

## Distribusi Suhu Udara di Permukaan Chamber Aeroponik dengan Aplikasi Fogging System Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Azhiimatun Qurrotu A'yuni<sup>1,\*</sup>, Eni Sumarni<sup>2</sup>, Ardiansyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian. Jurusan Teknologi Pertanian. Unsoed

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknologi Pertanian. Universitas Jenderal Soedirman

\*Korespondensi, Email: [arny0565@gmail.com](mailto:arny0565@gmail.com)

### ABSTRAK

Aplikasi *fogging system* menjadi salah satu cara dalam menurunkan suhu *greenhouse* akibat pengaruh efek rumah kaca/*greenhouse*. Namun, dalam distribusinya *droplet* pengkabutan seringkali tidaklah merata. Beberapa kendala tersebut seperti bentuk *nozzle*, ukuran *nozzle*, ketinggian *nozzle*, jarak *nozzle*, jumlah *nozzle* yang dapat mempengaruhi iklim mikro yang tercipta di dalam *greenhouse*. Biaya yang besar diperlukan untuk memastikan iklim mikro seperti suhu udara di dalam *greenhouse* karena harus membangun objek yang sesungguhnya dan alat ukur yang memadai. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memprediksi distribusi suhu di dalam *greenhouse* menggunakan simulasi CFDSOF. Efektivitas *fogging system* ini sangat diperlukan untuk menjaga pertumbuhan dan perkembangan tanaman khususnya pada kondisi suhu udara yang tinggi di dalam *greenhouse*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui distribusi suhu udara di sekitar bagian atas tanaman. Penelitian dilaksanakan di *Experimental Farm*, Fakultas Pertanian dari bulan Januari sampai Maret 2019. Variabel yang diamati adalah distribusi suhu pada *greenhouse* tipe *arch* pada aplikasi *fogging system*. Analisis data menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD), dalam penelitian ini digunakan CFDSOF. Prediksi menggunakan CFDSOF melalui tahap pembuatan geometri, *meshing*, *initial condition*, *boundary condition*, dan *simulation model*. Simulasi CFDSOF dilakukan selama 15 menit untuk mengetahui distribusi suhu selama *fogging system* diaplikasikan (dinyalakan).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa CFDSOF mampu memvisualisasikan distribusi suhu dengan aplikasi *fogging system*. *Fogging system* dengan penggunaan suhu air keluaran dari ember penampung sebesar 28°C kurang memberikan efek dingin (penurunan suhu udara) pada saat udara di dalam *greenhouse* bersuhu tinggi (> 35 °C). Persentase rerata *error* yang dihasilkan dari hasil simulasi CFD dan pengukuran yaitu 10.5%. Nilai *error* dapat diturunkan dengan perbaikan asumsi, perbaikan geometri dan input simulasi CFD.

Kata kunci: Greenhouse, hidroponik, fogging system, CFD, CFDSOF

## *Air Temperature Distribution on Aeroponic Chamber Surfaces with Fogging System Applications Using Computational Fluid Dynamics (CFD)*

### ABSTRAK

*The application of fogging system is one way to reduce the temperature of the greenhouse due to the effect of the greenhouse effect. However, in the distribution of fogging droplets are often not evenly distributed. Some of these obstacles such as the shape of the nozzle, the size of the nozzle, the height of the nozzle, the distance of the nozzle, the number of nozzles that can affect the microclimate created in the greenhouse. High costs are needed to ensure the microclimate such as the temperature in the greenhouse because they have to build real objects and adequate measuring devices. Therefore, efforts are needed to predict the temperature*

*distribution in the greenhouse using CFDSOF simulations. The effectiveness of this fogging system is indispensable for maintaining plant growth and development, especially in conditions of high air temperatures in the greenhouse. The purpose of this study is to determine the distribution of air temperature around the top of the plant. The study was conducted at the Experimental Farm, Faculty of Agriculture, from January to March 2019. The observed variable was the temperature distribution in the arch type greenhouse in the fogging system application. Data analysis using Computational Fluid Dynamic (CFD), in this study CFDSOF was used. Prediction using CFDSOF through the stages of making geometry, meshing, initial conditions, boundary conditions, and simulation models. CFDSOF simulations are carried out for 15 minutes to determine the temperature distribution during the fogging system is applied (turned on).*

*The results showed that CFDSOF was able to visualize the temperature distribution with the application of fogging systems. Fogging system with the use of the output water temperature of the container bucket of 28 ° C does not provide the effect of cold (decrease in air temperature) when the air in the greenhouse is high temperature (> 35 ° C). The average percentage error resulting from CFD simulation results and measurements is 9-11%. Error values can be reduced by improving the assumptions and input of CFD simulations.*

*Keywords: Greenhouse, hydroponics, fogging system, CFD, CFDSOF*

## PENDAHULUAN

Iklim mikro di dalam *greenhouse*/rumah tanaman merupakan faktor penting untuk dikendalikan agar sesuai bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tingginya radiasi matahari di daerah tropika basah seperti Indonesia mempengaruhi iklim yang terbentuk di dalam *greenhouse*. Upaya menurunkan suhu udara dengan rekayasa iklim telah dilakukan, seperti pendinginan terbatas zona perakaran pada penanaman secara aeroponik (Sumarni *et al.*, 2013ab). Untuk tanaman-tanaman yang memerlukan suhu udara rendah, perlu dilakukan upaya pengendalian baik suhu di atas permukaan tanaman ataupun di bawah permukaan tanaman. Namun bagaimana pengaruh penurunan suhu di dataran rendah dengan upaya mendinginkan daerah di atas permukaan tanaman belum banyak dikembangkan, terutama untuk komoditas tanaman yang berasal dari dataran tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan prediksi distribusi suhu udara di sekitar permukaan chamber aeroponik dalam rangka menyiapkan kondisi yang optimal sebelum penanaman menggunakan aplikasi *fogging system*.

Aplikasi *fogging system* merupakan sistem pengkabutan air melalui *nozzle* yang berfungsi untuk menjaga suhu sekaligus kelembaban udara dalam *greenhouse* yang hemat energi (Misra dan Ghost, 2017; Ahmed *et al.*, 2006; Arbel *et al.*, 1999; Hardanto dan Yuniarti, 2015). Distribusi suhu dalam *greenhouse* pada penggunaan *fogging system* perlu untuk diketahui agar merata disetiap bagian tanaman. Namun, hal ini dapat terkendala jika digunakan pada sistem penanaman aeroponik dengan lubang tanam yang banyak dan jumlah alat ukur yang ada terbatas. Oleh karena itu, perlu adanya analisis distribusi menggunakan pendekatan yang dapat menghemat biaya namun dapat merepresentasikan distribusi udara pada aplikasi *fogging system* dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Penggunaan CFD untuk mengetahui distribusi suhu udara di dalam rumah tanaman telah digunakan (Niam, 2011, Ciptaningtyas *et al.*, 2017, Fahmi *et al.*, 2014, Franco *et al.*, 2014). Analisis CFD dengan bantuan *software* CFDSOF mampu menghasilkan gambar kontur dan simulasi distribusi suhu udara dengan mudah dan hemat biaya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui distribusi suhu udara di sekitar bagian atas tanaman.

## METODE PENELITIAN

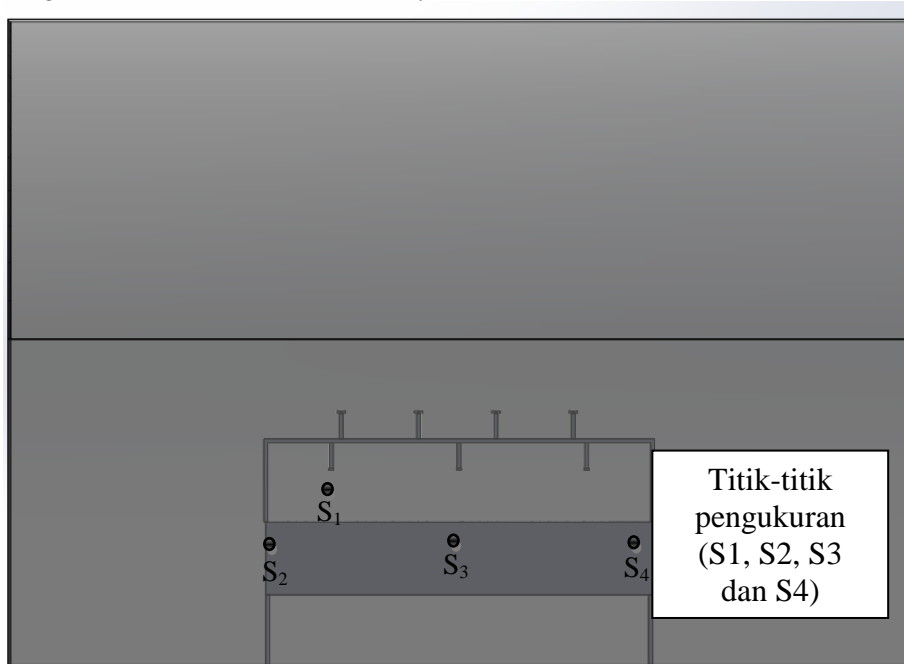
### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *greenhouse* tipe *Arch* dan *chamber* aeroponik yang terbuat dari besi dengan panjang 3 m dan lebar 1 m. *Stryrofoam* dengan ketebalan 2 cm sebagai penutup *chamber*. Pompa air digunakan untuk perangkat *fogging system* dan penggunaannya dikontrol dengan *timer*. Bak penampung air untuk *fogging system* disiapkan dengan kapasitas 70 liter. Perangkat *fogging system* dibuat dari beberapa pipa PVC yang disambungkan dengan *coolnet sprinkler light green* dengan tipe 4 *head nozzle*. Pipa yang terpasang antara lain pipa PVC ukuran 1 inci,  $\frac{3}{4}$  inci, dan  $\frac{1}{2}$  inci, serta diperlukan perangkat pipa sebagai penghubung seperti *valve socket*, *knee*, *tee*, *reducer socket*, *dop*, *stop kran*, dan *sock drat* luar. Alat ukur yang digunakan yaitu termometer *hygrometer* digital, EC meter, dan lux meter. Selain itu, diperlukan *software* CFDSOF untuk melakukan analisis simulasi fluida.

### Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dan analisis komputasi melalui simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Perangkat *fogging system* dipasang pada box aeroponik dengan ketinggian 60 cm. *Fogging system* akan menyala selama 15 menit dan mati selama 5 menit. *Fogging system* akan mulai bekerja ketika intensitas cahaya matahari mencapai nilai lebih besar dari 32280 lux. Hal ini karena Chang (1968) menyatakan bahwa intensitas cahaya mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan untuk nilai tertinggi pada tanaman dataran tinggi seperti kentang sebesar 32280 lux. Pengukuran di lapangan berupa suhu udara dan intensitas radiasi matahari dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

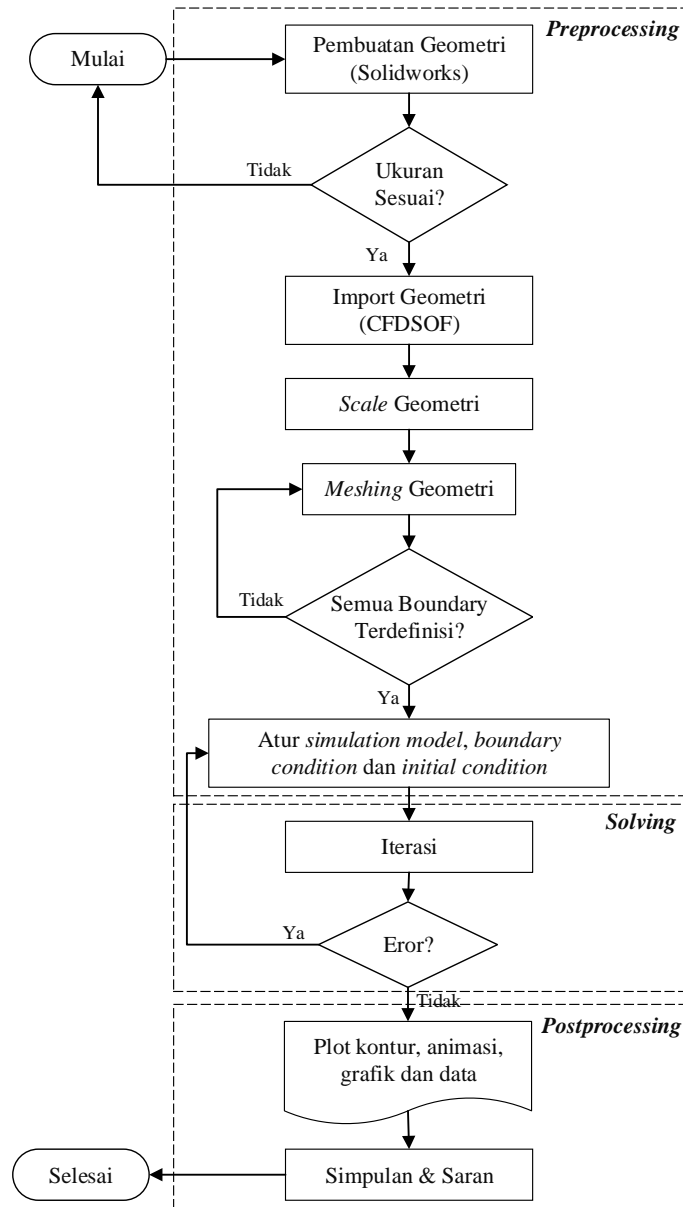
Data suhu udara harian di dalam *greenhouse* di record dari pukul 6 sampai pukul 18.00 WIB. Data untuk simulasi CFD diambil dengan peletakan alat suhu udara pada titik S1 sampai S4 (Gambar 1). Selain itu, pengukuran suhu air dilakukan ketika *fogging system* pertama kali menyala dengan nilai rata-rata suhu normalnya sebesar 28°C.



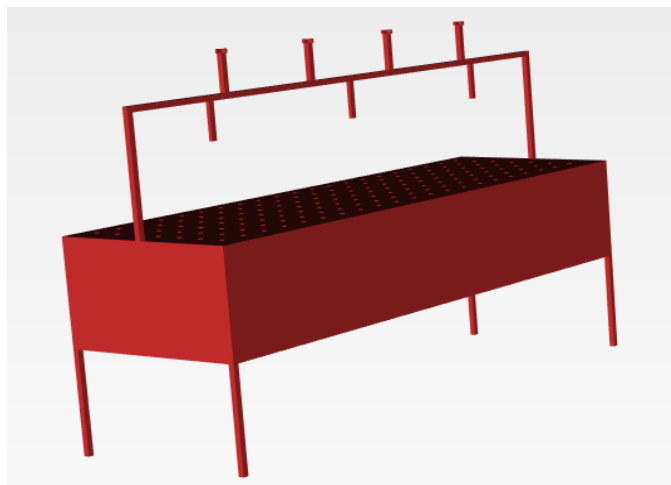
Gambar 1. Titik pengukuran data pada objek penelitian.

Analisis komputasi dilakukan dengan melihat fenomena yang terjadi dalam *greenhouse* tipe *arch* akibat aplikasi *fogging system* menggunakan CFD-SOF dengan alur seperti pada Gambar 2. Simulasi akan dilakukan selama 15 menit ketika *fogging system* mulai menyala. Asumsi penting yang digunakan dalam simulasi adalah fluida dianggap hanya 1 fasa yaitu udara pada tekanan atmosfer, dimana keluaran dari *fogging system* berupa udara dengan suhu rendah sesuai pada suhu air yang diukur untuk pengkabutan. Selain itu, lubang-lubang *nozzle* yang sangat kecil (diameter 0.1 mm) pada *coolnet* dimodelkan dengan geometri yang lebih sederhana seperti terlihat pada Gambar 3. Beberapa asumsi lain yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Solusi perhitungan bergantung pada waktu.
2. Domain analisis 3D dengan beberapa simplifikasi sebagai berikut:
  - a. Bak penampung air diabaikan.
  - b. Pipa yang menyalurkan air dari bak dipotong sehingga panjangnya sama dengan panjang box aeroponik.
  - c. Geometri detail dari *coolnet* diwakilkan dengan bentuk sederhana.
3. Densitas udara tidak berubah secara signifikan.
4. Memperhitungkan efek boyansi (gravitasi).
5. Aliran bersifat turbulen.
6. Mekanisme pendinginan berupa penyemprotan air dari lubang-lubang *nozzle* dimodelkan dengan peralatan-peralatan (*coolnet*, box aeroponik, dan pipa saluran air) yang diberi temperatur yang tetap dan sama dengan temperatur air.
7. Temperatur lingkungan luar konstan pada semua sisi *greenhouse*.
8. Temperatur lingkungan luar konstan terhadap waktu.
9. Tanaman tidak memberikan pengaruh terhadap distribusi suhu yang terjadi.



Gambar 2. Diagram alir simulasi CFDSOF.

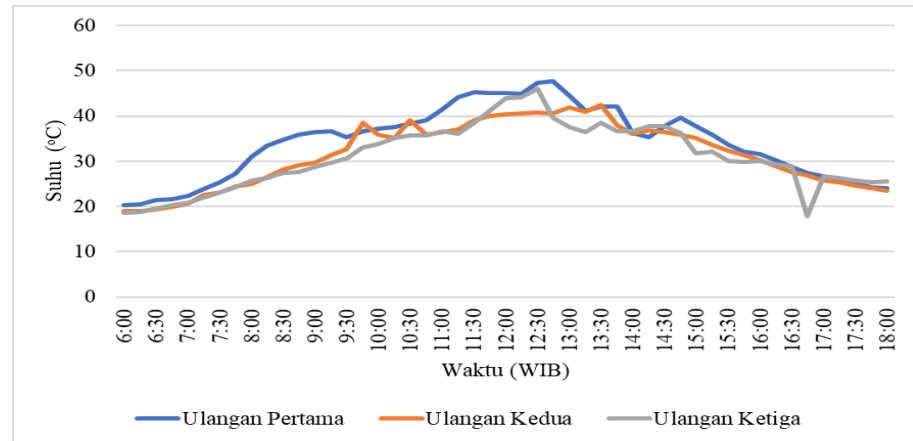


Gambar 3. Asumsi simplifikasi perangkat *fogging system* pada chamber aeroponik

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Distribusi Suhu *Greenhouse* Tipe Arch

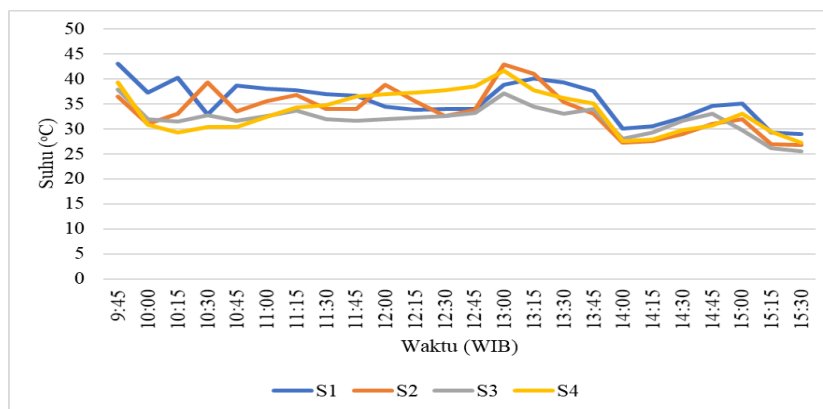
Suhu udara di dalam *greenhouse* tipe Arch dari 3 kali penukuran didapatkan bahwa, suhu udara pada saat matahari terik pukul 12.30 WIB rata-rata 44,7 °C. Tingginya suhu udara dipengaruhi oleh bentuk, material dan konstruksi *greenhouse* serta rendahnya sirkulasi udara di dalam *greenhouse*.



Gambar 4. Distribusi suhu di dalam *greenhouse* tanpa aplikasi *fogging system*

### Distribusi Suhu pada Aplikasi *Fogging System*

Distribusi suhu pada aplikasi *fogging system* disajikan pada Gambar 5. Dari hasil tersebut dapat disampaikan bahwa *fogging system* dapat menurunkan suhu udara dipermukaan *chamber* aeroponik 1-2° derajat pada saat kondisi matahari terik (pukul 12.30 sampai 14.00). Pada durasi waktu tersebut suhu udara tanpa *fogging system* mencapai lebih dari 35. Titik—titik pengukuran di sekitar *chamber* aeroponik menunjukkan bahwa titik yang berdekatan dengan area semprotan *fogging* menciptakan suhu yang lebih rendah (S3 dan S4) dibandingkan dengan yang jauh dari lokasi/arrah jatuhnya air atau kabut akibat aplikasi *fogging system* (S1 dan S2). Hasil tersebut juga dapat dipengaruhi oleh hembusan arah angin yang membawa kabut dr hasil *fogging system*.



Gambar 5. Distribusi suhu di permukaan *chamber* aeroponik pada aplikasi *fogging system*

### Simulasi dengan CFD SOF

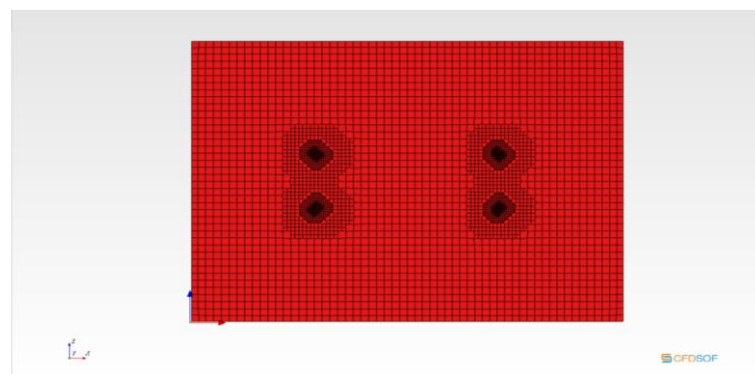
1. Pembuatan geometri dan *meshing*

Pembuatan geometri terdiri menjadi 2 bagian besar, yaitu geometri *greenhouse* tipe *arch* dan objek perangkat *fogging system* (box aeroponik dan *coolnet*). Geometri dibuat menggunakan *software SolidWorks 2014 x64 edition* yang kemudian di-*import* dengan format *.STL* untuk pembentukan *meshing* pada CFDSOF. *Import Geometry* yang tersimpan dalam format *.STL* disiapkan sebanyak 12 geometri. *Geometry preparation* dilakukan karena yang dibuat pada *software SolidWorks* ukurannya dalam satuan milimeter, sehingga perlu di-*scale* pada CFDSOF agar skala dalam satuan meter dengan *scale* 0.001. Selanjutnya, perlu dilakukan *Mesh Refinement* pada setiap geometri dengan menggunakan *Surface Refinement* dengan rincian seperti pada 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* yang digunakan

No	Part of <i>.STL</i>	<i>Surface Refinement</i>	
		Minimum Level	Maximum Level
1	BoxEvaporative. <i>STL</i>	3	3
2	Coolnet. <i>STL</i>	2	2
3	SensorValidasi1. <i>STL</i>	2	2
4	SensorValidasi2. <i>STL</i>	2	2
5	SensorValidasi3. <i>STL</i>	2	2
6	SensorValidasi4. <i>STL</i>	2	2
7	SensorValidasi5. <i>STL</i>	2	2
8	SensorValidasi6. <i>STL</i>	2	2
9	Greenhouse. <i>STL</i>	0	0
10	Ground. <i>STL</i>	0	0
11	Tiang. <i>STL</i>	3	3
12	LubangPenutup. <i>STL</i>	2	2

Langkah selanjutnya, melakukan *Base Mesh* sebagai penentuan penting daerah yang akan di-*meshing*. Simulasi yang akan dilakukan *meshing* daerah dalam *greenhouse* atau bisa disebut sebagai domain. *Base mesh* yang digunakan sehingga harus menempel dengan seluruh bagian permukaan objek yang dikenal dengan *autosize dimensions*. Ukuran *grid* yang digunakan sebagai penentuan banyaknya *mesh* yaitu ( $57 \times 41 \times 40$ ) seperti terlihat di Gambar 16. Lakukan *Generate Mesh* untuk menentukan daerah yang akan di-*meshing* yaitu aliran di dalam domain atau *internal flow*, namun diluar dari objek perangkat *fogging system*. Kemudian *Check Meshing* untuk mengetahui ketepatan *meshing* yang telah dilakukan.



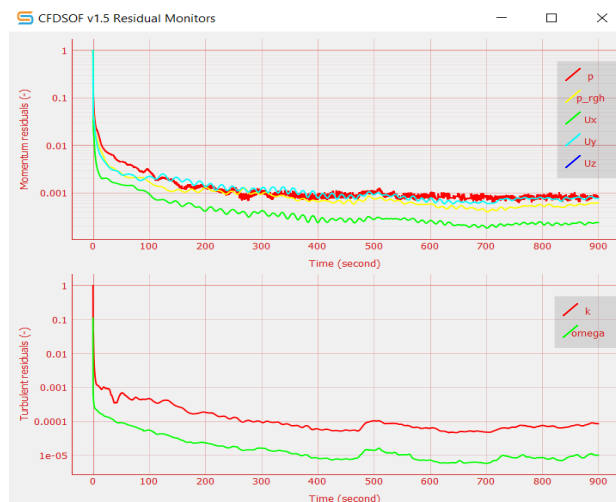
Gambar 6. Hasil grid domain (tampak bawah).

2. Pendefinisian bidang batas, permodelan simulasi dan proses iterasi

Penetapan nilai pada *boundary conditions* (kondisi batas) dan *initial conditions* (kondisi awal) sangat penting dilakukan dalam perhitungan. Kondisi batas terbagi dalam 2 definisi, yaitu daerah yang dikenai air (box aeroponik, *coolnet*, dan tiang) dan *greenhouse* itu sendiri. Perulangan yang dilakukan sebanyak 3 kali, memberi besaran suhu air normal yang sama yaitu 28 °C. Besaran suhu *greenhouse* dalam 3 kali perulangan yang diambil secara berturut-turut 40°C, 44°C, dan 41°C yang mana merupakan nilai rata-rata suhu *greenhouse* sebelum *fogging system* bekerja.

Permodelan simulasi merupakan pendefinisian model yang diinginkan dalam simulasi. Berdasarkan asumsi fluida dengan 1 fasa berjenis udara, simulasi yang digunakan berupa aliran transient (*unsteady-state*). Hal ini dimodelkan akibat aliran fluida memerlukan beberapa waktu untuk mencapai keadaan mendekati tunak. 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.

Selanjutnya, melakukan proses iterasi atau dikenal dengan proses perhitungan oleh komputer sebagai pengganti perhitungan manual. Perhitungan simulasi dilakukan selama 15 menit (900 detik) dengan *timestep* 0.1 detik dan data akan tersimpan setiap 10 detik sekali. Lama waktu simulasi 15 menit dilakukan saat *fogging system* mulai dinyalakan. Selama 15 menit simulasi berjalan nilai beberapa residual seperti terlihat pada Gambar 7, menunjukkan bahwa sudah tidak mengalami perubahan yang signifikan sehingga dapat dikatakan konvergen.



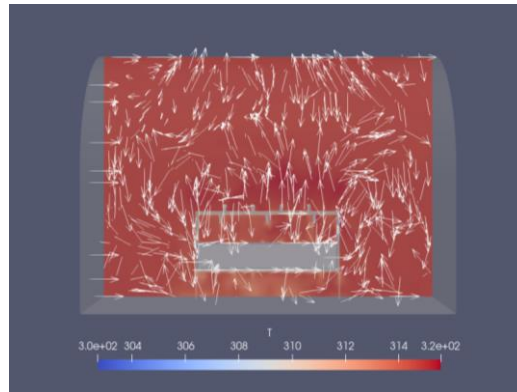
Gambar 7. Proses perhitungan pada CFDSOF.

### 3. Hasil simulasi CFDSOF

Hasil simulasi dapat disajikan dalam bentuk vektor dan kontur melalui *Paraview*. Penyajian hasil tampilan distribusi aliran suhu udara dalam bentuk vektor ditunjukkan dengan tanda panah, sedangkan kontur ditunjukkan dengan warna. Udara dengan suhu lebih rendah berada pada box aeroponik, *coolnet*, dan tiang, yang mana dalam hal ini menyebabkan aliran udara yang terjadi di sekitar areanya bergerak ditunjukkan dengan arah tanda panah seperti pada Gambar 8. Distribusi aliran suhu udara dalam *greenhouse* terlihat bahwa bergerak dari area suhu rendah ke arah suhu yang lebih tinggi. Penyajian dalam bentuk kontur terlihat dengan adanya perbedaan warna seperti pada Gambar 21, Gambar 22, dan Gambar 23. Suhu hasil simulasi dibawah ini menunjukkan kisaran 302 K – 316 K (29°C – 43°C), dimana warna biru dengan jangkauan suhu terendah dan merah menunjukkan jangkauan suhu tertinggi seperti pada Gambar 24.



Distribusi suhu udara pada *greenhouse* tipe *arch* ini terlihat belum berjalan dengan optimal. Pendinginan yang terjadi di area objek perangkat *fogging system* hanya mampu menurunkan suhu di sekitarnya saja. Terlihat pada distribusi warna yang ditunjukkan pada hasil simulasi. Warna merah yang merupakan jangkauan suhu tertinggi dalam simulasi sangat mendominasi hasilnya. Hal tersebut terjadi karena area *greenhouse* yang terlalu besar dibandingkan dengan perangkat *fogging system*. Namun, dalam hal ini daerah yang digunakan untuk penanaman hanya pada area box aeroponik dan terlihat jika terjadi penurunan suhu.



Gambar 8. Hasil vektor suhu udara (tampak sisi).

#### 4. Validasi hasil simulasi CFD

Validasi hasil simulasi CFD dilakukan untuk mengetahui keakuratan model simulasi yang dijalankan pada CFDSOF. Validasi suhu udara dilakukan pada 4 titik sensor di area perangkat *fogging system* yang mana merupakan daerah yang terkena langsung modifikasi iklim. Titik-titik sensor tersebut yaitu sensor bagian atas ( $S_1$ ) dan sensor bagian bawah ( $S_2$ ,  $S_3$ , dan  $S_4$ ). Hasil persentase validasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Validasi hasil simulasi CFD

	Sensor	$T_{ukur}$ (°C)	$T_{simulasi}$ (°C)	Error (%)
Ulangan Pertama (10.00 WIB)	S1	37.2	37.988	2.118
	S2	31	33.739	8.835
	S3	32	38.316	19.737
	S4	30.9	33.639	8.864
				Rerata Error (%)
Ulangan Kedua (10.15 WIB)	S1	41.4	41.365	0.085
	S2	34.6	35.549	2.743
	S3	31.5	41.113	30.517
	S4	31.8	35.41	11.352
				Rerata Error (%)
Ulangan Ketiga (10.00 WIB)	S1	39.2	39.692	1.255
	S2	43.9	34.653	21.064
	S3	36.5	40.011	9.619
	S4	38.2	34.527	9.615
				Rerata Error (%)
			Total Rerata Error (%)	10.484

Keterangan:

$T_{ukur}$  = Suhu pengukuran (°C)

$T_{simulasi}$  = Suhu Simulasi (°C)

*Error* terkecil dari tiga kali perulangan ada pada ulangan pertama dimana *fogging system* menyala pada pukul 09.45 WIB. Selama 15 menit menyala, tepat di pukul 10.00 WIB didapatkan *error* sebesar 9.9%. Sedangkan, *error* terbesar pada ulangan kedua dengan nilai 11.2% yang menyala pada pukul 10.00 WIB. *Error* suhu rata-rata prediksi menggunakan CFDSOF terhadap pengukuran sebesar 10.5%. Nilai *error* ini dapat terjadi akibat asumsi yang belum mendekati dengan kenyataan di lapangan dan pendefinisian ukuran lubang colnett.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan CFDSOF, diperoleh pola distribusi suhu udara di sekitar *chamber* bagian atas tanaman dengan aplikasi *fogging system*. Kinerja *fogging system* cukup mampu menurunkan suhu dalam *greenhouse* yang dapat dilihat dari penurunan pada semua titik sensor setelah 15 menit. Namun, distribusi penurunan suhu masih belum merata dengan ketidakseragaman suhu udara pada beberapa titik di sekitar *chamber* aeroponik. Penurunan suhu yang signifikan terjadi di daerah bagian atas *chamber* aeroponik. Hasil dari visualisasi vektor dan kontur simulasi CFDSOF dan nilai *error* diperoleh nilai *error* rata-rata 10.5 %. Perlu dilakukan prediksi selanjutnya dengan penyempurnaan asumsi dan geometri untuk mendapatkan prediksi yang lebih akurat sehingga diperoleh *error* yang lebih kecil.

## **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**

- Abdel-Ghany, A. M., & Kozai, T. 2006. Dynamic Modeling of The Environment in A Naturally Ventilated, Fog-Cooled Greenhouse. *Renewable Energy*, 31(10): 1521-1539.
- Abrar, A. 2014. Analisis Termal Daerah Perakaran pada Media Tanam Sistem Hidroponik untuk Tanaman Selada di Dataran Rendah Tropika. *Skripsi*. IPB Bogor.
- Arbel, A., Yekutieli, O., & Barak, M. 1999. Performance of A Fog System For Cooling Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(2):129-136.
- Ciptaningtyas, D., Iqbal, Z., & Suhardiyanto, H. 2017. Penentuan Waktu Penggunaan *Water Chiller* pada Tanaman Kentang Berdasarkan Sebaran Suhu Daerah Perakaran. *Jurnal Teknotan*, 11(1): 87-99.
- Fahmi, M. N., Yohana, E., & Sugiyanto, S. 2014. Simulasi Distribusi Suhu dan Kelembapan Relatif pada Rumah Tanaman (Green House) dengan Sistem Humidifikasi. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1): 41-48.
- Franco, A., Valera, D. L., & Peña, A. 2014. Energy Efficiency in Greenhouse Evaporative Cooling Techniques: Cooling Boxes Versus Cellulose Pads. *Energies*, 7(3): 1427-1447.
- Hardanto, C., & Yuniyanto, B. 2015. Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(3): 239-244.

- Mirja, A. S., Misra, D., & Ghosh, S. 2016. Study The Performance of A Fogging System for a Naturally Ventilated, Fog-cooled Greenhouse. *Journal of Energy Research and Environmental Technology*, 3(1): 19-23.
- Misra, D., & Ghosh, S. 2017. Microclimatic Modeling and Analysis of A Fog-Cooled Naturally Ventilated Greenhouse. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2): 997-1002
- Niam, A. G. 2011. Simulasi Distribusi Suhu dan Pola Pergerakan Udara pada Rumah Tanaman Tipe Standard Peak Berventilasi Mekanis Menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics). *Tesis*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- 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.