

Distribusi Suhu Udara pada Greenhouse dengan Aplikasi Air Conditioning (AC) Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Simulation of Air Temperature Distribution in Greenhouse with Air Conditioning (AC) Application Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

Ibnu Nurman Az-zaky¹, Eni Sumarni^{1,*}, Afik Hardanto¹

¹Program Studi Teknik Pertanian - Fakultas Pertanian - Universitas Jenderal Soedirman

*Korespondensi, Email: eni.sumarni@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Greenhouse merupakan bangunan yang dibuat untuk melakukan budidaya tanaman. Saat ini *greenhouse* mulai banyak digunakan oleh petani Indonesia dalam rangka produksi sayuran, buah, bunga dan tanaman komersial lainnya. *Greenhouse* dengan struktur yang tertutup menciptakan iklim mikro yang cenderung berbeda dengan iklim di luar *greenhouse*. Struktur bangunan *greenhouse* yang tertutup menyebabkan suhu udara di dalam *greenhouse* lebih tinggi dibandingkan suhu di luar *greenhouse*, sehingga seringkali kurang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Upaya pengendalian suhu udara di dalam *greenhouse* telah banyak dilakukan, yaitu pengendalian secara alami maupun pengendalian mekanik. Pengendalian suhu udara secara mekanik diantaranya menggunakan pendingin ruangan atau Air conditioning (AC). Namun bagaimana distribusi suhu udara di dalam *greenhouse* dari penggunaan AC perlu diketahui untuk peningkatan presisi pengendalian suhu di dalam *greenhouse*. Distribusi suhu udara disimulasi dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) karena memiliki kemampuan memprediksi perilaku aliran fluida. Tujuan penelitian ini yaitu mendapatkan pola distribusi suhu udara pada *greenhouse* dengan aplikasi AC dengan CFD. Penelitian dilakukan di *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto pada bulan Januari sampai Maret 2020. Parameter iklim mikro yang diukur adalah suhu udara di dalam *greenhouse* dan kecepatan. Analisis data menggunakan bantuan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan *software* CFDSOF v1.6. Pendugaan distribusi suhu dan kecepatan aliran pada CFDSOF melalui beberapa tahap yaitu pembuatan geometri pada *software SolidWorks* 2014 x64 edition, *meshing*, *initial condition*, *boundary condition*, dan *simulation model*. Simulasi menggunakan CFDSOF dilakukan pada pukul 12:00 selama 15 menit. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa penggunaan AC pada *greenhouse* mampu menurunkan suhu udara pada daerah yang berada terdekat dengan AC. Namun, belum mampu menurunkan seluruh area *greenhouse*. Persentase rerata *error* dari perhitungan validasi suhu sebesar 2,25 % dan validasi kecepatan aliran sebesar 0,73%.

Kata kunci: Air Conditioning (AC), CFD, CFDSOF

ABSTRACT

Greenhouse is a building made for cultivating plants. Currently, greenhouses are increasingly being used by Indonesian farmers in the production of vegetables, fruit, flowers and other commercial crops. Greenhouse with a closed structure creates a microclimate that tends to be different from the climate outside the greenhouse. The closed structure of the greenhouse building causes the air temperature in the greenhouse to be higher than the temperature outside the greenhouse, so it is often not suitable for plant growth. Many efforts to control the temperature in the greenhouse have been carried out, namely natural control and mechanical control. Mechanical control of air temperature includes using air conditioning or air conditioning. However, the distribution of air temperature in the greenhouse from the use of AC needs to be known to increase the precision of temperature control in the greenhouse. The distribution of air temperature is simulated with Computational Fluid Dynamic (CFD) because it has the ability to predict fluid flow behavior. The purpose of this study was to obtain the distribution pattern of the air temperature in the greenhouse with the application of AC with CFD. The research was conducted in a greenhouse, Faculty of Agriculture, Jendral Soedirman University, Purwokerto from January to March 2020. The parameters of micro-climates measured were air temperature in the greenhouse and velocity. Data analysis

used Computational Fluid Dynamic (CFD) with CFDSOF v1.6 software. Estimation of temperature distribution and flow velocity in CFDSOF through several stages, namely making geometry in SolidWorks 2014 x64 edition software, meshing, initial condition, boundary condition, and simulation model. The simulation using CFDSOF was carried out at 12:00 for 15 minutes. The CFD simulation results show that the use of AC in the greenhouse is able to reduce the air temperature in the area closest to the AC. However, they have not been able to reduce the entire greenhouse area. The average percentage error from the temperature validation calculation is 2.25% and the flow velocity validation is 0.73%.

Keywords: Air Conditioning (AC), CFD, CFDSOF

PENDAHULUAN

Greenhouse merupakan bangunan yang tertutup dan difungsikan sebagai sarana budidaya tanaman. Pengendalian iklim mikro seperti suhu udara, kelembaban udara, radiasi matahari diperlukan untuk memberikan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Beberapa sayuran yang dibudidayakan di dalam *greenhouse* menunjukkan hasil yang baik dibandingkan di lingkungan terbuka, seperti selada (Sulistyaningsih, 2005). Bentuk *greenhouse* yang disiapkan untuk produksi tanaman sebaiknya menyesuaikan kondisi iklim setempat, dimana Indonesia berbeda dengan negara-negara empat musim (Setiyo *et al.*, 2014; Inayah, 2007). Budidaya sayuran untuk produksi benih kentang dengan sistem aeroponik di dalam *greenhouse* yang dilakukan dengan modifikasi iklim dengan mendinginkan air nutrisi dapat menjadi salah satu metode yang efektif untuk budidaya yang dapat dilakukan di dataran rendah (Sumarni *et al.*, 2013).

Teknologi aeroponik telah dilakukan dalam budidaya beberapa tanaman, seperti tanaman sawi (Pratiwi *et al.*, 2015), selada keriting, *lollorossa*, *romaine* (Prawoto & Kartika, 2017), dan produksi benih kentang (Sumarni *et al.*, 2013). Namun, suhu udara di dalam *greenhouse* seringkali belum optimal untuk pertumbuhan dan hasil tanaman, hal tersebut disebabkan dari konstruksi dan bahan material penyusun *greenhouse* (Hadiutomo, 2012; Sumarni *et al.*, 2013). Dari kondisi tersebut perlu dilakukan pengendalian suhu udara didalam *greenhouse*, diantaranya melalui pengendalian mekanik menggunakan Air Conditioning (AC). Fungsi dari pengkondisian udara digunakan untuk kenyamanan (*comfort air conditioning*), yaitu untuk menciptakan kondisi udara yang nyaman untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Distribusi suhu udara pada aplikasi AC sebagai pengendali suhu udara di dalam *greenhouse* perlu diketahui untuk mendapatkan sebaran atau tingkat keseragaman suhu udara dari pengendalian yang dilakukan. Distribusi sebaran suhu udara tersebut dapat diketahui dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

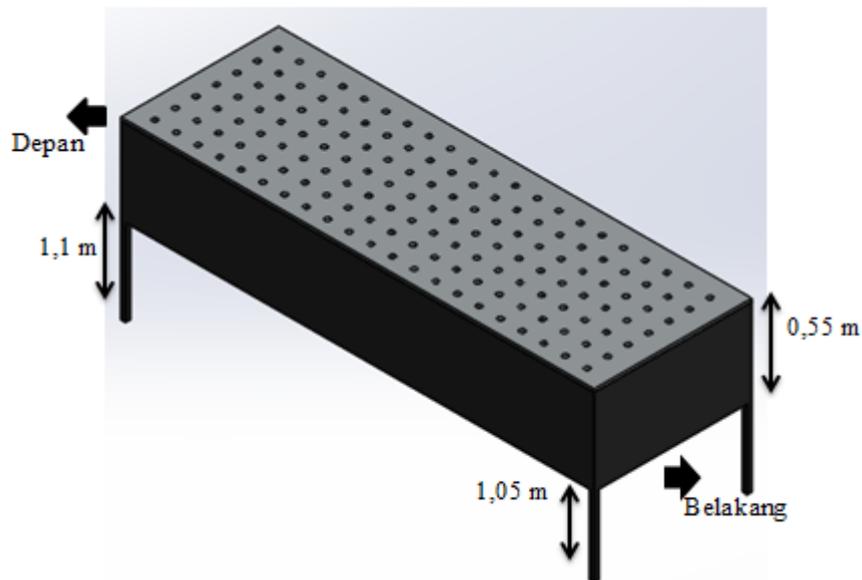
Computational Fluid Dynamics (CFD) suatu teknologi komputasi yang memungkinkan untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. Simulasi CFD mampu memprediksi tanpa harus membuat berbagai kondisi *greenhouse* secara aktual terlebih dahulu. CFD dapat digunakan tanpa adanya batasan dalam kondisi objek yang kompleks dan memberikan hasil simulasi dengan detail melalui gambar kontur beserta animasinya (Zulhanif, 2011). Analisis CFD yang digunakan dalam penelitian menggunakan *software* CFDSOF v1.6. CFDSOF v1.6 merupakan *software* CFD pertama di Indonesia yang dikembangkan di Universitas Indonesia. CFDSOF v1.6 menawarkan fitur yang lengkap, cara mudah, dan hemat biaya. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah mendapatkan pola distribusi suhu udara pada *greenhouse* tipe *Arch* dengan aplikasi *Air Conditioning* (AC). Selain itu, dapat mengetahui kinerja aplikasi AC pada sistem aeroponik melalui hasil visualisasi menggunakan CFD.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu box aeroponik yang terbuat dari rangka besi dengan panjang 3 m, lebar 1 m, dan tinggi 0,55 m. Box aeroponik tersebut

mempunyai dudukan (kaki penyangga) dengan ukuran tinggi 1,1 m di bagian depan dan 1,05 m di bagian belakang (seperti pada Gambar 1).



Gambar 1. Layout box aeroponik.

Pada bagian atas box aeroponik ditutupi *styrofoam* dengan ketebalan 2 cm, yang kemudian dilubangi sebagai tempat tumbuhnya tanaman. Selain itu, disiapkan pula *greenhouse* tipe *arch* dan AC jenis split dengan kapasitas $\frac{1}{2}$ pk yang diletakkan didalam *greenhouse*, ukuran instalasi *greenhouse* tipe *arch* yaitu panjang 5 m dan lebarnya 7 m yang dilapisi plastik PE dengan ketebalan 0,8 mm. Ketinggian *greenhouse* bagian samping sebesar 2,55 m, sedangkan tinggi tengahnya 4,6 m. Alat ukur yang digunakan yaitu termometer hygrometer digital, thermometer infrared, dan anemometer. Selain itu, diperlukan software CFDSOFv1.6 untuk melakukan analisis simulasi fluida.

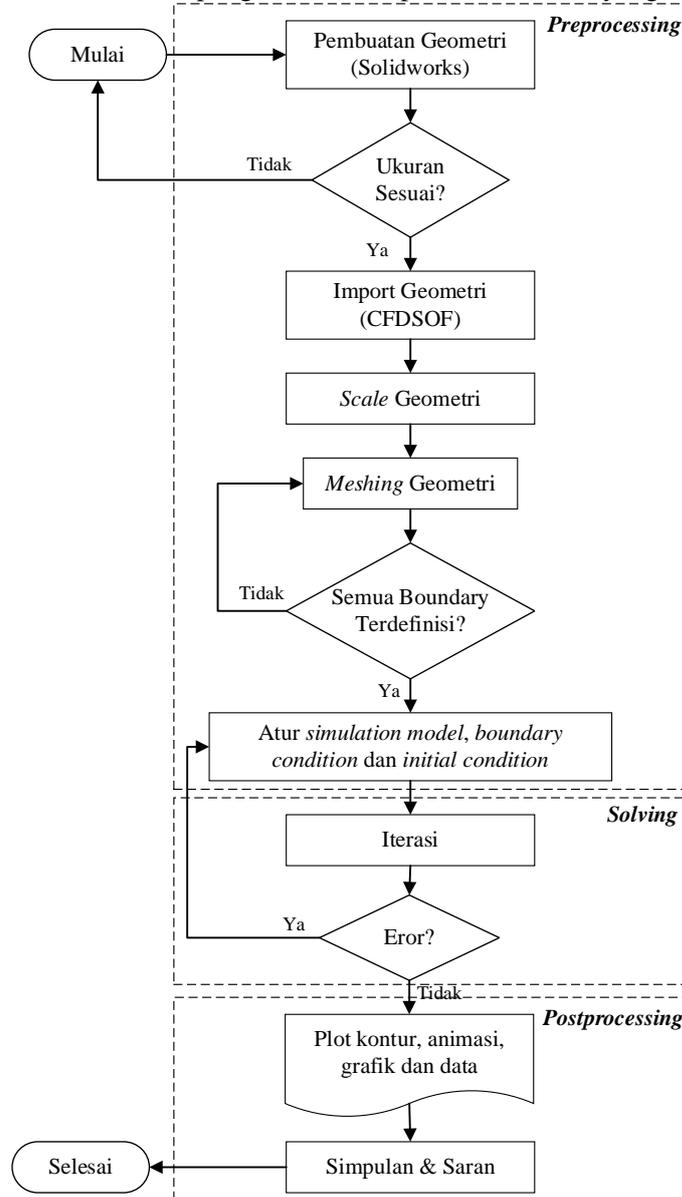
Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan metode penelitian eksperimental analisis. Metode penelitian yang menggabungkan antara penelitian eksperimental dengan pengukuran yang dilakukan di lapangan yang kemudian disertai oleh analisis komputasi. Analisis komputasi yang dilakukan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Penelitian dimulai dengan membuat instalasi aeroponik yang kemudian diletakkan di dalam *greenhouse* tipe *arch* dapat dilihat pada Gambar 3. *Greenhouse* dibuat tertutup tanpa ventilasi.

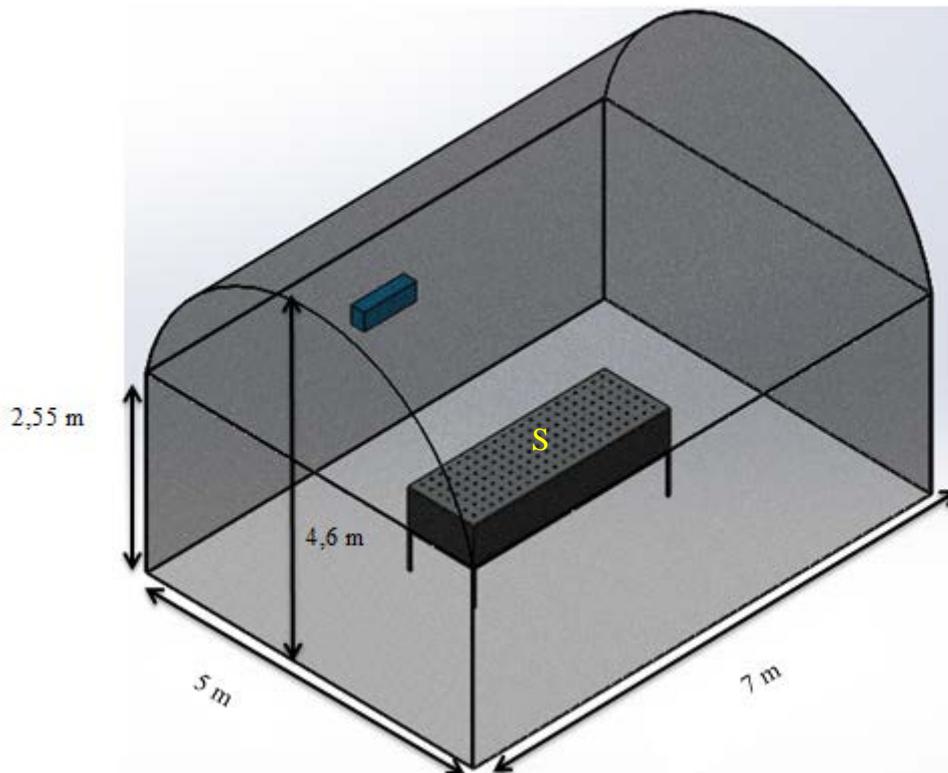
Pengukuran yang dilakukan di lapangan berupa pengambilan data suhu udara dan kecepatan angin yang keluar dari AC sebanyak 3 kali perulangan, dilakukan di hari yang berbeda. Pengukuran dilakukan pada pukul 09:00, 12:00 dan 16:00 WIB. Sedangkan untuk simulasi menggunakan CFDSOF v1.6 dilakukan pada jam 12:00 untuk melihat distribusi udara pada saat *greenhouse* kondisi suhu tinggi. Penempatan alat ukur suhu udara di letakkan pada permukaan box aeroponik. Pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan meletakkan anemometer di dekat outlet udara AC. Selain itu, pengukuran suhu lingkungan *greenhouse* di letakkan di daerah lingkungan *greenhouse*.

Analisis komputasi dilakukan dengan melihat fenomena yang terjadi dalam *greenhouse* tipe *arch* menggunakan CFDSOF dengan alur seperti pada Gambar 2. Simulasi akan dilakukan pada pukul 12:00 selama 15 menit pada saat *greenhouse* kondisi suhu tinggi. Asumsi penting yang digunakan dalam simulasi adalah fluida dianggap hanya 1 fasa yaitu udara pada tekanan atmosfer. Beberapa asumsi lain yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Solusi perhitungan bergantung pada waktu.
2. Densitas udara tidak berubah secara signifikan.
3. Memperhitungkan efek boyansi (gravitasi).
4. Aliran bersifat turbulen.
5. Temperatur lingkungan luar konstan terhadap waktu selama proses simulasi.
6. Tanaman tidak memberikan pengaruh terhadap distribusi suhu yang terjadi.



Gambar 2. Diagram alir simulasi CFDSOF.



Gambar 3. Greenhouse yang digunakan untuk penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dugaan Distribusi Udara Air Conditioning

Air Conditioning sebagai mesin pendingin yang digunakan pada penelitian penting diketahui karakteristiknya terlebih dahulu. Pemahaman dasar akan pola masuknya udara ke dalam *greenhouse*, sirkulasi udara yang terjadi dan proses pendinginan di dalam mesin pendingin sebelum dialirkan ke dalam diperlukan untuk memperkirakan pola aliran fluida yang masuk ke dalam *greenhouse* sebelum tahap simulasi.

Langkah pertama udara dari lingkungan *greenhouse* terhisap oleh mesin pendingin. Setelah udara masuk ke dalam mesin pendingin untuk mendinginkan refrigeran, terjadi proses pindah panas dimana udara yang terhisap didinginkan oleh udara di dalam mesin pendingin dengan bantuan freon. Sehingga, udara yang akan keluar dari mesin pendingin melalui outlet AC ke dalam *greenhouse* adalah udara dengan temperatur yang lebih rendah. Dapat disimpulkan, dugaan awal pola aliran fluida yang terjadi di dalam *greenhouse* adalah distribusi udara dingin yang dimasukkan oleh mesin pendingin ke dalam *greenhouse* yang kemudian akan menurunkan suhu udara dalam *greenhouse*.

Simulasi dengan CFDSOF

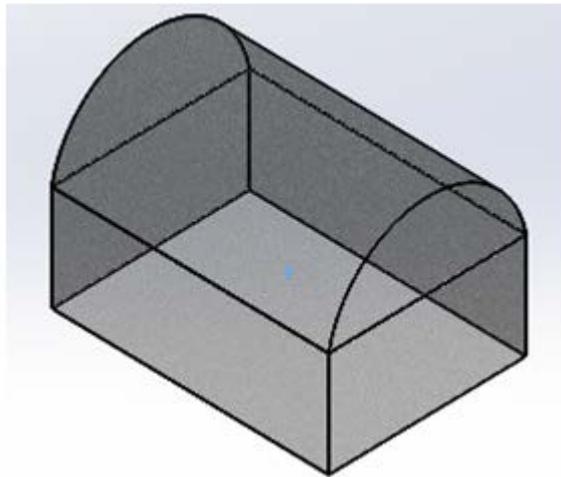
1. Pembuatan geometri dan meshing

a. Pembuatan geometri

Pembuatan *geometri* bisa dibuat dengan dua cara yaitu dengan cara membuat langsung pada aplikasi CFDSOF dan cara yang kedua adalah dengan bantuan *software*. Namun, untuk pembuatan *geometri* pada aplikasi CFDSOF memiliki keterbatasan tidak bisa membuat *geometri* yang lebih spesifik menyerupai bentuk

objek asli, sehingga pembuatan *geometri* lebih banyak dibuat dengan bantuan *software* seperti *software* SolidWorks.

Geometri dibuat menggunakan *software* SolidWorks 2014x64 *edition*. Pembuatan *geometri* *greenhouse* tipe arch (Gambar 4) dan objek perangkat lain seperti box evaporative serta AC (Gambar 5). Selanjutnya part yang telah dibuat dengan sesuai ukuran aslinya harus disimpan dengan format (.STL) dan tanpa spasi. Part yang telah disimpan dengan format (.STL) tersebut kemudian di-import kedalam CFDSOF v1.6 untuk pembentukan *meshing*.



Gambar 4. Geometri *greenhouse*.



Gambar 5. Geometri objek perangkat AC dan box aeroponik.

b. Pembuatan *meshing*

Pembuatan *meshing* dimulai dengan *geometry preparation* yaitu menyesuaikan ukuran part dari *software* SolidWorks ke dalam CFDSOF, part dari *software* SolidWorks ukurannya dalam satuan milimeter, sehingga perlu rescale pada CFDSOF dengan scale 0,001. Selanjutnya, perlu dilakukan Mesh Refinement pada setiap *geometri* menggunakan Surface Refinement dengan rincian seperti Tabel 1. Surface Refinement dalam CFDSOF merupakan pendefinisian level cell yang digunakan untuk meningkatkan ketelitian setiap cell yang berada di permukaan objek.

Tabel 1.
Level *surface refinement*.

No	Part of .STL	Surface Refinement	
		Minimum Level	Maximum Level
1	BoxEvaporative.STL	2	2
2	AC.STL	2	2
3	OutletAC.STL	2	2
4	SensorValidasi.STL	2	2
5	Dinding1.STL	0	0
6	Dinding2.STL	0	0
7	Dinding3.STL	0	0
8	Dinding4.STL	0	0
9	Atap.STL	0	0
10	Ground.STL	0	0

Langkah selanjutnya, melakukan Base Mesh sebagai penentuan penting daerah yang akan di-*meshing*. *Meshing* dilakukan pada daerah dalam *greenhouse* tipe *arch* yang di dalamnya terdapat instalasi aeroponik dan AC yang disebut sebagai domain. Base mesh yang digunakan harus menempel dengan seluruh bagian permukaan pada objek yang dikenal dengan *autosize dimensions*. Ukuran grid yang digunakan sebagai penentuan banyaknya mesh yaitu (28×18×20) seperti terlihat di Gambar 6. Generate Mesh dilakukan untuk menentukan daerah yang akan di-*meshing* yaitu aliran di dalam domain atau internal flow. Check Meshing dilakukan untuk mengetahui ketepatan hasil *meshing*.



Gambar 6. Hasil grid domain (tampak sisi kiri).

2. Pendefinisian bidang batas

Pendefinisian bidang batas dilakukan pada boundary conditions dan initial conditions, pendefinisian ini penting dilakukan agar nilai temperatur dan kecepatan aliran dapat dihitung pada tiap mesh yang sudah ditetapkan. Pada penelitian ini pendefinisian bidang batas pada boundary conditions terbagi dalam 2 definisi, yaitu wall yang merupakan bagian-bagian sisi *greenhouse* terbagi 6 bagian dan outlet AC yang merupakan letak keluarnya fluida ke dalam *greenhouse*.

Ulangan perhitungan dilakukan sebanyak 3 kali memberikan nilai suhu setiap bagian wall yang berbeda berturut-turut seperti terlihat pada tabel 2. Sedangkan pendefinisian

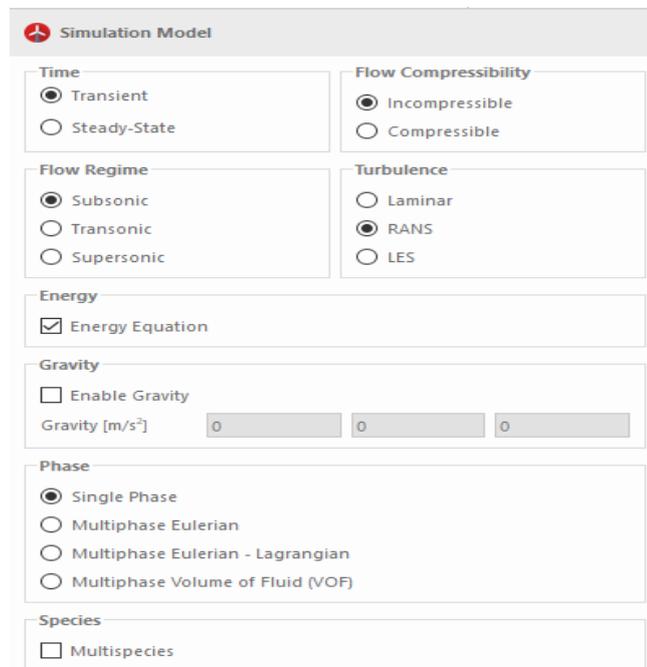
untuk outlet memiliki suhu 16°C (289 K) dan nilai kecepatan angin berturut-turut 1.1 m/s, 1 m/s, dan 1 m/s. Pendefinisian bidang batas untuk initial conditions merupakan nilai input suhu udara greenhouse dalam 3 kali ulangan berturut-turut 45 °C (318 K), 44 °C (317 K), 41 °C (314 K).

Tabel 2.
 Nilai suhu tiap bagian *wall*

Nama bagian <i>wall</i>	Ulangan1	Ulangan 2	Ulangan 3
Atap <i>greenhouse</i>	43 ⁰ C (316 K)	42 ⁰ C (315 K)	40 ⁰ C (313 K)
Ground	38 ⁰ C (311 K)	38 ⁰ C (311 K)	39 ⁰ C (312 K)
Dinding bagian timur	41 ⁰ C (315 K)	42 ⁰ C (314 K)	40 ⁰ C (313 K)
Dinding bagian barat	39 ⁰ C (312 K)	38 ⁰ C (311 K)	38 ⁰ C (311 K)
Dinding bagian selatan	38 ⁰ C (311 K)	37 ⁰ C (310 K)	36 ⁰ C (309 K)
Dinding bagian utara	35 ⁰ C (308 K)	34 ⁰ C (307 K)	33 ⁰ C (306 K)

3. Pemodelan simulasi

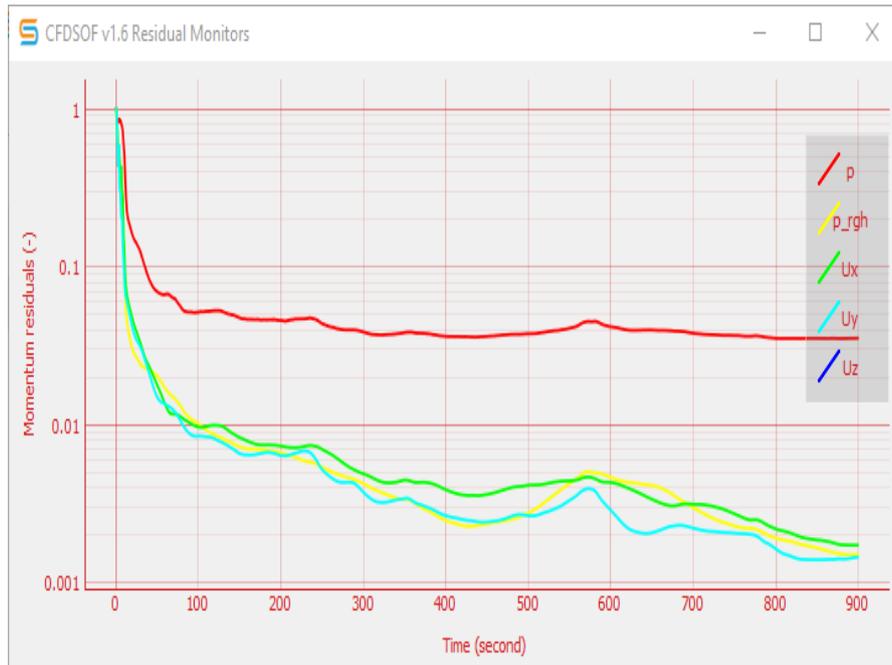
Permodelan simulasi terkait pendefinisian model yang diinginkan dalam simulasi yang akan kita kerjakan. Asumsi yang digunakan yaitu fluida dengan satu fasa berjenis udara, simulasi aliran transien (unsteady-state). Fluida yang digunakan bersifat tak termampatkan (incompressible) sehingga massa jenisnya akan tetap. Aliran bersifat turbulen dengan jenis RANS (Reynold Average Navier Stokes) dan menggunakan model turbulensi SST k-omega. Persamaan energi dan besaran gravitasi diperlukan dalam simulasi dengan pendefinisian nilainya dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 7. Pendefinisian model simulasi.

4. Iterasi

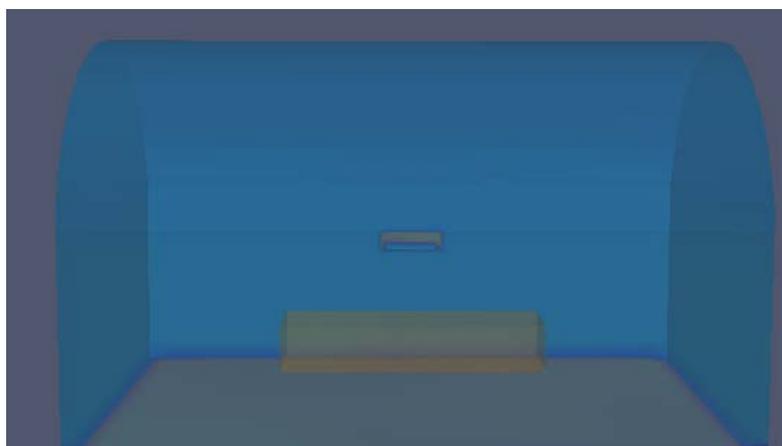
Proses iterasi dikenal dengan proses perhitungan yang dilakukan oleh komputer sebagai pengganti perhitungan manual. Perhitungan pada penelitian ini dilakukan selama 15 menit (900 detik) dengan timestep 0,1 detik dan data akan tersimpan setiap 10 detik sekali. Simulasi dilakukan selama 15 menit saat panas tertinggi yaitu di jam 12:00 WIB. Iterasi selama 15 menit menunjukkan konvergen, hal tersebut dapat di lihat pada Gambar 8 bahwa sudah tidak mengalami perubahan yang signifikan pada detik 800 sampai 900 sehingga dapat dikatakan konvergen.



Gambar 8. Proses perhitungan pada CFDSOF.

5. *Post Processing* CFDSOF

Post Processing CFDSOF merupakan tahapan terakhir dari simulasi, tahapan ini dilakukan dengan Paraview. Hasil dari Paraview dapat diketahui dan dilihat dengan jelas melalui gambar yang disajikan. Perubahan besaran suhu udara pada 0 menit (sebelum AC menyala) dan 15 menit (setelah AC menyala) dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Distribusi udara pada 0 menit.



Gambar 10. Distribusi suhu pada 15 menit.

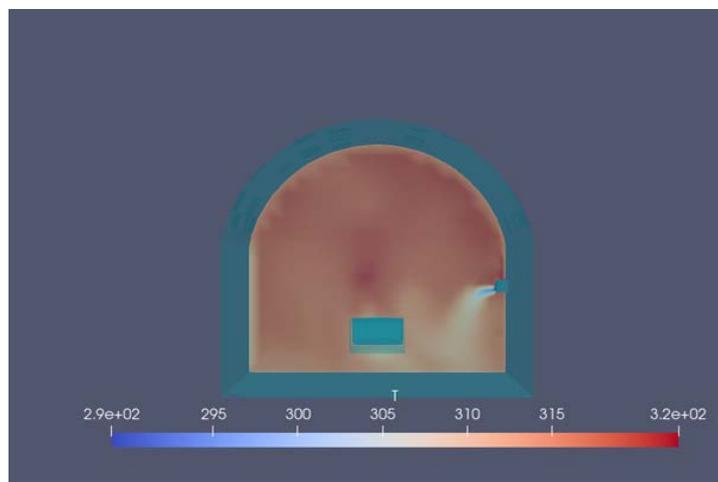
Hasil Simulasi CFDSOF

Hasil simulasi pada penelitian ini disajikan dalam bentuk vektor dan kontur melalui *Paraview*. Vektor pada hasil simulasi ditunjukkan dengan tanda panah, dan kontur ditunjukkan dengan warna. Hasil simulasi dalam bentuk vektor akan menampilkan pergerakan arah anak panah, pergerakan dari anak panah tersebut akan menjelaskan suatu perbedaan nilai suhu, sedangkan kontur menyajikan perbedaan warna yang disajikan, warna terang menunjukkan suhu yang rendah dan warna yang cenderung gelap menunjukkan suhu yang lebih tinggi.

1. Hasil Simulasi Temperatur

Hasil distribusi aliran suhu mesin pendingin AC di dalam greenhouse ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar 11 merupakan hasil simulasi dalam bentuk kontur, adanya perbedaan warna pada tampilan menunjukkan adanya perbedaan suhu. Warna yang lebih terang yang keluar dari outlet AC menunjukkan suhu yang lebih rendah, yang kemudian mulai menyebar keseluruh lingkungan greenhouse yang bersuhu lebih tinggi ditunjukkan dengan warna yang lebih gelap.

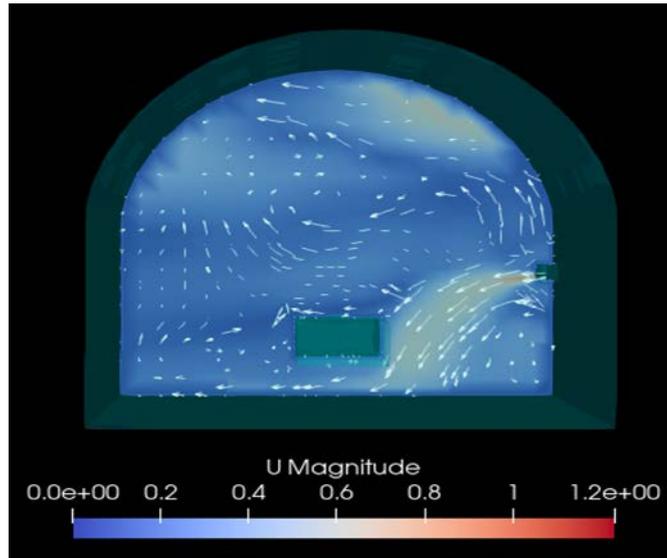
Simulasi pada semua ulangan menunjukkan kesamaan pergerakan arah anak panah dan pola warna pada hasilnya. Input kondisi awal pada simulasi ulangan pertama dengan suhu udara sebesar 45°C (318 K) menghasilkan kisaran suhu $16\text{-}45,05^{\circ}\text{C}$ ($298\text{-}318,05\text{ K}$). Pada ulangan kedua dengan input kondisi awal 44°C (317 K) menghasilkan kisaran suhu $16\text{-}44,3^{\circ}\text{C}$ ($298\text{-}317,3\text{ K}$), dan ada ulangan ketiga dengan input kondisi awal 41°C (314 K) menghasilkan kisaran suhu $16\text{-}40,4^{\circ}\text{C}$ ($298\text{-}313,4\text{ K}$).



Gambar 11. Kontur temperatur.

Pendinginan menggunakan AC pada *greenhouse* belum mampu menurunkan suhu udara pada semua area yang terdapat di dalam *greenhouse* tipe *arch*. Distribusi suhu udara oleh AC tersebut tidak optimal dapat dilihat pada warna yang ditunjukkan pada hasil simulasi, suhu tinggi mendominasi area *greenhouse*. Hal tersebut dapat terjadi karena suhu yang terlalu tinggi dari arah dinding dan atap *greenhouse* yang terbuat dari plastik yang membuat panas langsung masuk ke dalam. Selain itu, area *greenhouse* yang cukup besar sehingga jangkauan pendinginan tidak terlalu jauh yang menyebabkan tidak semua area dapat diturunkan suhunya. Namun, pada area tempat tumbuhnya tanaman (box aeroponik) dapat diturunkan dengan adanya aplikasi AC.

2. Hasil Simulasi Aliran Udara



Gambar 12. Vektor Aliran Udara

Dapat dilihat dari Gambar 12 udara masuk melalui outlet AC kemudian bergerak memenuhi area *greenhouse*. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan CFDISO, outlet mengalirkan udara dengan kecepatan antara 0,8-1.05 m/s untuk ulangan yang pertama, untuk ulangan kedua 0,7-0,99 m/s, dan untuk ulangan ketiga 0.69-0.99m/s.

Validasi Hasil Simulasi

1. Validasi suhu

Validasi suhu hasil simulasi dan hasil pengukuran diperlihatkan pada Table 5. Hasil validasi memiliki kecenderungan tidak berbeda jauh pada percobaan satu sampai tiga.

Tabel 5.

Validasi suhu hasil simulasi CFD

Percobaan	Tukur (°C)	Tsimulasi (°C)	Error (%)
1	42,7	43,68	2,3
2	41,2	42,11	2,2
3	39,4	40,29	2,27
Error rata-rata (%)			2,25

Keterangan:

- T_{ukur} = Suhu pengukuran (°C)
- T_{simulasi} = Suhu Simulasi (°C)

Pada validasi suhu yang telah dilakukan pada tiga kali perulangan menunjukkan nilai *error* terkecil yaitu pada percobaan kedua dengan nilai *error* sebesar 2,2 %, selain itu dari nilai yang telah didapat menunjukkan nilai *error* untuk setiap percobaan tidak berbeda jauh dan nilai persentase *error* yang cukup kecil. Hal ini menunjukkan bahwa keakuratan simulasi CFD cukup baik, nilai *error* yang kecil dihasilkan dalam simulasi bergantung pada ketepatan asumsi yang digunakan dalam pendefinisian input dan ketepatan pengukuran data di lapangan. Oleh karena itu, pendefinisian asumsi seharusnya dibuat sedekat mungkin dengan keadaan yang terjadi di lapangan serta pentingnya kalibrasi alat ukur dalam pengambilan data.

2. Validasi kecepatan aliran

Validasi kecepatan hasil simulasi dan hasil pengukuran diperlihatkan pada Table 6. Hasil validasi menunjukkan nilai *error* yang cukup kecil untuk setiap percobaan, *error* terbesar di dapatkan pada percobaan yang ke tiga dengan nilai *error* 1.11 %.

Tabel 6.

Kecepatan udara hasil pengukuran hasil simulasi.

Percobaan	Vukur (m/s)	Vsimulasi (m/s)	Error (%)
1	1	1,004	0,4
2	0,9	0,907	0,7
3	0,9	0,91	1,11
Error rata-rata (%)			0,73

Keterangan:

Vukur = kecepatan pengukuran (m/s)
Vsimulasi = kecepatan simulasi (m/s)

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan CFDSOF, diperoleh pola distribusi suhu udara pada *greenhouse* dengan aplikasi AC. Penurunan suhu udara yang terjadi pada *greenhouse* belum merata sehingga belum optimal hal tersebut dapat dilihat pada hasil simulasi yang ditunjukkan dengan warna gelap mendominasi area *greenhouse*. Namun, pada area box aeroponik suhu masih lebih rendah, hal tersebut karena box aeroponik berada berdekatan dengan AC. Validasi suhu udara hasil simulasi dan pengukuran di lapangan memberikan nilai rerata *error* sebesar 2,25%. Validasi kecepatan aliran yang dilakukan memberikan nilai rerata *error* sebesar 0,73%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman atas terlaksananya penelitian ini di *greenhouse* Faperta Unsoed dan juga Laboratorium Teknik Mesin UI atas kesempatan yang diberikan untuk mempelajari CFDSOF.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadiutomo, K. 2012. *Mekanisasi Pertanian*. Bogor: IPB Press.
- Inayah, A. N. 2007. Analisis Lingkungan dalam Bangunan Greenhouse Tipe Tunnel Yang Telah Dimodifikasi di PT. Alam Indah Bunga Nusantara, Cipanas, Cianjur. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Pratiwi, P. R., Subandi, M., & Mustari, E. 2015. Pengaruh Tingkat EC (Electrical Conductivity) terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica Juncea L.*) pada Sistem Instalasi Aeroponik Vertikal. *Jurnal Agro*, 2(1): 50-55.

- Prawoto, B. R., & Kartika, J. G. 2017. Pengelolaan Aspek Produksi dan Pasca Panen Sayuran Daun Secara Aeroponik dan Hidroponik: Studi Kasus Lembang, Bandung. *Buletin Agrohorti*, 4(1): 9-19.
- Setiyo, Y., Sumiyati., & Ni Putu, Y. 2019. Analisis Iklim Mikro di Greenhouse dengan Atap Tipe Arch untuk Budidaya Bunga Krisan Potong. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 4(1): 24-34.
- Sumarni, E., Hardanto, A., Arsil, P. 2019. Pendinginan Evaporative dengan Teknik Semburan Untuk Memperbaiki Kondisi Bagian Atas Tanaman pada Produksi Benih Kentang secara Aeroponik di Dataran Rendah Tropika. No Pendaftaran Paten: S00201911506.
- Sumarni, E., Suhardiyanto, H., Seminar, K. B., & Saptomo, S. K. 2013. Pendinginan Zona Perakaran (Root Zone Cooling) pada Produksi Benih Kentang Menggunakan Sistem Aeroponik. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 41(2): 154-159
- Sumarni, E., Suhardiyanto, H., Seminar, K. B., & Saptomo, S. K. 2013. Perpindahan Panas pada Aeroponik Chamber dengan Aplikasi Zone Cooling. *J. Biofisika*, 9(1): 8-19.
- Zulhanif. 2011. Perancangan, Simulasi CFD dan Eksperimen Pengering Semprot: Perbandingan antara Pemanas Lisrik dengan Pemanas Refrijerasi dan Dehumidifier. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.