

Artikel

## Analisis Distribusi Udara dan Termal pada Ruangan (Studi Kasus: Rumah Tinggal)

Kiki Sundari<sup>1</sup> dan Jouvan Chandra<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jl. H. R. Rasuna Said, Kuningan, DKI Jakarta, 12940, Indonesia

\* Korespondensi: Jouvan.chandra@bakrie.ac.id

---

### Abstrak

Kenyamanan termal sangat penting bagi manusia, khususnya penduduk beriklim tropis. Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal di antaranya, temperatur, kecepatan udara dan kelembaban udara (RH). Penelitian ini menggunakan permodelan Computational Fluid Dynamics (CFD) pada ANSYS FLUENT R2021 Student version untuk mengetahui distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi guna mengetahui pengaruhnya terhadap kenyamanan termal. Penilaian kenyamanan termal pada penelitian ini menggunakan thermal indeks Fanger yaitu penilaian terhadap Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) dengan Analisis menggunakan komparasi SNI serta CBE Thermal Tools. Hasil analisis komparasi SNI menunjukkan bahwa kondisi termal berada pada “Nyaman Optimal pada ambang atas” dan dari hasil kalkulasi pada CBE Thermal Tools, menghasilkan nilai PMV rata-rata -0,32 dengan PPD sebesar 11%, menunjukkan bahwa kenyamanan termal berada pada kondisi nyaman.

Kata Kunci: Kenyamanan Termal, Computational Fluid Dynamics (CFD), Predicted Mean Vote (PMV), Thermal Tools

---

### 1 Pendahuluan

Bangunan direncanakan untuk memenuhi kebutuhan manusia, salah satunya menjadi tempat yang mampu memberikan rasa aman dan nyaman bagi penghuninya. Hampir 90% aktivitas manusia dilakukan di dalam ruangan oleh karena itu setiap bangunan diharapkan dapat memberikan kenyamanan visual, termal dan audial [8].

Sitorus dkk, (2014) menyatakan bahwa Indonesia termasuk Negara beriklim tropis dengan kelembaban udara yang tinggi mencapai angka 80%, suhu udara mencapai 35°C, serta radiasi matahari sekitar 4.8 kWh/m<sup>2</sup> perhari. Kenyamanan termal merupakan salah satu unsur kenyamanan yang penting, karena berkaitan dengan kondisi termal ruangan yang nyaman [3], “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy” (dalam Putra dkk,2020) menyebutkan bahwa sebagian besar manusia akan merasa nyaman saat suhu disekitarnya berkisar antara 70°F s/d 79°F atau 21°C s/d 26°C. Namun pada studi yang dilakukan oleh [4], tingkat kenyamanan termal berkaitan dengan beberapa aspek seperti jenis kelamin, usia, tingkat metabolisme dan waktu adaptasi dalam setahun atau aklimatisasi. Di Indonesia sendiri memiliki standar untuk kenyamanan termal berkisar antara 24-27°C yang berada dalam peraturan SNI 6390:2011 yaitu Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional BSN.

Selain itu, pengondisian udara sangat diperlukan untuk mencapai kenyamanan termal sebuah bangunan. Pengondisian udara adalah perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, pendistribusian dan kebersihan agar mencapai

kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni di dalamnya. Pengondisian udara termasuk bagian dari refrigerasi, yaitu proses penurunan temperatur dan menjaga agar temperatur material atau ruang tetap di bawah temperatur lingkungannya (Dossat,Roy J 1998).

Sistem pengondisian udara dipengaruhi dengan banyak hal seperti, penghuni yang berada di dalamnya, tata letak benda yang dapat mengeluarkan kalor dan juga dampak panas yang dihasilkan dari radiasi oleh seluruh permukaan material (mean radiant temperature).

Putra dkk (2020) menggunakan persamaan Navier-Stokes untuk melakukan studi mengenai Pola aliran udara dan distribusi temperatur diinduksi oleh system air conditioning. Hasil dari kajian ini menunjukkan bahwa posisi outlet cukup berpengaruh untuk menambah kecepatan udara dalam mendistribusikan temperatur karena outlet merupakan jalur distribusi udara dan juga merupakan jalur distribusi temperatur. Selain itu, Lin dkk (2005) menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD) dalam studinya mengenai Effect of The Air Supply Location on The Performance of The Displacement Ventilation System. Hasil kajian tersebut mengindikasikan bahwa letak pasokan udara seharusnya berada di tengah ruangan agar dapat memasok kondisi termal yang lebih baik.

Berbagai metode digunakan untuk mengetahui distribusi temperatur, salah satunya dengan menggunakan pendekatan numerik yang diaplikasikan dalam penggunaan Computational Fluid Dynamic (CFD). CFD merupakan proses matematis yang digunakan untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, transfer phenomena, perpindahan panas dan

reaksi kimia [2].

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti akan melakukan analisis pengondisian udara terutama pola aliran udara dan distribusi termal pada ruangan dengan pendekatan numerik menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD) FLUENT pada ANSYS 2021 R1 (student version).

## 2 Metode

### 2.1 Kualitas Udara dalam Ruangan

Menurut [14], Indoor air quality (IAQ) adalah suatu kondisi kandungan udara yang terdapat di dalam ruangan yang dapat memengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuninya. Pada dasarnya udara tersusun dari oksigen (20,95%), CO<sub>2</sub> (0.038%), nitrogen (78%), uap air (1%) dan gas-gas lainnya sebanyak 0.002%. Komposisi tersebut dapat berubah disebabkan oleh gas-gas yang dilepaskan oleh benda-benda (cat baru, obat nyamuk bakar, dan kapur barus) atau aktivitas manusia (merokok, memasak dan lainnya). Peningkatan kandungan zat-zat dalam udara diperbolehkan sampai batas tertentu [16]. Jika peningkatan zat-zat dalam udara tersebut melampaui batas, akan mengakibatkan udara menjadi tidak sehat karena terlalu banyak polutan yang berpotensi mengganggu. Udara dalam ruangan yang memiliki ventilasi yang buruk dapat menyebabkan gangguan pada penghuni yang berada di dalamnya, seperti gangguan pernapasan, iritasi mata dan pusing.

Kualitas udara dalam ruangan yang baik dapat tercapai apabila ruangan tersebut memiliki pertukaran udara yang baik. Dengan laju aliran udara segar yang lebih tinggi mampu menurunkan jumlah polutan yang terdapat dalam ruangan. Menurut Ishak (2016), ada beberapa akibat dari tidak terpenuhinya kualitas udara di dalam ruangan:

1. Sick Building Syndrome (SBS) terjadi jika sebagian besar penghuni di dalam bangunan tersebut mengalami ketidaknyamanan namun bukan dari sisi temperatur dan kelembaban. SBS biasanya menyebabkan gejala alergi tertentu pada penghuninya.
2. Building Related Illnesses (BRI) disebabkan oleh penyebaran penyakit yang ditularkan melalui udara ke lingkungan, terutama kepada orang-orang yang telah lama berada di ruangan yang terkontaminasi. Jenis penyakitnya spesifik, seperti TBC, flu dan lainnya.

Berikut beberapa jenis-jenis polutan yang biasa terdapat di dalam ruangan yaitu.

1. Polutan non organik
  - Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)
  - Karbon Monoksida (CO)
  - Ozon (O<sub>3</sub>)
2. Polutan organik
  - Benzena
  - Formaldehida (CH<sub>2</sub>O)
  - Naftalin
3. Jamur
4. Bakteri Legionella sp

### 2.2 Ventilasi

Menurut Ishak (2016) ventilasi dibutuhkan untuk pertukaran udara di dalam ruangan, ventilasi juga berfungsi untuk mempertahankan kualitas udara yang baik dan sejuk di dalam ruangan. Secara umum ventilasi memiliki fungsi sebagai berikut.

1. Meningkatkan kenyamanan termal di dalam ruangan.
2. Menghilangkan kalor berlebih yang dapat menyebabkan suhu termal di dalam ruangan meningkat.
3. Menghilangkan uap yang diperoleh dari uap masakan, pernapasan dan lainnya yang dapat meningkatkan kelembaban udara dalam ruangan.
4. Menghilangkan emisi polutan yang dihasilkan dari alat-alat yang ada pada ruangan dan penghuni, umumnya berupa bau, pernapasan (CO<sub>2</sub>) dan bau tidak sedap lainnya.

Menurut [13] ventilasi terbagi menjadi 2 yaitu:

#### 2.2.1 Ventilasi alami

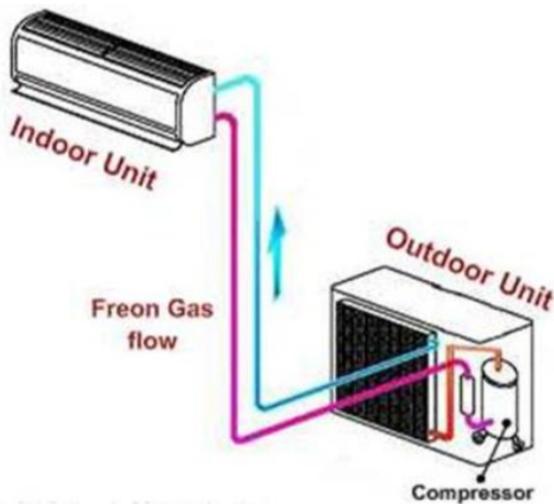
Menurut [13] ventilasi alami adalah pertukaran udara secara alami tanpa melibatkan peralatan buatan seperti, mesin penyejuk udara atau Air Conditioner (AC). Ventilasi alami juga menyuguhkan sebuah sistem ventilasi yang sehat, nyaman tanpa memerlukan energi tambahan. Menurut Leddament, 1996 (dalam [13]) Dalam merancang ventilasi alami diperlukan beberapa syarat yaitu, (1) tersedianya udara luar yang sehat, (2) suhu udara yang tidak terlalu tinggi (suhu maksimal 28o), (3) lingkungan sekitar yang tidak bising, (4) bangunan yang berada di sekitarnya tidak terlalu banyak sehingga tidak menghalangi aliran udara horizontal (sehingga angin dapat berhembus dengan lancar).

#### 2.2.2 Ventilasi buatan

Menurut Mcdowall (2006). Ventilasi buatan atau penghawaan buatan (artificial ventilation/ forced ventilation/ mechanical ventilation) atau dikenal dengan pengondisian udara, adalah proses perlakuan terhadap udara di dalam bangunan yang meliputi suhu, kelembaban, kecepatan dan arah angin, kebersihan, bau serta distribusinya untuk menciptakan kenyamanan bagi penghuninya. pengondisian udara bukan hanya untuk menurunkan suhu (cooling) namun juga untuk menaikkan suhu (heating). Di daerah tropis yang suhu rata-ratanya cukup tinggi pengondisian udara diasosiasikan dengan penyejuk udara oleh suatu mesin yang biasa disebut Air conditioner (AC).

### 2.3 Air Conditioner (AC)

Menurut [15], AC tipe split adalah suatu alat yang dapat mengondisikan temperatur ruangan sesuai dengan yang diinginkan. Pada dasarnya sistem kerja AC adalah menyirkulasikan udara ruangan yang terisap secara terus menerus oleh blower (indoor unit) melalui sirip evaporator yang memiliki suhu yang lebih dingin dari suhu ruangan, saat udara ruangan bersirkulasi melewati evaporator, udara yang temperaturnya lebih tinggi diserap panasnya oleh refrigerant (pendingin), lalu kalor yang diterima oleh evaporator disalurkan keluar ruangan saat aliran refrigerant melewati kondensor (unit outdoor) (dapat dilihat pada **Gambar 1**).



Gambar 1. Sistem kerja AC split

Penghawaan udara buatan dengan air conditioning (AC) mempunyai Beberapa keuntungan pemakaian AC yaitu:

1. Suhu udara lebih mudah diatur dibandingkan dengan ventilasi alami.
2. Kecepatan dan arah angin mudah diatur.
3. Kelembaban udara mudah diatur, (AC dapat mengurangi/mengatur kelembaban udara sehingga dapat memberikan kenyamanan termal yang diinginkan).
4. Kebersihan udara dapat dijaga dan masih banyak keuntungan lainnya.

#### 2.4 Kenyamanan Termal

Menurut [7], dalam sebuah bangunan, kenyamanan didefinisikan sebagai suatu keadaan tertentu yang dapat memberikan sensasi menyenangkan bagi pengguna bangunan tersebut. Menurut [19], secara teori faktor yang memengaruhi tingkat kenyamanan termal meliputi faktor lingkungan (suhu udara, suhu radiasi, kelembaban udara, kecepatan angin) dan faktor individu (jenis aktivitas dan jenis pakaian yang sedang dikenakan). Namun dari teori Adaptasi menurut [6] mengatakan bahwa ada faktor selain yang dapat memengaruhi kenyamanan termal, yaitu 'adaptasi' yaitu proses penyesuaian tubuh manusia terhadap suatu kondisi lingkungan di sekitarnya (termal). Menurut 19 di Indonesia sendiri memiliki standar untuk kenyamanan termal berada dalam peraturan SNI 6390:2011 yaitu Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional menyebutkan bahwa suhu ruang berkisar antara  $24^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$  atau  $25.5^{\circ}\text{C} \pm 1.5$  dengan tingkat kelembaban  $60\% \pm 5\%$ .

##### 1. Temperatur Udara (Air Temperature)

Suhu udara yang terlalu rendah akan mengakibatkan kehilangan panas yang berlebihan, sebaliknya jika suhu udara terlalu panas akan menghambat terjadinya konveksi panas yang memadai. Beberapa penelitian memfokuskan pada subyek manusia untuk menentukan "thermal comfort zone" dan juga

untuk mengidentifikasi kondisi dimana tubuh merasa nyaman, dan hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa orang yang berpakaian normal, melakukan pekerjaan ringan atau beristirahat, akan merasa nyaman pada suhu rata-rata antara udara dan permukaan sekitarnya berkisar antara  $23-27^{\circ}\text{C}$  ( $73-81^{\circ}\text{F}$ ) [9, 10].

##### 2. Kelembaban Relatif (Relative Humidity)

Kenyamanan tubuh manusia (human comfort) juga dipengaruhi oleh kelembaban relatif, biasanya kelembaban udara menjadi penting saat suhu udara mendekati atau melampaui ambang batas daerah kenyamanan termal. Biasanya tingkat kelembaban relatif yang diharapkan berkisar antara 30-70%, dan yang paling disukai adalah sekitar 50% karena banyak orang pada kondisi tersebut merasa tidak panas atau dingin sehingga tubuh tidak perlu mengaktifkan salah satu mekanisme pertahanan untuk mempertahankan suhu tubuh normal.

##### 3. Kecepatan Angin (Air Motion)

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya gaya yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dan suhu. Pergerakan udara merupakan aspek penting untuk kenyamanan termal, terlebih pada daerah yang suhunya terbilang panas seperti daerah tropis. Kecepatan udara yang terlalu tinggi ataupun kecepatan udara yang terlalu rendah dapat meningkatkan kehilangan panas dari tubuh. Menurut [11], Kecepatan udara yang nyaman berada pada rentang 9m/min (30ft/min) pada musim dingin, dan 15m/min (50ft/min) pada musim panas, oleh karena itu kecepatan udara harus cukup nyaman untuk menghilangkan panas dan kelembaban dari sekitar tubuh.

##### 4. Mean Radiant Temperature (MRT)

Mean radiant Temperature (MRT) merupakan faktor penting dari pemodelan PMV Fanger, yang merupakan metode paling populer untuk mempelajari kenyamanan termal. [5] Mengatakan ada beberapa metode yang ada untuk mengukur dan menghitung MRT yang konsisten dengan perbedaan yang diabaikan. Masing-masing metode memiliki kekurangan dan kelebihan, tergantung pada kriteria persyaratan, metode yang cocok digunakan selama penelitian. Konsep prinsip dasar MRT adalah jumlah panas radiasi yang diperoleh atau hilang oleh tubuh manusia ditentukan berdasarkan fluks radiasi yang dipertukarkan oleh tubuh dengan permukaan sekitarnya di dalam ruangan. Ini dihitung dari suhu sekitarnya dan posisinya terhadap penghuni. Berikut adalah perhitungan MRT.

$$MRT = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-1} + \dots + T_m^4 F_{p-m} \quad (1)$$

dimana,  $T_m$  adalah suhu permukaan 'm' (dalam kalvin).  $F_{p-m}$  adalah faktor sudut antara orang dan permukaan 'm'.

##### 2.5 Koefisien perpindahan panas

Menurut [15], perpindahan panas adalah ilmu yang memprediksi tentang perpindahan atau distribusi energi berupa perbedaan temperatur antara suatu material atau benda. Perpindahan panas dibagi menjadi tiga yaitu, perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

Menurut Cengel (2008), konduksi adalah transfer energi zat partikel dengan konsentrasi yang tinggi ke partikel yang konsentrasinya lebih rendah dan saling berdekatan sebagai efek dari interaksi antar partikel.

$$Q_{cond} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

dimana  $Q_{cond}$  ialah Laju Perpindahan Panas Konduksi.  $k$  ialah Konduktivitas Panas.  $A$  ialah Luasan Perpindahan Panas.  $T$  ialah Gradien suhu.  $x$  ialah beda jarak.

Menurut Cengel (2008), konveksi adalah perpindahan panas secara mengalir, atau transfer energi antara permukaan solid dengan gas atau liquid yang berdekatan dan melibatkan kombinasi gerak fluida dan efek konduksi.

$$Q_{cond} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad (3)$$

dimana  $Q_{cond}$  Laju perpindahan panas konveksi.  $h$  ialah Koefisien perpindahan panas konveksi.  $A_s$  ialah Luas permukaan dimana perpindahan panas konveksi berlangsung.  $T_s$  ialah Temperatur permukaan.  $T_\infty$  ialah Temperatur fluida yang cukup jauh dari permukaan.

Menurut Cengel (2008), Radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara, atau pancaran energi dari sebuah material dalam bentuk gelombang elektromagnetik (photon) sebagai suatu hasil perubahan bentuk elektronis dari molekul atau atom.

$$Q_{cond} = \sigma \xi A_s (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (4)$$

dimana  $Q_{cond}$  ialah Laju Perpindahan Panas Radiasi.  $\sigma$  ialah Konstanta Stefan-Boltzman.  $\xi$  ialah Emisivitas bahan.  $T_{surr}^4$  ialah Temperatur lingkungan.

## 2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah sebuah konsep matematis yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida. CFD merupakan ilmu yang berkembang dan cukup banyak mendapat perhatian masyarakat internasional sejak adanya komputer digital (Sun 2002) [1, 18]. CFD biasanya digunakan untuk melakukan desain pada bangunan seperti aliran fluida atau pemodelan (Sapian 2009). Menurut Versteeg, Malalasekera (1995), di dalam CFD terdapat beberapa tahap seperti, Pra pemrosesan (pre-processor), pencarian solusi (solver) dan pasca pemrosesan (post-processor).

Pra pemrosesan (pre-processor) adalah menginput masalah komponen input dari permasalahan aliran ke dalam CFD yang tujuannya untuk mempermudah operator dan transformasi input sebelum dilakukan pemecahan oleh solver. Input yang dilakukan antar lain, pembuatan geometri pada daerah yang akan ditinjau, menentukan mesh, menentukan sifat-sifat fluida (massa jenis, konduktivitas, viskositas, panas jenis dan sebagainya) dan menentukan kondisi batas (boundary conditions) yang sesuai untuk analisis tersebut.

Solver (solusi) adalah suatu tahap pemecahan sebuah permasalahan dasar aliran fluida (energi, momentum dan konversi massa atau kontinuitas) dengan menggunakan analisa numerik. Pada prosesnya solver terdiri atas 3 persamaan di dalam aliran

fluida yang terdiri dari, kekekalan massa 3 dimensi, persamaan momentum 3 dimensi, dan persamaan energi batas.

Dalam penelitian [12]. Kekekalan massa 3 dimensi adalah elemen fluida yang dinyatakan dengan massa fluida sama dengan laju netto aliran massa ke dalam suatu elemen batas. Semua elemen fluida merupakan fungsi dari ruang dan waktu maka jenis fluida  $\rho$  dinyatakan dalam bentuk  $\rho(x, y, z, t)$  dan komponen kecepatan fluida  $\frac{\partial x}{\partial t} = u$ ,  $\frac{\partial y}{\partial t} = v$ , dan  $\frac{\partial z}{\partial t} = w$ . Bentuk persamaan matematika untuk fluida yang tidak terkompresi dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut. (Versteeg dan Malalasekera 1995).

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

dimana  $\rho$  ialah massa jenis fluida.  $x, y, z$  ialah koordinat kartesius.

## 2.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data didasarkan pada pengukuran langsung yang dilakukan oleh penulis. Untuk ukuran dari ruangan diperoleh data sebagai berikut: dimensi ruangan ialah 7450 mm x 7150 mm x 4000 mm, ventilasi ialah 7 buah, AC ialah 1 unit 1pk, dimensi indoor ialah 698 mm x 185 mm x 250 mm, daya ialah (736.5 watt/hour, 0.986 hp, 6.8kW), dan area aplikasi ialah 12-23 m<sup>2</sup>. Pada penelitian kali ini untuk mendapatkan data yang dibutuhkan, peneliti menggunakan beberapa alat yaitu termometer dan anemometer. Thermometer pada penelitian ini digunakan untuk mengukur suhu pada permukaan tembok, lantai dan atap di dalam ruangan. Alat anemometer pada penelitian ini digunakan untuk mengukur temperatur udara, kecepatan udara dan kelembaban udara di dalam ruangan. Kedua alat ditunjukkan pada **Gambar 2**.



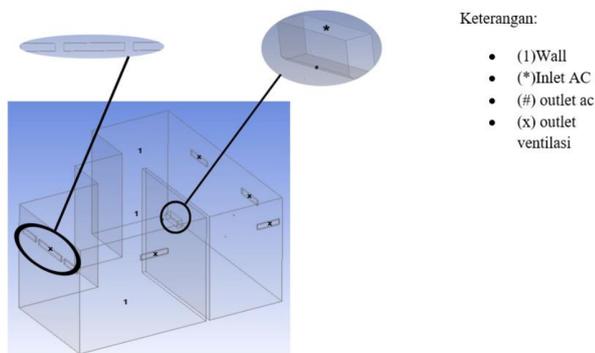
**Gambar 2.** Alat ukur: a. termometer dan b. anemometer

## 2.8 Tahapan pemodelan

Untuk pemodelan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan software ANSYS fluent. Pemodelan pada ANSYS dilakukan untuk mengetahui nilai output berupa distribusi termal dan kecepatan udara. Proses pemodelan dan simulasi terdiri dari 3 tahap yaitu, pre-processing, solver dan post processing.

### 2.8.1 Pre-processing

Tahapan pre-processing adalah langkah yang pertama dilakukan dalam menganalisis sebuah pemodelan CFD. Tahapannya adalah membuat geometri menggunakan perangkat lunak SolidWork, kemudian membuat mesh yang sesuai, serta menerapkan kondisi batas dan sifat fluidanya dapat dilihat pada **Gambar 3**. Proses yang dilakukan yaitu Geometry modeling. Yaitu membuat geometri model ruangan menggunakan software SolidWork, pada penelitian ini menggambar sebuah ruang keluarga dengan ukuran 7450 mm x 7150 mm x 4000 mm.



**Gambar 3.** Geometri kondisi existing

Setelah membuat geometri, yang berikutnya dilakukan adalah pembagian objek menjadi bagian-bagian kecil (grid) yang disebut meshing. Meshing adalah satu proses yang sangat berpengaruh pada waktu iterasi pada solver, ukuran mesh dibatasi oleh kemampuan komputasi yang digunakan. Pada penelitian ini jenis meshing yang digunakan adalah bentuk cell poly hexcore dengan jumlah mesh: 197862 Cell Mesh; 828955 Face Mesh; 472720 Nodes Mesh yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Boundary Condition digunakan untuk menyepesifikasikan kondisi fluida pada surfaces dari fluida domain juga sub domainnya, serta digunakan untuk mendefinisikan simulasi alirannya. Pada fluid boundary kali ini terdapat beberapa tipe yaitu velocity inlet.

### 2.8.2 Processing

Pada proses ini hasil dari meshing geometri yang telah dibuat di export kedalam proses FLUENT pada Ansys Workbench, beberapa proses yang dilakukan. Pemodelan ini menggunakan solver 3D untuk menyelesaikan persamaan secara bertahap, dan solver yang digunakan berbasis tekanan (pressure base). Turbulence model yang digunakan adalah standard  $k - \epsilon$ . Persamaan energi diaktifkan untuk mendukung penyelesaian heat transfer



**Gambar 4.** Tampilan Meshing Model

terhadap perubahan temperatur. Pada tahap ini dilakukan pengaturan properties fluida masuk berupa udara dengan temperatur inlet sebesar 20.6°C, nilai ini diambil dari hasil pengukuran langsung yang dilakukan untuk mengetahui temperatur pada inlet. Properties diperoleh dari buku “Heat Transfer A Practical Approach 2nd Edition” karya Yunus A., Cengel, yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1:** Properties Fluida.

Properties Fluida	Nilai
Temperatur inlet (C)	20.6
$\rho$ atau Density (kg/m <sup>3</sup> )	11,488
$cp$ atau Panas spesifik (kJ/kg.K)	1007
$\mu$ atau Viskositas absolute (N.s/m <sup>2</sup> )	1.89E-01
$k$ atau Thermal Conductivity (W/m.K)	2,62E-02

Pada boundary condition variabel yang akan dibuat untuk pemodelan atau disimulasikan di input sebagai parameter nilai untuk setiap kondisi batas. Pada pemodelan kali ini menggunakan kondisi batas existing. Solution control pada metode 3D steady yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pressure-velocity coupling “SIMPLE” dengan diskritisasi standard pada pressure dan first- order upwind untuk parameter lainnya guna mempercepat durasi kalkulasi dalam ANSYS. Menurut AEA technology dalam [11] tahapan verifikasi dalam menentukan berhasil atau tidaknya pemodelan dan simulasi selama proses perhitungan dengan pendekatan CFD dilihat dari setiap konvergen atau tidak solusi atau pemodelan yang dilakukan.

### 2.8.3 Post-processing

Tahapan terakhir yang dilakukan pada penelitian ini adalah post-processing, merupakan hasil dari simulasi yang telah dilakukan, yang berupa visualisasi kontur temperatur, kecepatan udara, dan juga grafik atau berupa data-data numerik.

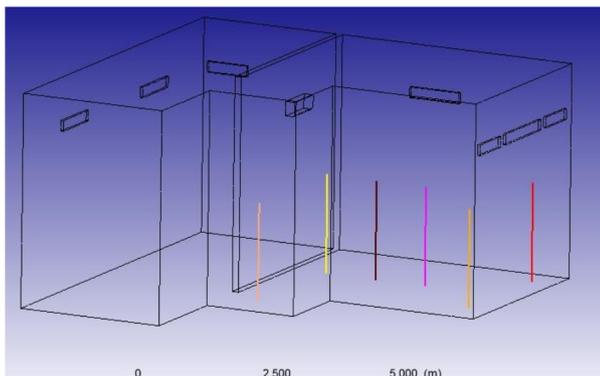
## 2.9 Validasi

Dari data hasil pemodelan yang didapatkan, akan dianalisis kesesuaiannya dengan kondisi existing untuk dilakukan validasi dan verifikasi hasil dari pemodelan tersebut, kemudian dilakukan analisis standar kenyamanan termal berdasarkan teori yang telah dituliskan pada bab sebelumnya juga berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dan melakukan upaya perbaikan pada simulasi untuk mendapatkan hasil maksimum jika dirasa dari hasil tersebut membutuhkan perbaikan.

## 3 Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Area Pengamatan

Permodelan skema eksisting terhadap ruangan ini menggunakan software ANSYS FLUENT R1 2021 Student Version. Pada skema existing ditentukan 6 titik untuk mengetahui nilai temperatur dan kecepatan udara pada setiap titiknya, sama seperti pengukuran langsung pada kondisi existing. **Gambar 5** menunjukkan titik yang akan dianalisis dimana diharapkan dapat mewakili profil distribusi temperatur dan kecepatan udara pada kondisi existing.



**Gambar 5.** Titik Pengukuran

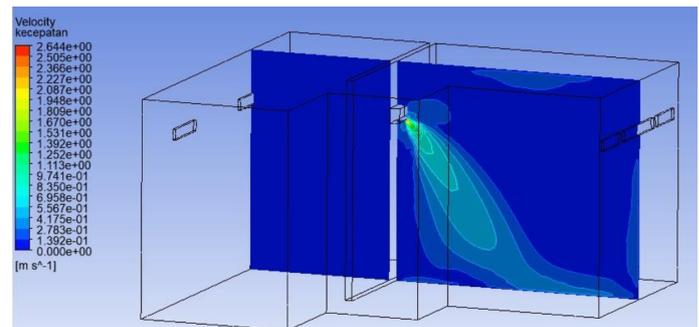
Pada setiap titik pengukuran memiliki jarak sebagai berikut:

- Titik 1 ( $x=1,7m$ ,  $y=-0,685m$ ) berjarak 50cm dari AC;
- Titik 2 ( $x=1,7m$ ,  $y=-1,685m$ ) berjarak 1m dari AC;
- Titik 3 ( $x=1,7m$ ,  $y=-2,685m$ ) berjarak 2m dari AC;
- Titik 4 ( $x=0,5m$ ,  $y=-4,185m$ ) berjarak 3m dari AC;
- Titik 5 ( $x=3m$ ,  $y=-4,185m$ ) berjarak 3m dari AC;
- Titik 6 ( $x=-1m$ ,  $y=0,685m$ ) berjarak 50cm dari AC.

### 3.2 Kecepatan Udara dan Kontur Udara Pada Skema Existing

Menurut [11], Pergerakan udara atau kecepatan udara merupakan aspek penting untuk kenyamanan termal karena kecepatan udara yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat meningkatkan kehilangan panas dari tubuh, terlebih pada daerah yang suhunya terbilang panas seperti daerah tropis.

Pada skema existing disimulasikan kondisi ruangan dengan pengkondisian udara berupa Air conditioning (AC) dengan kecepatan 2.6 m/s yang didapatkan dari hasil tertinggi selama pengukuran. Kontur kecepatan udara yang dihasilkan melalui permodelan pada skema existing ditunjukkan pada **Gambar 6**, dimana dari visualisasi tersebut dapat dilihat bahwa udara masuk ruangan melalui AC, menyebar secara merata dengan kecepatan tertinggi berada di ujung inlet AC sebesar 2.6 m/s.

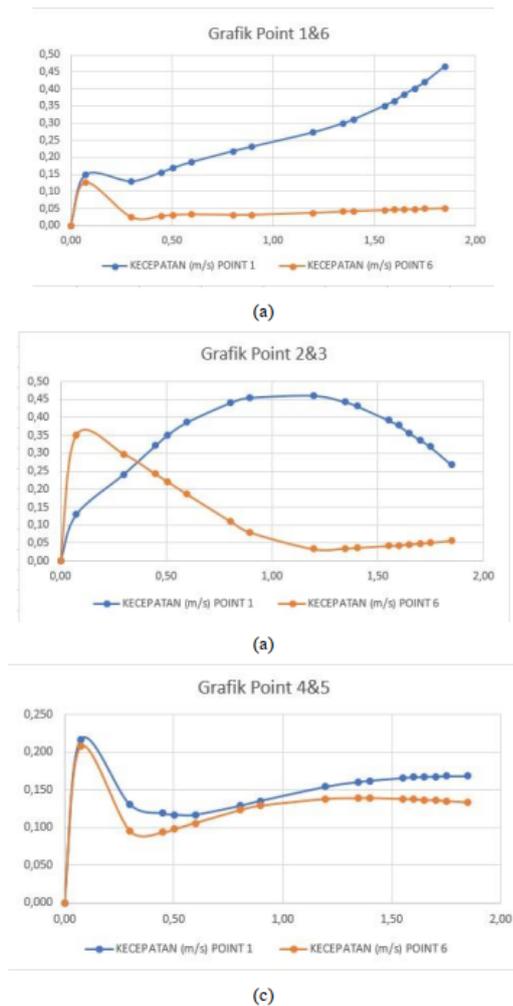


**Gambar 6.** Distribusi Kecepatan Udara dengan nilai 2.6 m/s

Temperatur udara yang dibawa oleh AC lebih rendah dari panas yang dihasilkan manusia dan temperatur akibat cuaca, udara dingin memiliki densitas lebih tinggi dan cenderung bergerak ke bawah, sebaliknya untuk udara panas memiliki densitas yang rendah dan cenderung bergerak ke atas, itu yang mengakibatkan kecepatan udara yang terjadi di dalam ruangan akan berbeda di setiap daerah. Secara keseluruhan kecepatan udara yang terjadi di ruangan masih rendah yaitu di atas 0.02 m/s.

Hasil skema existing yang disajikan pada grafik **Gambar 7** menunjukkan persebaran udara yang terjadi di dalam ruangan melalui peninjauan 6 titik pengukuran dengan pengambilan data pada ketinggian 7 cm, 160 cm dan 170 cm pada masing-masing titiknya. **Gambar 7a** menunjukkan persebaran udara dari AC pada titik 1 dan 6, **Gambar 7b** menunjukkan persebaran udara yang terjadi pada titik 2 dan 3, lalu pada titik 4 dan 5 persebaran udara ditunjukkan pada **Gambar 7c**.

Grafik pada **Gambar 7** merupakan plotting kecepatan udara di 6 titik pengukuran pada skema existing, kecepatan udara sekitar 0,3- 0,4 m/s bertahan sampai jarak 1 m pada ketinggian 170 cm, kemudian kecepatan berkurang menjadi 0,14 m/s pada jarak 3 m dari AC. Menurut SNI 03-6572-2001 untuk mempertahankan kondisi nyaman kecepatan udara yang jatuh di atas kepala tidak boleh melebihi 0,25m/s dan sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/s. Pada jarak 50 cm dan 1 m dari AC kecepatan udara tergolong masih tinggi namun turun pada jarak 2 m dari AC kecepatan berkurang menjadi 0.05 m/s. Putra, dkk dalam jurnalnya mengatakan, pada analisis yang dilakukan oleh Humpreys mengindikasikan bahwa pada kondisi lingkungan tropis kecepatan udara merupakan komponen penting untuk menentukan kenyamanan termal. Dimana, kecepatan udara di atas 0,1 m/s dan cukup konstan pada ruangan dapat meningkatkan kenyamanan terhadap temperatur.

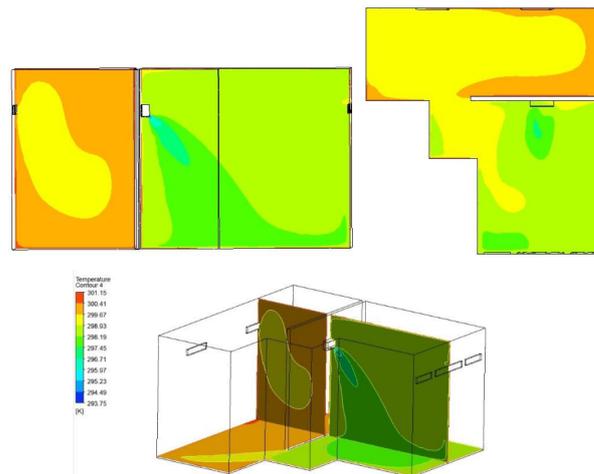


Gambar 7. Grafik Kecepatan Udara Hasil permodelan Skema Existing

### 3.3 Distribusi Temperatur Kondisi Existing dan Skema Permodelan Pada Ansys

Temperatur atau suhu udara menjadi salah satu pertimbangan pengondisian suatu termal di dalam ruangan, menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Edi dan Fattahilah(2019) air temperature yang sangat tinggi dapat berdampak pada tubuh manusia, tubuh akan mengalami peningkatan suhu lebih tinggi dan tekanan terhadap kardiovaskuler lebih tinggi sehingga mengakibatkan proses dehidrasi lebih tinggi sebagai bentuk perlawanan terhadap peningkatan suhu ruang tersebut. Selain kecepatan udara, Temperatur juga salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal melalui penilaian PMV dan PPD menurut Fanger. Pengukuran temperatur pada kondisi existing dilakukan pada siang hari di 6 titik dengan 3 ketinggian yang berbeda yaitu, 7 cm, 160 cm dan 170 cm pada setiap titiknya, pengukuran bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur pada setiap titik yang berbeda di dalam ruangan. Pada daerah inlet AC temperatur sebesar 20.6°C, temperatur semakin naik ketika menjauhi AC dan mencapai 27,26°C pada jarak 4 m dari AC.

Kontur yang didapatkan dari skema existing pada ANSYS menunjukkan terjadinya distribusi temperatur secara menyeluruh di dalam ruangan.



Gambar 8. Distribusi Temperatur

ruah di dalam ruangan. Nilai temperatur secara spesifik pada setiap titik ukur yang dilakukan dapat dilihat secara rinci ditampilkan pada Gambar 8. Gambar 8 merupakan plotting temperatur udara di dalam ruangan, dimana terjadinya fluktuasi temperatur dan masih dalam batas standar kenyamanan termal berdasarkan SNI 03-6572-2001 yaitu berkisar antara 24°C-26,10°C.

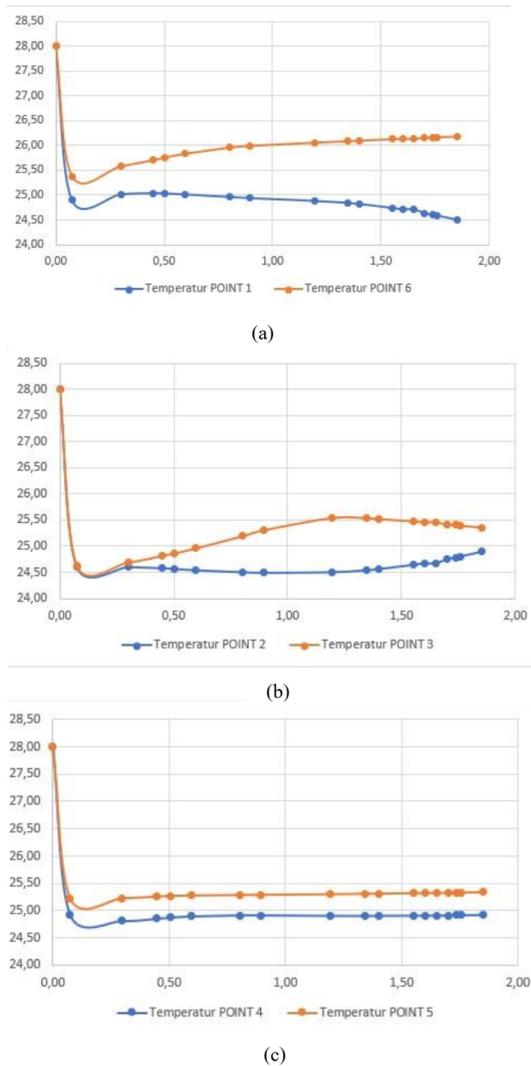
Gambar 9a merupakan plotting temperatur udara pada titik 1 dan 6. Grafik ini menunjukkan perubahan temperatur yang didapatkan dari hasil skema existing, pada titik 1 pada ketinggian 7cm temperatur yang dihasilkan sebesar 24,90°C, lalu pada ketinggian 160 cm sebesar 24,71°C, pada ketinggian 170 cm sebesar 24,64°C. Sedangkan pada titik 6 yaitu, 25,38°C, 26,13°C dan 26,15°C.

Gambar 9b merupakan plotting temperatur udara pada titik 2 dan 3. Gambar tersebut juga menunjukkan perubahan temperatur yang terjadi pada titik 2 dan 3 dengan ketinggian pengukuran yang sama. Pada titik 2 temperatur yang dihasilkan adalah 24,60°C, 24,67°C dan 24,76°C. Sedangkan pada titik 3 yaitu 24,63°C, 25,46°C dan 25,42°C.

Gambar 9c merupakan plotting temperatur udara pada titik 4 dan 5. Gambar tersebut menunjukkan perubahan temperatur yang terjadi pada titik 4 dan 5 dengan ketinggian pengukuran yang sama. Pada titik 4 temperatur yang dihasilkan adalah 24,92°C, 24,91°C dan 24,91°C, sedangkan pada pengukuran di titik 5 temperatur yang didapatkan adalah 25,22°C, 25,31°C dan 25,33°C.

### 3.4 Kelembaban Udara

Kelembaban relatif juga merupakan salah satu parameter yang penting untuk menentukan kenyamanan termal di dalam ruangan semakin tinggi. Kelembaban udara relatif dalam ruangan adalah perbandingan jumlah uap air yang dikandung oleh udara dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur ruang (SNI 03-6572-2001). [14], mengatakan apabila kulit terasa lengket dan udara sekitar pengap (berat menekan), maka RH di atas 90%, kondisi ini persis seperti keadaan sehabis mandi air hangat di dalam kamar



Gambar 9. Grafik Temperatur Hasil permodelan Skema Existing

mandi, bila manusia merasa nyaman dan kulit kering wajar, RH sekitar 50-60%. Jika RH di bawah 40% manusia cenderung merasakan kering yang tidak wajar. Nilai kelembaban relatif dapat diperoleh langsung dengan alat hygrometer selain itu nilai RH bisa didapatkan dari membandingkan parameter suhu (dry bulb temperature) dengan dew point temperature menggunakan psychrometric chart. Dew point temperature adalah titik saturasi atau titik embun udara yaitu suhu udara mulai mengembun menimbulkan titik-titik air, dew point temperatur berbeda beda di setiap wilayah. (Kurniawan, 2020).

Dari hasil plotting, nilai kelembaban relatif (RH) yang didapatkan berkisar 70-80% (Hangat nyaman) seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Nilai RH masih terbilang cukup tinggi menurut standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572- 2001.

### 3.5 Thermal Index

Simulasi pada CBE Termal Tools dilakukan di semua titik pengukuran dengan jarak ketinggian yang sama dengan pengukuran sebelumnya. Dari hasil simulasi didapatkan data sebagai berikut. Pada daerah titik 1-2 simulasi oleh CBE Ther-

mal Tools menunjukkan bahwa pada daerah tersebut sensasi termal yang dirasakan oleh manusia adalah sedikit dingin dengan nilai PMV hampir mendekati -1 hal ini dikarenakan pada daerah titik 1 dan 2 hanya berjarak 1m dari AC, namun pada jarak 2 m dari AC termal pada daerah tersebut dalam kategori nyaman dan sensasi yang di rasakan oleh manusia cenderung netral atau tidak terlalu panas ataupun terlalu dingin, dapat dikatakan bahwa kenyamanan termal dalam ruangan tersebut dapat dikatakan nyaman dengan rata- rata nilai PMV -0,32 yaitu sensasi yang dirasakan manusia netral.

### 3.6 Validasi Data

Perbedaan presentasi dari data pengukuran langsung dengan skema existing yang dimodelkan berkisar antara 3-11%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hal ini masih dapat diterima karena batas toleransi untuk standar error dari hasil pengukuran dengan hasil permodelan tidak boleh lebih dari 15% (Maamari dkk, 2006).

## 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya, secara keseluruhan kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengukuran langsung temperatur pada ruangan berkisar antara 24°C-26,10°C di mana menurut standar SNI 03-6572-2001 suhu ruangan berada di kondisi nyaman optimal untuk lingkungan tropis.
2. Pada skema existing temperatur yang didapatkan berkisar antara 24°C-26,18°C dengan kecepatan udara 0.04-0.4 m/s, kondisi tersebut juga berada pada kondisi nyaman optimal menurut SNI 03-6572-2001.
3. Hasil evaluasi komparasi terhadap SNI menunjukkan bahwa tingkat kenyamanan ruang berada pada temperatur efektif yaitu sekitar 24°C-26,10°C “nyaman optimal pada ambang atas” kemudian Tingkat kenyamanan ruang pada kelembaban relatif (RH) berada pada “hangat nyaman pada ambang atas”
4. Temperatur ruang, kecepatan udara dan kelembaban udara di dalam ruangan sangat berpengaruh terhadap kenyamanan termal.
5. Melalui analisis thermal indeks yang dikenalkan Fanger menggunakan CBE Thermal Tools diperoleh hasil bahwa tingkat kenyamanan ruangan sudah tercapai dengan rata-rata nilai PMV -0,32 dan PPD sebesar 11%.
6. Penilai kenyamanan termal menggunakan PMV method menunjukkan bahwa tingkat kenyamanan termal ruangan berada pada kondisi nyaman optimal dengan sensasi Netral.
7. Penggunaan sistem door closer pada kondisi existing dapat membantu menjaga temperatur dalam, sehingga udara dingin yang keluar dapat dibatasi.

**Tabel 2:** Nilai kelembaban relatif udara (RH).

JARAK (M)	RELATIVE HUMIDITY (%)					
	POINT 1	POINT 2	POINT 3	POINT 4	POINT 5	POINT 6
0,07	80	80	80	80	77	77
1,60	80	80	80	80	77	70
1,70	80	80	80	80	77	70

**Tabel 3:** Nilai Standar Error Hasil Pengukuran dan skema existing.

Jarak (m)	Temperatur hasil pengukuran (°C)	Temperatur hasil skema existing (°C)	Std Error
point 1	0,07	24,80	5%
	1,6	24,60	6%
	1,7	24,50	7%
point 2	0,07	24,40	10%
	1,6	24,50	9%
	1,7	24,70	3%
point 3	0,07	24,50	6%
	1,6	25,30	8%
	1,7	25,30	6%
point 4	0,07	24,70	11%
	1,6	24,80	5%
	1,7	24,80	6%
point 5	0,07	25	11%
	1,6	25,10	11%
	1,7	25,10	11%
point 6	0,07	25,20	9%
	1,6	26,00	7%
	1,7	26,10	3%

## Daftar Pustaka

- [1] Acheson, D.J., 1991. Elementary fluid dynamics. Oxford: Clarendon Press.
- [2] Alkindi, H., Purwanto, Y.A. Wulandani, D., 2015. Analisis CFD aliran udara panas pada pengering tipe rak dengan sumber energi gas buang. Jurnal Keteknikan Pertanian, 3(1), pp.1-10.
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007. ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta: ASHRAE.
- [4] Cena, K. De Dear, R., 2001. Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. Journal of Thermal Biology, 26(4-5), pp.409-414.
- [5] Chaudhuri, T., Soh, Y.C., Bose, S., Xie, L. Li, H., 2016. On assuming mean radiant temperature equal to air temperature during PMV-based thermal comfort study in air-conditioned buildings. In: IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, pp.7065-7070.
- [6] Humphreys, M.A., 1992. Thermal comfort requirements, climate and energy. In: The Second World Renewable Energy Congress. Reading, UK, pp.1-10.
- [7] Karyono, T.H., 2008. Pembelajaran studio perancangan arsitektur (SPA) dan penekanan aspek kenyamanan serta energi. In: Prosidings Seminar Pendidikan Arsitektur, Jurusan Arsitektur, Universitas Udayana. Bali, pp.1-10.
- [8] Latifah, L.N., Perdana, H., Prasetya, A. Siahaan, M.P.O., 2013. Kajian kenyamanan termal pada bangunan Student Center Itenas Bandung. Jurnal Reka Karsa, 1(1), pp.1-12.
- [9] Lippsmeier, G., 1994. Bangunan Tropis. Jakarta: Erlangga.
- [10] Nielsen, P.V., 1995. Lecture Notes on Mixing Ventilation. Aalborg: Aalborg University.
- [11] Novianto, H., 2017. Studi numerik distribusi temperatur dan kecepatan udara pada unit filling lithos PT. Pertamina LOBP Gresik. [Doctoral dissertation]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Nuryawati, N., 2011. Simulasi distribusi suhu dan pola aliran udara dalam rumah tanaman tipe modified arch menggunakan computational fluid dynamics. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [13] Satwiko, P., 2008. Fisika Bangunan. Yogyakarta: ANDI.
- [14] Satwiko, P., 2009. Fisika Bangunan. Yogyakarta: ANDI.
- [15] Supriyanto, E. Effendy, M., 2017. Simulasi distribusi temperatur ruangan ber AC pada berbagai variasi temperatur disekitar evaporator. [Doctoral dissertation]. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [16] Szokolay, S.V., 1980. Environment Science Handbook. London: Construction Press Longman.
- [17] Talarosha, B., 2005. Menciptakan kenyamanan thermal dalam bangunan. Jurnal Sistem Teknik Industri, 6(3), pp.148-158.
- [18] Xia, B. Sun, D.W., 2002. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review. Computers and Electronics in Agriculture, 34(1-3), pp.5-24.
- [19] Yau, Y.H., Ding, L.C. Chew, B.T., 2011. Thermal comfort and indoor air quality at green building in Malaysia. In: Kuala Lumpur (M). United Kingdom–Malaysia–Ireland Engineering Science Conference.