 (c) suhu berkisar antara 26.85°C hingga 27.05°C. Ini adalah rentang suhu yang sangat sempit dan hangat. Sebagian besar ruangan didominasi oleh warna kuning dan oranye, menunjukkan suhu yang seragam dan relatif tinggi. Sebagian besar ruangan pada ketinggian 2.6 meter didominasi oleh warna kuning dan oranye. Ini menunjukkan bahwa suhu di seluruh area tersebut adalah seragam dan tinggi. Ini adalah bukti kuat dari akumulasi udara panas di bagian atas ruangan. Hanya ada beberapa area kecil yang lebih dingin (biru/hijau), terutama di sudut kanan atas dan beberapa titik kecil lainnya. Kantong-kantong dingin ini sangat kecil dan terisolasi, menunjukkan bahwa udara dingin yang dihembuskan oleh AC (kemungkinan berada di sudut kanan atas) memiliki dampak yang sangat terbatas pada ketinggian ini. Fakta bahwa sebagian besar area memiliki suhu yang hampir sama (sekitar 27 °C) menunjukkan bahwa udara panas menumpuk secara masif dan homogen di bawah plafon.

## 4.2 Perhitungan

Sebelum melakukan perhitungan kebutuhan pendinginan suatu ruangan, penting untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi beban termal, seperti ukuran ruangan, jumlah penghuni, peralatan elektronik, serta intensitas cahaya matahari. Setelah semua parameter tersebut diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai BTU yang dibutuhkan agar sistem pendingin dapat bekerja secara optimal dan efisien, untuk menghitung kebutuhan BTU suatu ruangan, rumus umum yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} BTU &= Volume Ruangan \times Perubahan Suhu \times Faktor Koreksi \\ BTU &= 252 \times 12 \times 1,5 \\ BTU &= 4.536 \text{ BTU/Jam} \end{aligned}$$

Dalam kondisi ruangan J-103, untuk menentukan PK bisa dengan cara hitung total volume dan konversi ke kebutuhan BTU.

$$\begin{aligned} BTU &= Volume Ruangan \times 141 \\ BTU &= 252 \times 141 \\ BTU &= 35.532 \text{ BTU}/m^3 \end{aligned}$$

Dari nilai tersebut dapat menentukan berapa PK yang cocok untuk ruangan tersebut.

$$\begin{aligned} PK &= \frac{35.532}{9000} \\ PK &= 3,95 \text{ PK} \end{aligned}$$

di mana volume ruangan diukur dalam kaki kubik, perubahan suhu dalam derajat Fahrenheit, dan faktor koreksi tergantung pada karakteristik ruangan seperti insulasi dan penggunaan (Bejan, 2013). BTU juga digunakan untuk mengukur efisiensi energi dalam berbagai sistem pemanas dan pendingin. Dengan mengetahui kapasitas BTU suatu sistem, kita dapat mengevaluasi apakah sistem tersebut memenuhi kebutuhan energi dengan cara yang efisien.

Sistem dengan kapasitas BTU yang tepat untuk ukuran ruangan akan menghindari pemborosan energi dan mengoptimalkan konsumsi energi (Holman, 2010)

$$\begin{aligned} BTU/hr &= Q \times 1.5 \\ BTU/hr &= 220 \times 1.5 \\ BTU/hr &= 330 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan nilai PK yang dipergunakan pada ruang j 103 senilai 3,95 PK sedangkan pada ruang J 103 yang sekarang nilai yang digunakan senilai 3,50 PK, sehingga ada beberapa pengaruh untuk kenyamanan termal di ruangan J 103

### 4.3 Pembahasan

Data pengukuran dan simulasi saling melengkapi. Pengukuran memberikan nilai-nilai diskrit pada kondisi tertentu, sementara simulasi memberikan visualisasi yang mendetail tentang bagaimana nilai-nilai tersebut didistribusikan di seluruh ruangan. Pada saat pengukuran suhu ruangan tanpa panel 27,8°C pada setelan AC 16°C, dan kisaran 28°C pada setelan AC 20°C dan 28°C. Sedangkan suhu ruangan dengan panel: cenderung lebih hangat. Dengan panel di pasaran, suhu ruangan 28,7°C pada AC 16° hingga 30°C pada AC 28°C. Dengan panel di modifikasi, suhu ruangan 29°C pada AC 16°C, 20°C, dan 28°C. Pada simulasi dapat diatur untuk liat persebarannya pada ketinggian berapapun itu. Pada kondisi tanpa panel ketinggian 1,2 m dan 1,6 m, suhu ruangan adalah 25,4°C. Pada ketinggian 2,6 m, suhu ruangan adalah 25,7°C. Pada saat kondisi panel di pasaran ketinggian 1,2 m dan 1,6 m, suhu berkisar antara 19,95°C hingga 27,05°C. Namun, sebagian besar area didominasi warna oranye dan merah, menunjukkan suhu yang relatif hangat sekitar 27°C. Pada ketinggian 2,6 m, suhu berkisar antara 19,95°C hingga 27,05°C. Sebagian besar area didominasi warna merah dan oranye, menunjukkan suhu yang seragam dan tinggi sekitar 27°C. Pada kondisi panel di modifikasi ketinggian 1,2 m, suhu berkisar antara 23,25°C hingga 27,05°C. Namun, sebagian besar ruangan didominasi warna biru dan cyan, mengindikasikan suhu yang lebih dingin dan nyaman sekitar 23-25°C. Pada ketinggian 1,6 m, suhu berkisar antara 23,45°C hingga 27,05°C. Sama seperti ketinggian 1,2 m, sebagian besar area didominasi warna biru dan cyan yang luas. Pada ketinggian 2,6 m, suhu berkisar antara 26,85°C hingga 27,05°C, dengan dominasi warna kuning dan oranye. Ini menunjukkan akumulasi udara panas di bagian atas ruangan. Simulasi tanpa panel menunjukkan hembusan udara dingin yang langsung dan kuat, yang konsisten dengan data kecepatan tinggi pada pengukuran. Sebaliknya, simulasi dengan panel menunjukkan aliran udara yang terhalang dan membentuk pola turbulen, yang sejalan dengan data pengukuran yang menunjukkan penurunan kecepatan aliran udara. Standar SNI menyarankan kecepatan aliran udara antara 1,5 m/s hingga 2,5 m/s. Pengukuran tanpa panel pada suhu 16°C (2,7 m/s) melebihi standar ini, yang didukung oleh simulasi yang menunjukkan kecepatan hingga 2,872 m/s. Penggunaan "Panel Di Modifikasi" menghasilkan kecepatan yang lebih dekat dengan standar SNI 1,7 m/s pada AC Tipe A dan C.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah dilakukan sehingga dapat memberikan kesimpulan berikut ini

1. Hasil simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menunjukkan bahwa distribusi suhu dan aliran udara di ruangan J-103 sangat bergantung pada suhu ruangan. Pada suhu 16°C, aliran udara lebih merata dan lebih stabil, sementara pada suhu 28°C, perbedaan kecepatan aliran udara antara bagian bawah dan atas ruangan semakin jelas. Hal ini berdampak pada kenyamanan termal penghuni ruangan.
2. Penambahan panel perforasi, baik yang sudah ada di pasaran maupun yang dimodifikasi, terbukti meningkatkan distribusi aliran udara dalam ruangan. Panel perforasi membantu menyebarkan udara lebih merata, terutama pada suhu yang lebih tinggi, dengan mengurangi stagnasi udara di bagian bawah ruangan. Panel modifikasi menunjukkan kinerja terbaik dalam hal distribusi udara yang lebih merata dibandingkan dengan panel yang ada dipasaran dan dapat mencegah terjadinya penyakit *Bell's Palsy*.
3. Distribusi aliran udara yang lebih merata, terutama pada suhu 20°C dan dengan adanya panel perforasi, dapat meningkatkan kenyamanan termal dan mencegah masalah kesehatan yang berkaitan dengan aliran udara yang tidak merata, seperti ketegangan otot atau gangguan pernapasan. Panel perforasi yang dimodifikasi memberikan hasil yang lebih optimal dalam menjaga kenyamanan penghuni, terutama di suhu yang lebih tinggi.

### 5.2 Saran

Adapun Saran yang di dapatkan dari penelitian ini,

1. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji berbagai jenis panel akustik dengan konfigurasi perforasi berbeda, guna memperoleh desain yang lebih efisien dalam distribusi aliran udara.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan batasan kecepatan aliran udara yang aman dan nyaman bagi penghuni ruangan. Penelitian ini dapat mengeksplorasi bagaimana desain sistem HVAC dapat disesuaikan dengan preferensi individu tanpa mengorbankan kesehatan.

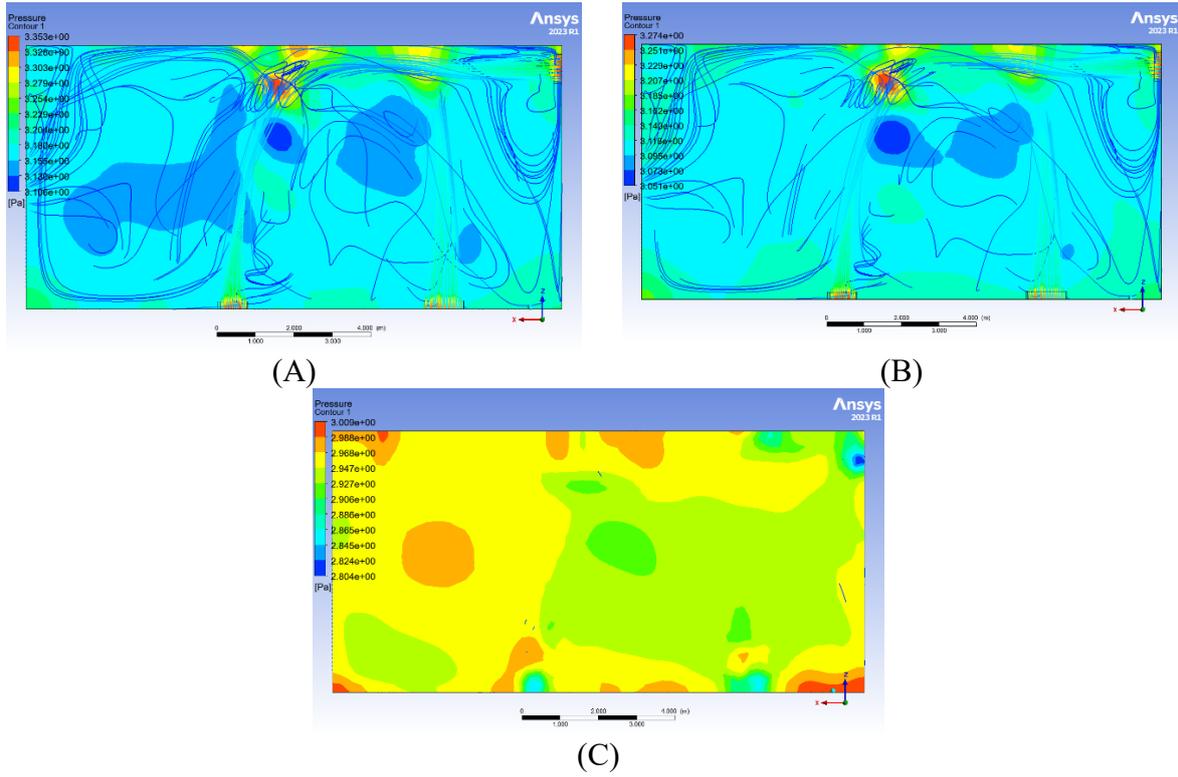
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

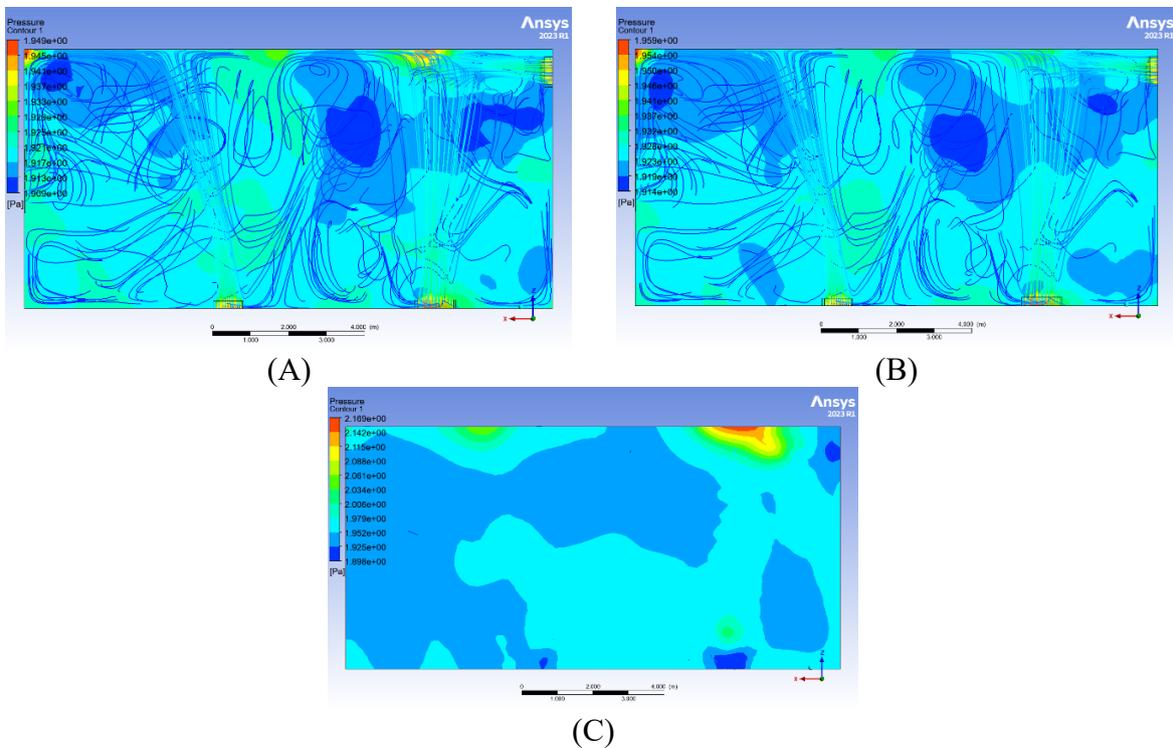
- ASHRAE. (2003). *Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.*
- Awbi, H. B. (2003). *Ventilation of buildings. Spon Press.*
- Bauman, F. &. (1988). The development of a controlled-environment chamber for the physical and subjective assessment of human comfort in office buildings. In *A New Frontier: Environments for Innovation (Proceedings)*.
- Bejan, A. (2013). *Heat transfer (5th ed.). Wiley.*
- Cena, K. &. (2001). *Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. Journal of Thermal Biology, 26, 409–414.*
- Çengel, Y. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach (8th ed.). McGraw-Hill Education.*
- Chandra Pratama Putra, J. &. (2020). Pola aliran udara dan distribusi temperature diinduksi oleh system air conditioning. *Jurnal Teknik Mesin, 09(2)*.
- Fahy, F. J. (2001). *Foundations of engineering acoustics. Academic Press.*
- Holman, J. P. (2010). *Heat transfer (10th ed.). McGraw-Hill Education.*
- Incropera, F. P. (2007). *Introduction to heat transfer (5th ed.). Wiley.*
- Kinsler, L. E. (2000). *Fundamentals of acoustics. John Wiley & Sons.*
- Nielsen, P. V. (2015). Fifty years of CFD for room air distribution. *Building and Environment, 91, 78-90.*
- Pope, S. B. (2000). *Turbulent flows. Cambridge University Press.*
- Putu Widiarta, I. (2024). Putu Widiarta, I. (2024). Analisis Pola Aliran dan Tekanan Udara Ruang Dengan Penambahan Sistem Ventilasi Mekanis-CFD dan Eksperimen. *10(1), 19–26. <https://doi.org/10.24843/METTEK.2024.v10.i01.p03>.*
- Ridzuan, M. e. (2022). Computational fluid dynamics for environmental modeling: A review. *Environmental Fluid Mechanics Journal, 9(2), 150-161.*
- Setiati, T. W. (2023). Pengaruh lower-ventilation terhadap aliran udara ruang dalam pada bangunan rumah tinggal sederhana di daerah tropis lembab. *Tekstur, 12(1), 1–14. <https://ejurnal.itats.ac.id/tekstur/article/view/6712>.*
- Siburian, R. (2020). *Pencemaran udara dan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Universitas Sumatera Utara.*
- Utami, A. S. (2023). Utami, AR, Suhari, KT, Ujang, MU, & Tjahjadi, ME . Pemodelan Simulasi Aliran Udara terhadap Bangunan 3d Berbasis CityGML dan Computational Fluid Dynamics. *The Indonesian Journal of ... , ijcs.net, <<http://ijcs.net/ijcs/index.php/ijcs/article/view/3486>>.*

- Versteeg, H. K. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method*. Pearson Education.
- Wardoyo, A. Y. (2016). Emisi partikulat kendaraan bermotor dan dampak kesehatan. Universitas Brawijaya.
- White, F. M. (2011). *Fluid mechanics (7th ed.)*. McGraw-Hill.

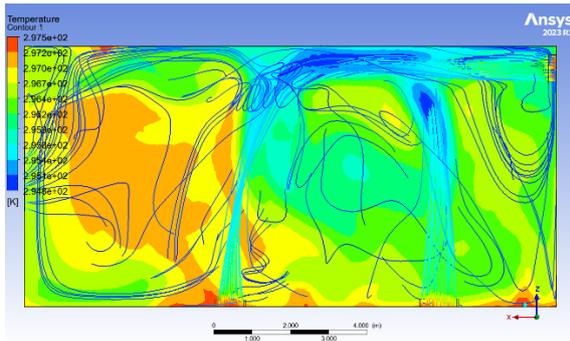
# LAMPIRAN



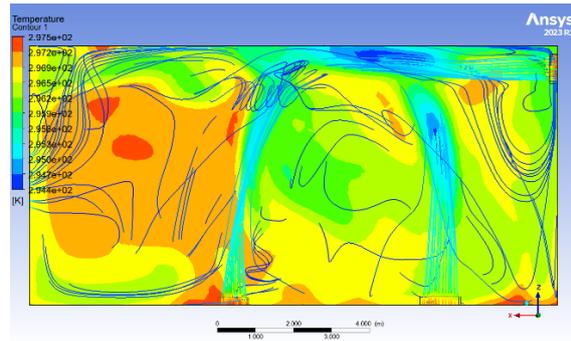
Lampiran 1 Simulasi tanpa panel ANSYS CFX ketika suhu  $16^{\circ}\text{C}$  terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



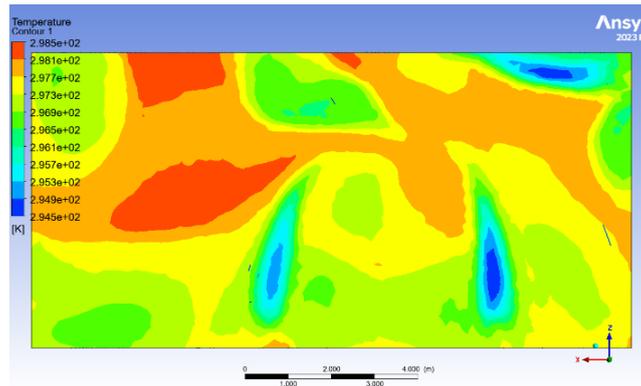
Lampiran 2 Simulasi tanpa panel ANSYS CFX ketika suhu  $28^{\circ}\text{C}$  terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

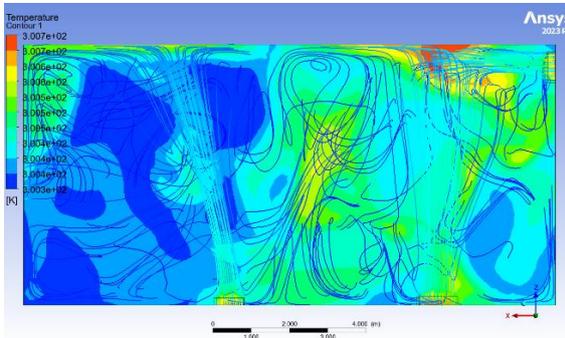


(B)

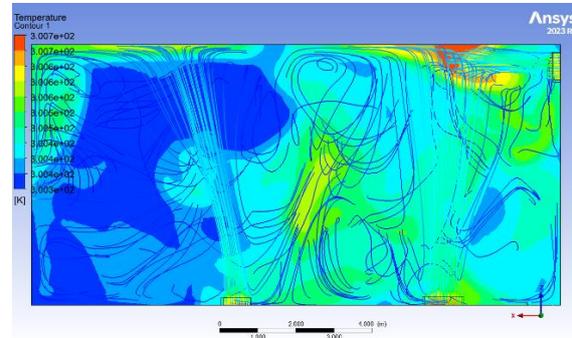


(C)

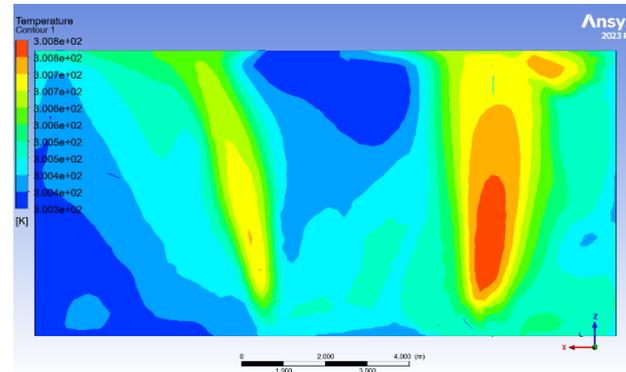
Lampiran 3 Simulasi tanpa panel ANSYS CFX ketika suhu 16°C terhadap suhu ruangan (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

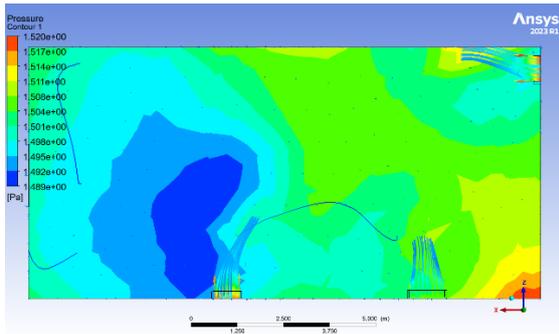


(B)

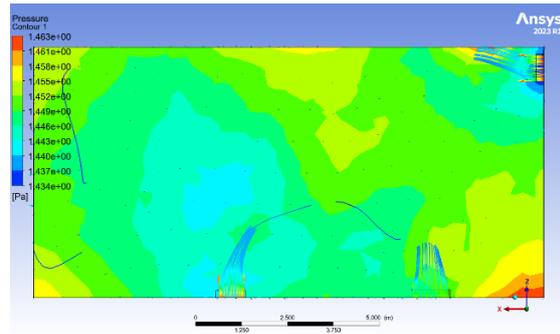


(C)

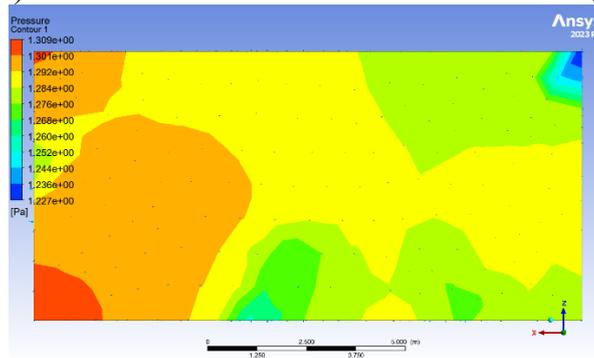
Lampiran 4 Simulasi tanpa panel ANSYS CFX ketika suhu 28°C terhadap suhu ruangan (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

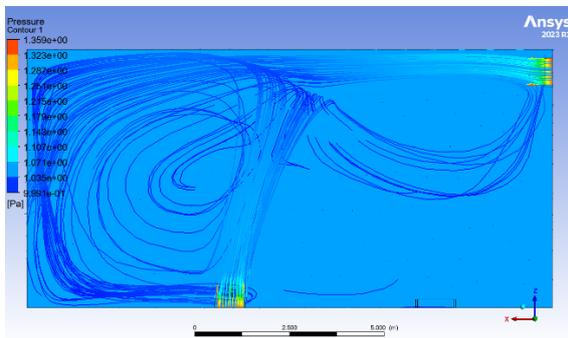


(B)

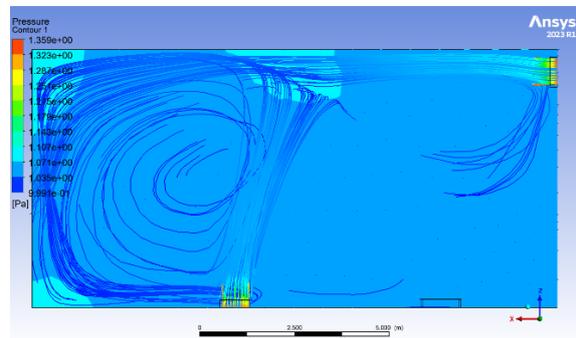


(C)

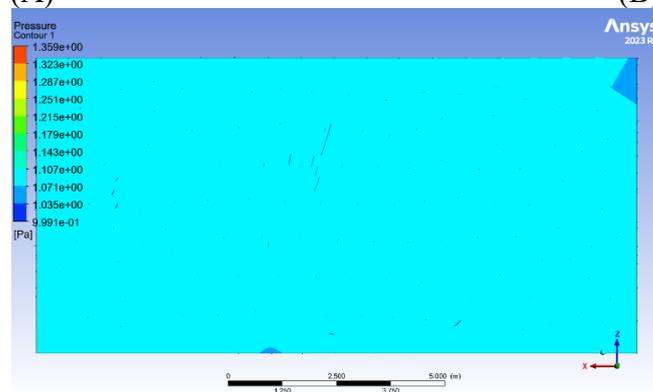
Lampiran 5 Simulasi panel dipasaran menggunakan ANSYS CFX ketika suhu  $16^{\circ}\text{C}$  terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

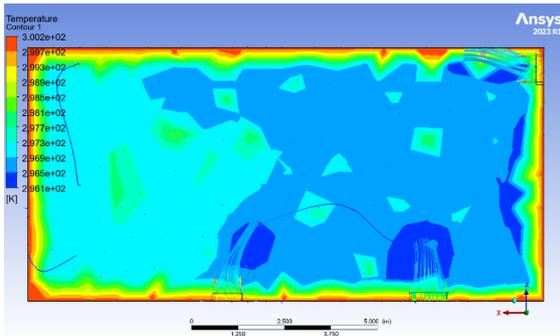


(B)

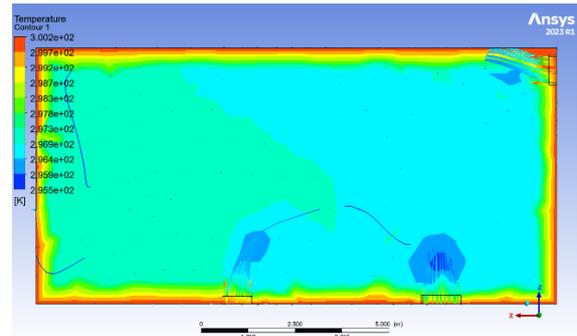


(C)

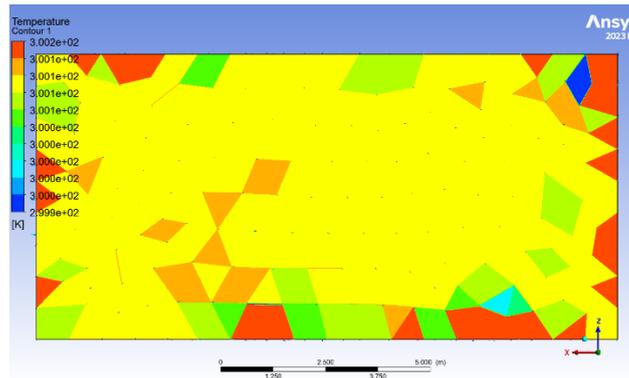
Lampiran 6 Simulasi panel dipasaran menggunakan ANSYS CFX ketika suhu  $28^{\circ}\text{C}$  terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

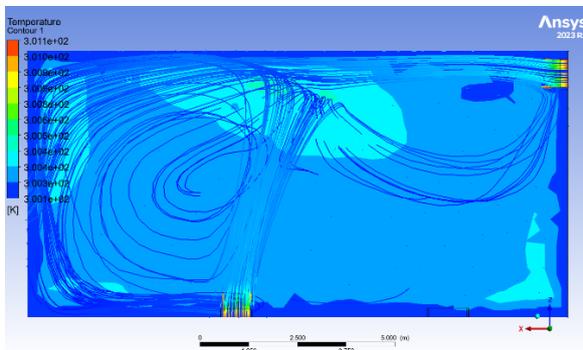


(B)

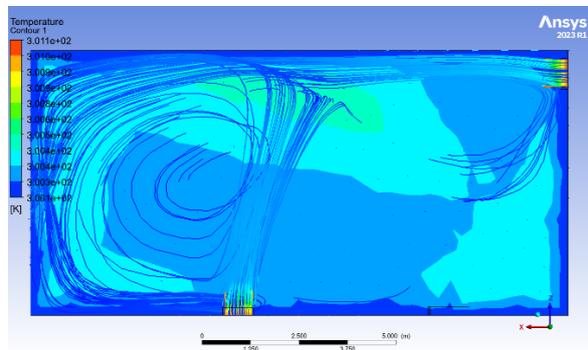


(C)

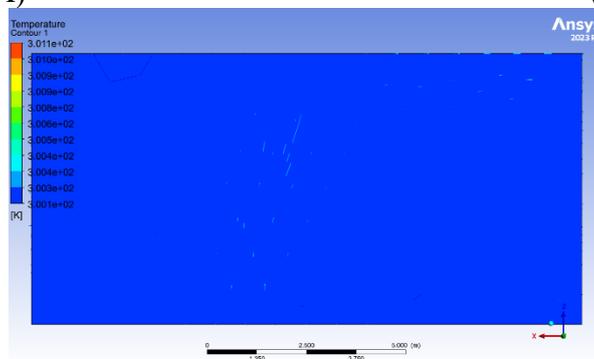
Lampiran 7 Simulasi panel dipasaran menggunakan ANSYS CFX ketika suhu 16°C terhadap suhu ruangan (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

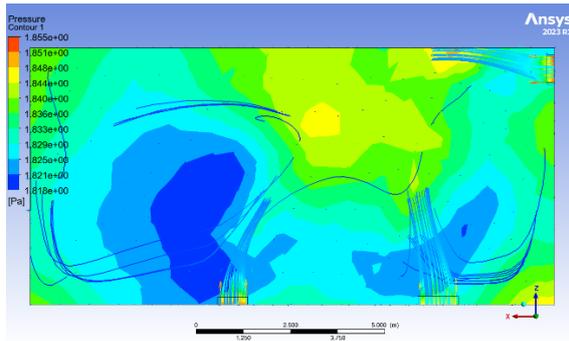


(B)

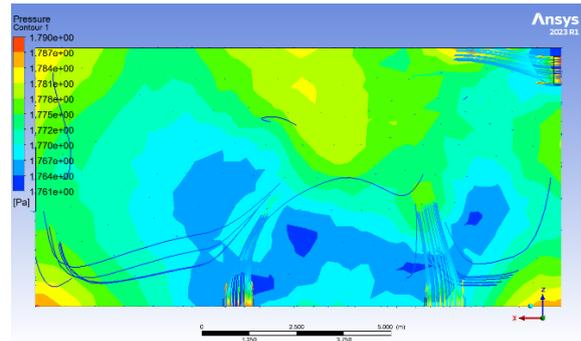


(C)

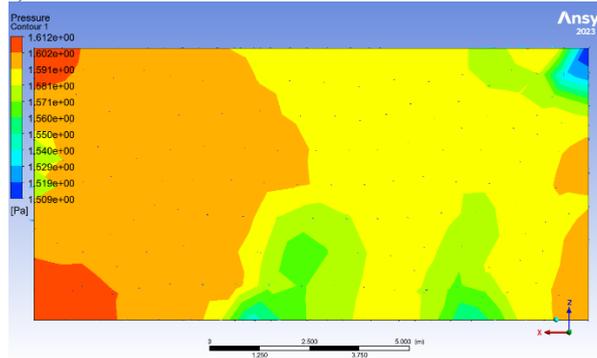
Lampiran 8 Simulasi panel dipasaran menggunakan ANSYS CFX ketika suhu 28°C terhadap suhu ruangan (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

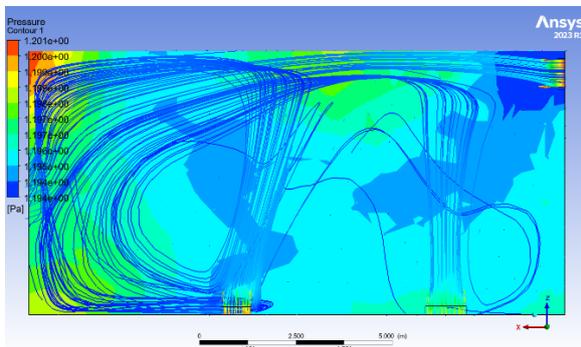


(B)

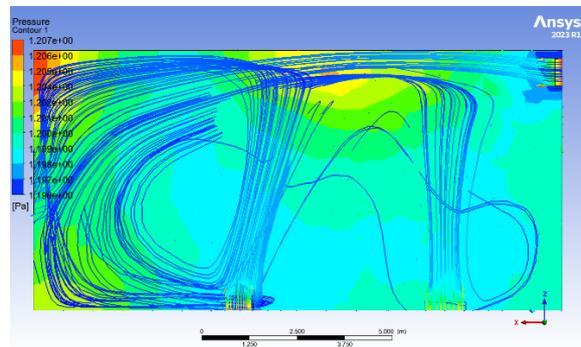


(C)

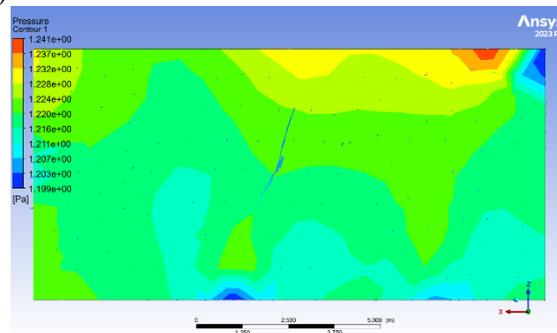
Lampiran 9 Simulasi panel dimodifikasi menggunakan ANSYS CFX ketika suhu 16°C terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

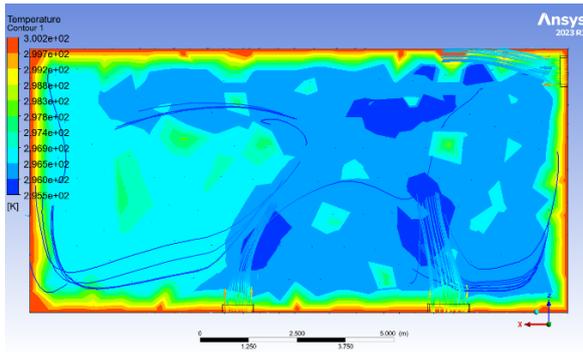


(B)

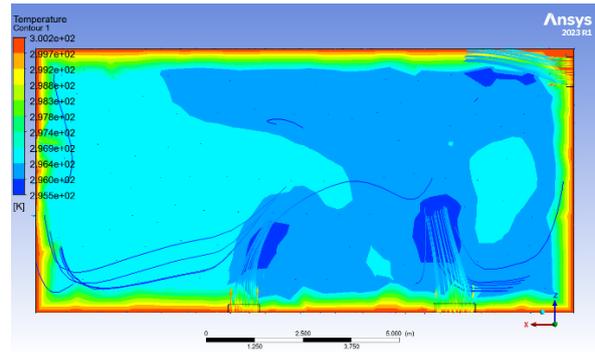


(C)

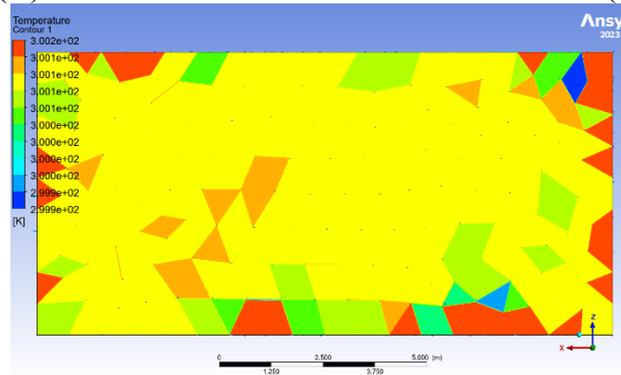
Lampiran 10 Simulasi panel dimodifikasi menggunakan ANSYS CFX ketika suhu 28°C terhadap preasure (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)

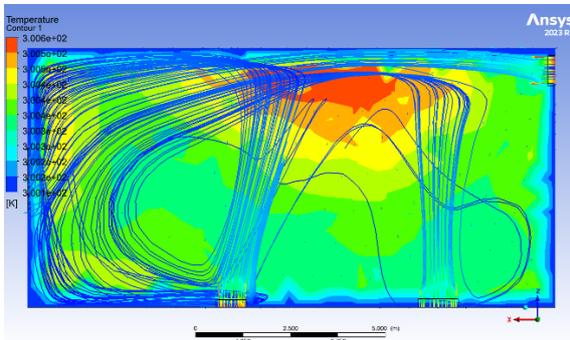


(B)

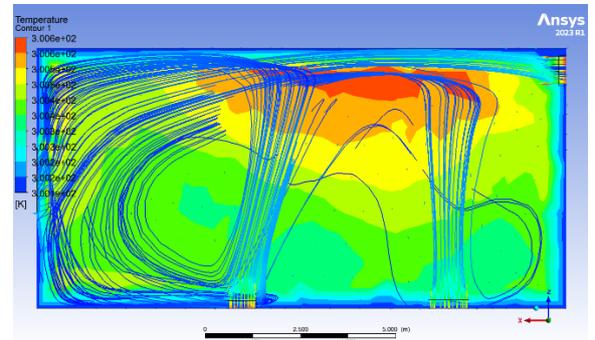


(C)

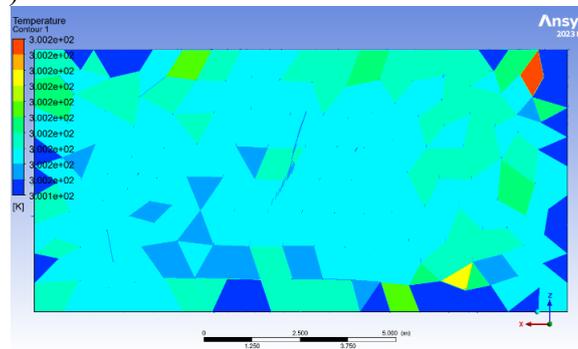
Lampiran 11 Simulasi panel dimodifikasi menggunakan ANSYS CFX ketika suhu  $16^{\circ}\text{C}$  terhadap suhu ruangan (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)



(A)



(B)



(C)

Lampiran 12 Simulasi panel dimodifikasi menggunakan ANSYS CFX ketika suhu  $28^{\circ}\text{C}$  terhadap suhu ruangan (A) Ketinggian 1,2 m (kondisi duduk) (B) Ketinggian 1,6 m (kondisi berdiri) dan (C) Ketinggian 2,6 m (kondisi depan AC)

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 24 April 2003, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di RA Bahrul Ulum Pengalangan, MI Bahrul Ulum Pengalangan, SMPN 1 Menganti dan MAI Amanatul Ummah Pacet Mojokerto. Setelah lulus dari MAI tahun 2021, Penulis mengikuti Seleksi Mandiri dan diterima di Fisika FSAD - ITS pada tahun 2021 dan terdaftar dengan NRP 5001211110

Di Departemen Fisika Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA).