

SIMULASI DISTRIBUSI SUHU DAN KELEMBAPAN RELATIF PADA RUMAH TANAMAN (*GREEN HOUSE*) DENGAN SISTEM HUMIDIFIKASI

*Mahmudyan Nuriil Fahmi¹, Eflita Yohana², Sugiyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: mahmud_nuriil@yahoo.com

Abstrak

Ada berbagai jenis rumah tanaman yang digunakan untuk daerah tropik. Simulasi dilakukan untuk menentukan distribusi suhu udara dan pola pergerakan udara di dalam rumah kaca. Penelitian ini bertujuan untuk membuat tanaman desain rumah yang bisa melakukan kontrol suhu dan kelembaban relatif secara otomatis sesuai dengan kebutuhan tanaman. Model Greenhouse ($L = 3 \text{ m}$, $W = 2 \text{ m}$, $H = 2.3 \text{ m}$) diatur menggunakan ventilasi paksa. Kontrol iklim mikro yang akan dipasang adalah bentuk pengaturan suhu dan kelembaban. Dalam simulasi ini digunakan kipas sirkulasi dan kipas exhaust untuk memberikan distribusi suhu dan kelembaban yang merata. Pengaturan kelembaban dilakukan dengan menggunakan nozzle sprayer, yaitu tetesan air mikro dengan penyemprotan bertekanan tinggi melalui nozzle, yang diharapkan dapat meningkatkan kelembaban di rumah tanaman. Pengukuran Suhu dan kelembaban yang dilakukan pada November 2013 menjadi objek validasi. Hal ini dilakukan dengan memindahkan sensor di beberapa titik di rumah tanaman. Simulasi dilakukan dengan software *CFD Solidworks Flow Simulation*. Hasil simulasi menunjukkan rumah kaca yang dibuat dalam percobaan telah mampu memberikan kontrol dengan distribusi suhu dan kelembaban merata. Penggunaan kontrol suhu-kelembaban dan ventilasi di rumah kaca mampu memberikan penurunan suhu yang signifikan dan peningkatan RH. Selain itu, rata-rata penurunan suhu sebesar $7-9^{\circ}$ Celsius.

Kata kunci: *CFD*, kontrol suhu dan kelembaban, rumah tanaman

Abstract

*There are various types of greenhouse used for the tropic area. Simulations were performed to determine the distribution of air temperature and air movement patterns in the greenhouse. This study aims to create a home design plants that could perform the control temperature and relative humidity automatically according to the needs of plant. Greenhouse Model ($L = 3 \text{ m}$, $W = 2 \text{ m}$, $H = 2.3 \text{ m}$) were studied using forced ventilation. Microclimate control which will be installed is the form of temperature and humidity settings. It used a circulation fan and an exhaust fan to provide the distribution of temperature and moisture evenly. Humidity setting is done by using a water sprayer nozzle, ie micro droplets by spraying a high pressured through a nozzle, which is expected to increase a humidity in the greenhouse. Temperature and humidity measurements conducted in November 2013 as a validation object. It is done by moving the sensors at some point in the greenhouse. Simulation were performed by *CFD software Solidworks Flow Simulation*. The simulation results show the greenhouse which made in the experiments have been able to give contour to the distribution of temperature and moisture evenly. The use of temperature-humidity control and ventilation in the greenhouse was able to provide a significant temperature losses and RH addition, amounting to an average of minus $7-9$ degrees of Celsius.*

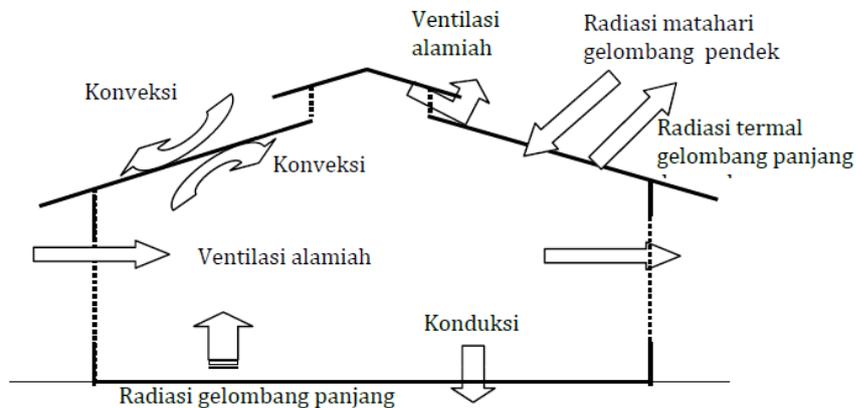
Keywords: *CFD, greenhouse, temperature and relative humidity control*

1. PENDAHULUAN

Pada penelitian ini simulasi numerik digunakan untuk mengetahui distribusi aliran khususnya distribusi suhu dan kelembaban yang sulit dilihat langsung melalui eksperimen tanpa menggunakan alat-alat yang canggih seperti kamera *thermal*. Informasi yang diperoleh dari simulasi numerik tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kinerja dari alat kontrol suhu dan kelembaban yang sudah terinstal pada rumah tanaman model simulasi. Untuk itulah, metode numerik merupakan salah satu solusi alternatif dalam analisis dinamika aliran (*Computational Fluid Dynamic, CFD*) pada proses aliran fluida pada rumah tanaman model simulasi. Metode numerik dapat memprediksi sesuatu dengan lebih cepat dan mudah serta biaya yang relatif lebih kecil dari eksperimental. Di samping itu metode numerik juga dapat mengatasi kendala geometri yang rumit dan syarat-syarat batas yang merupakan penghambat metode analitis.

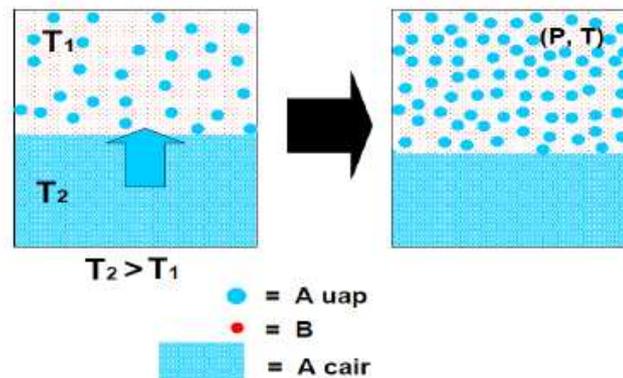
Suhu udara dan kelembaban relatif (RH) adalah dua parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman [1]. Dua paramater ini dapat mewakili kondisi iklim mikro Rumah Tanaman karena pengaruhnya yang besar

terhadap pertumbuhan tanaman. Suhu udara berpengaruh langsung terhadap proses fisiologi tanaman seperti fotosintesis, respirasi, pengambilan ion, transpirasi, pembentukan pigmen, reproduksi, dan masih banyak lagi [2]. Sementara itu, RH secara langsung mempengaruhi hubungan tanaman dengan air dan secara tidak langsung mempengaruhi pertumbuhan daun, fotosintesis, penyerbukan, dan terjadinya penyakit. RH yang tinggi mengurangi evapotranspirasi, meningkatkan beban panas tanaman, menyebabkan penutupan stomata, mengurangi penyerapan CO₂, mengurangi transpirasi, dan mempengaruhi translokasi bahan makanan dan nutrisi.



Gambar 1. Proses perpindahan panas pada empat subsistem Rumah Tanaman [3]

Humidifikasi adalah proses peningkatan jumlah kadar air dalam aliran gas dengan melewati aliran gas di atas cairan yang kemudian akan menguap ke dalam gas. Dalam proses ini gas dikontakkan dengan air yang berada di dalam labu secara *counter current* dimana air mengalir dari atas dan gas mengalir ke atas dari bawah, dengan laju alir sirkulasi air tertentu.



Gambar 2. Skema proses humidifikasi

2. METODOLOGI PENELITIAN

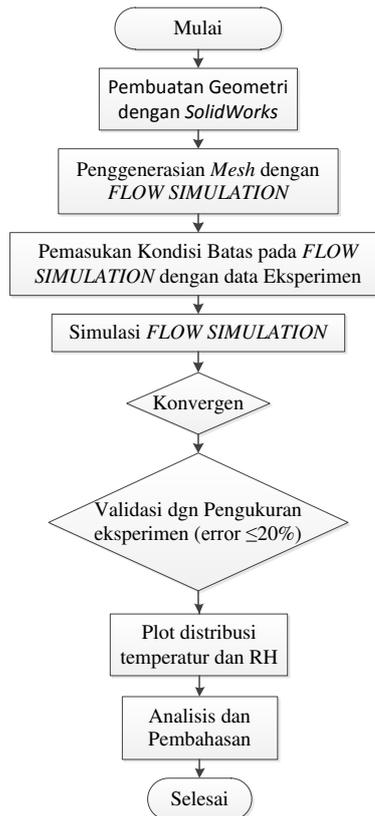
2.1. Deskripsi Masalah

Model yang ingin dikaji dalam masalah ini adalah *Rumah tanaman dengan dan tanpa Kontrol suhu dan kelembapan*. Fokus penelitian ini adalah melihat fenomena yang terjadi dalam rumah tanaman, mengetahui pengaruh alat kontrol suhu dan kelembapan terhadap distribusi suhu dan kelembapan relatif di dalamnya. Dalam simulasi tidak melibatkan reaksi kimia yang terjadi. Fluida masuk merupakan udara lingkungan. Adapun variasi dalam simulasi ini adalah waktu, pemasangan kontrol suhu dan kelembapan, serta atap rumah tanaman.

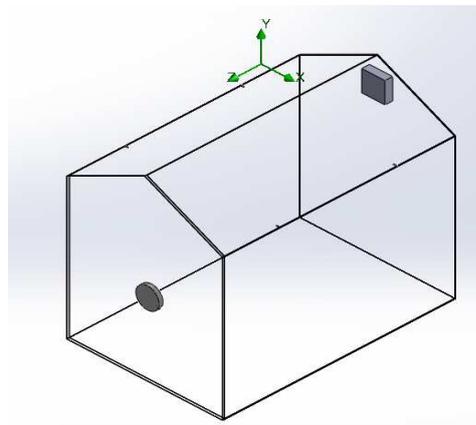
Asumsi yang diterapkan dalam simulasi ini yaitu:

- Aliran 3D *steady*
- Aliran turbulente dan fluida dianggap *incompressible* ($Ma < 0.3$)
- Rumah tanaman menggunakan material *High Density Polyethylene* (HDPE).

Model geometri dari rumah tanaman secara geometris diperlihatkan pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 3. Flowchart penelitian



Gambar 4. Model Rumah Tanaman

Adapun domain komputasi yang dibuat untuk simulasi yaitu berupa control volume yang terdiri dari seluruh bagian rumah tanaman.

Ada 3 kasus yang akan menjadi objek dari simulasi ini. Ketiga kasus tersebut memiliki kondisi batas yang sama, yang diukur pada pukul 13.00 tanggal 18 September 2013. Kemudian dari kondisi batas tersebut, akan disimulasikan dengan 3 variasi. Validasi kasus 1 akan dilakukan sesuai tanggal 18 September. Kasus 2 akan divalidasi dengan pengukuran tanggal 19 November 2013. Dan kasus 3 akan divalidasi dengan pengukuran tanggal 21 November 2013. Jam 13.00 dipilih karena pada waktu itu suhu lingkungan dan terik matahari mencapai puncaknya (BMKG).

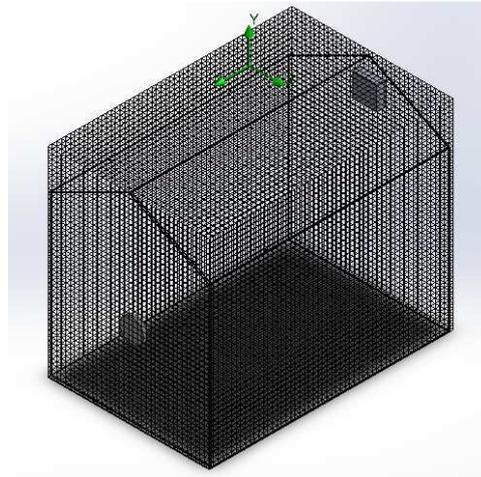
Tabel1. Input Kondisi awal dan kondisi batas

Input	Kasus		
	1	2	3
Kondisi Awal (Tanpa perlakuan)			
- Suhu Ruang	46 °C	46 °C	46 °C
- RH Ruang	60%	60%	60%
- Letak Geografis	60%	60%	60%

- Waktu	7° 3' 00" LS 13.00 WIB	7° 3' 00" LS 13.00 WIB	7° 3' 00" LS 13.00 WIB
Kondisi Batas			
- Fan	Off	On	On
- Sprayer	Off	On	On
Bahan Solid	HDPE	HDPE	HDPE
Variasi Atap	-	-	Ditutup daun

2.2. Penggenerasian Mesh

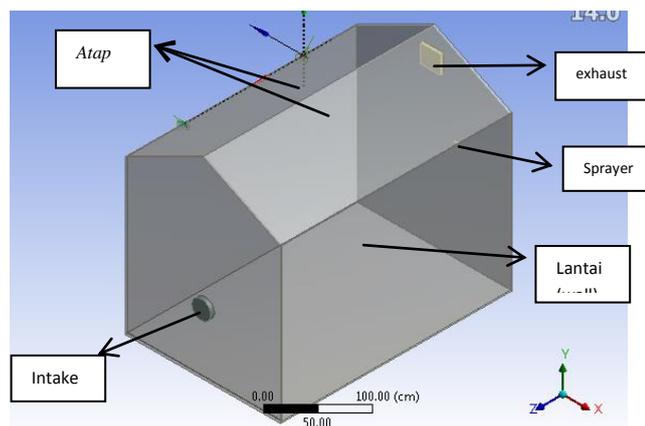
Penggenerasian *mesh* dilakukan pada menu meshing *Solid Work* dimana pembuatan geometri domain komputasi dilakukan terlebih dahulu di desain modeler. *Meshing* dilakukan dengan metode *volume sizing*.



Gambar 5. Penggenerasian mesh

Kondisi batas dimasukkan dengan memilih *face* pada geometri lalu menginput *name selection* dengan nama yang diinginkan.

Rumah tanaman ini merupakan kasus aliran internal. Adapun untuk Pendefinisian secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Kondisi batas yang diterapkan pada domain komputasi.

a. *Intake Fan*

Fan pada model simulasi ini menggunakan fan dengan kecepatan 2,17 m/s, sesuai dengan model aslinya.

b. *Exhaust fan*

Fan ini di set sebagai *outlet volume flow* dengan kapasitas 123 CFM. Bagian terluar diset sebagai *environment pressure*.

c. *Sprayer*

Sprayer dalam eksperimen menggunakan nozzle yang mengeluarkan uap air. Tetapi dalam simulasi, droplet dari nozzle diabaikan karena pendefinisian yang sangat kompleks dan mempunyai tingkat kesulitan yang sangat tinggi dalam memodelkannya. Sprayer mempunyai kapasitas 0.035 m³/s (sesuai datasheet produk)

d. Atap (*Wall*)

Atap pada rumah tanaman ini mengalami perpindahan panas secara konveksi, dimana besaran konveksinya dirumuskan :

$$Hi = 3.56 (Ac/As)$$

dimana Ac adalah luas permukaan atap rumah tanaman (m²), dan As adalah luas permukaan lantai rumah tanaman (m²).

e. Lantai (*Wall*)

lantai pada rumah tanaman juga mengalami perpindahan panas secara konveksi, dimana besaran konveksinya dirumuskan :

$$hf = \frac{1.3(Tin-Tf)^{0.25}}{l^{0.25}}$$

dimana Tin adalah suhu udara di dalam rumah tanaman (°C), Tf adalah suhu permukaan lantai rumah tanaman (°C), dan l adalah panjang karakteristik rumah tanaman dalam hal ini lebar rumah tanaman (3 m).

Tabel 2. Input *boundary condition*

Input	Boundary Condition	Kasus		
		1	2	3
Intake Fan	Inlet Volume flow	-	0.06 m ³ /s V= 2,17 m/s	0.06 m ³ /s V= 2,17 m/s
Exhaust fan	Outlet Volume flow	-	123 cfm	123 cfm
Sprayer	Inlet Volume flow	-	0.035 m ³ /s	0.035 m ³ /s
Atap	Wall	Absorbent wall $hi = 3,92 \text{ W/m}^2\text{-k}$	Absorbent wall $hi = 3,92 \text{ W/m}^2\text{-k}$	Non Radiation Surface
Lantai	Wall	$hf = 1,8 \text{ W/m}^2\text{-k}$	$hf = 1,8 \text{ W/m}^2\text{-k}$	$hf = 1,8 \text{ W/m}^2\text{-k}$

2.3. Simulasi SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Simulasi pada Solid Work dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Permodelan Geometri.
- *File* yang diimport merupakan domain komputasi aliran yang ingin ditinjau dan diteliti.
- Melakukan pengecekan *grid*.
- Menentukan formulasi solver dan model fisik permasalahan (misalnya jenis aliran laminar/turbulen, inviskos, *steady* dan melibatkan perpindahan panas atau tidak).
- Menentukan jenis dan sifat material.
- Menentukan kondisi batas model yang dibuat.
- Menentukan parameter kendali solusi (*solution control*)
- Melakukan proses perhitungan (iterasi)
- Melakukan *postprocessing* dengan menampilkan Gambar kontur.

2.4. Penentuan Solusi

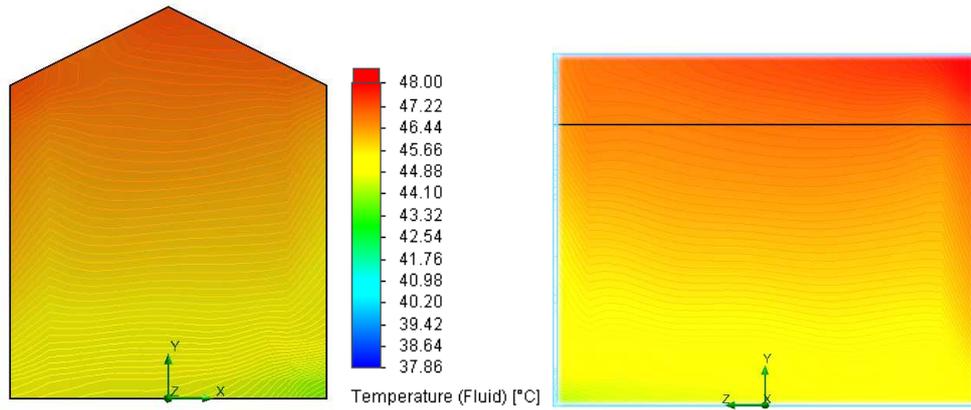
Persamaan-persamaan konservasi diselesaikan dengan metode iterasi SIMPLER (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Revised*). Proses perhitungan dimulai dengan memecahkan variabel kecepatan fluida dan tekanan. Proses perhitungan ini diperlihatkan kepada *user* berupa grafik yang menunjukkan konvergensi *residual variation*. Jika proses perhitungan menghasilkan *residual* yang menurun dari satu iterasi ke iterasi berikutnya, maka dikatakan bahwa tebakan nilai terhadap variabel-variabel cukup baik dan solusi akan diperoleh. Proses iterasi akan berhenti saat kondisi konvergen tercapai. Untuk analisis termal kondisi tunak, *Solidworks*® secara otomatis mengatur *time step* sama dengan 1. Karena simulasi dilakukan pada *steady flow* dimana udara tidak terkompresi, maka nilai massa jenis konstan selama iterasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

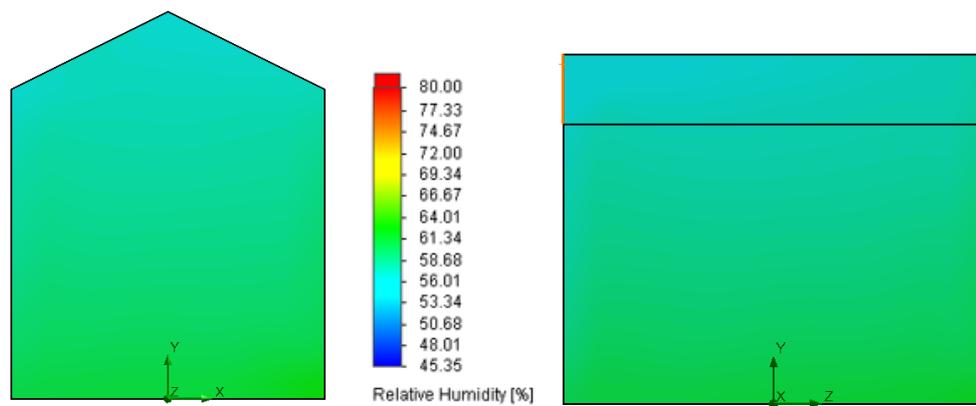
Bab ini berisi gambar kontur distribusi temperatur, kelembapan relatif (RH) dan profil kecepatan akibat pengaruh ventilasi paksa pada macam-macam variasi.

3.1. Analisa Hasil Simulasi Kasus 1

Kasus 1 adalah kasus pada tanggal 18 September 2013 dimana rumah tanaman disimulasikan tanpa menggunakan fan dan sprayer. Tujuannya adalah untuk mengetahui kondisi termal awal dari rumah tanaman tanpa diberi ventilasi dan humidifikasi.



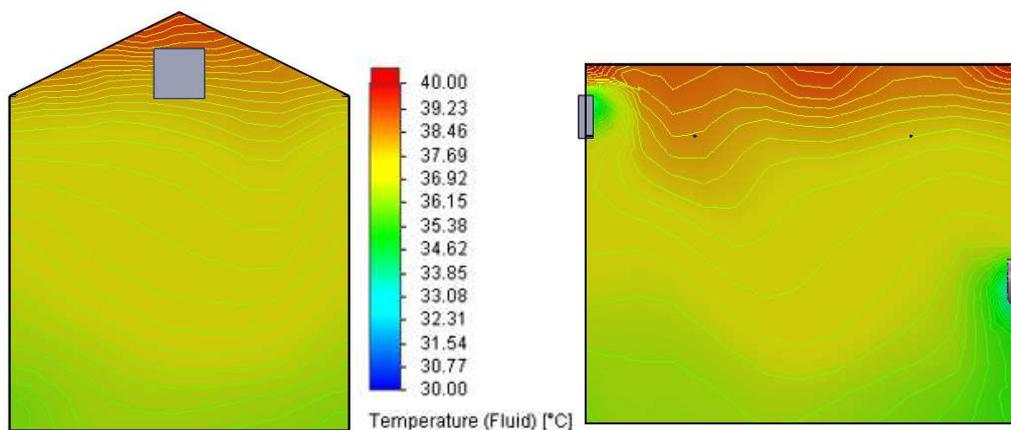
Gambar 7. Kontur suhu pada Kasus 1



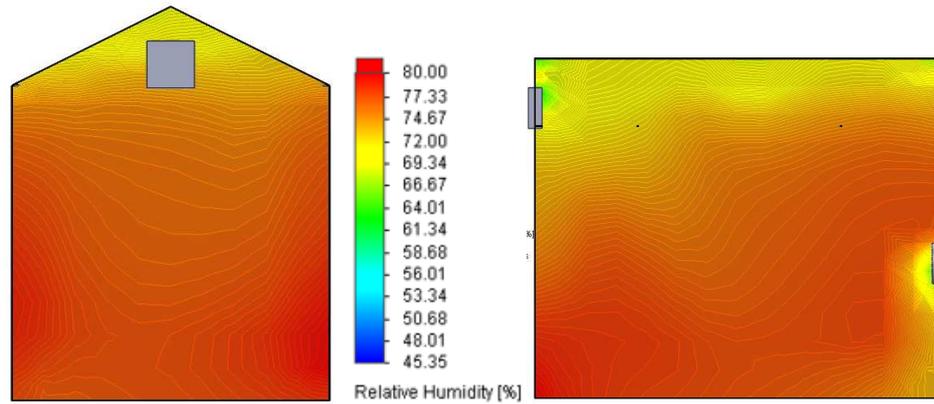
Gambar 8. Kontur RH pada Kasus 1

Dari kontur suhu dan RH di atas, dapat dilihat bahwa radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap aliran termal di dalam rumah tanaman. Bagian atas (bawah atap) merupakan bagian yang memiliki suhu paling tinggi dan kelembapan yang paling rendah di dalam rumah tanaman. Suhu rata-rata mencapai 45° C.

3.2. Analisa Hasil Simulasi Kasus 2



Gambar 9. Kontur suhu pada *centre plane* (Atas: Tampak samping, bawah: tampak depan)

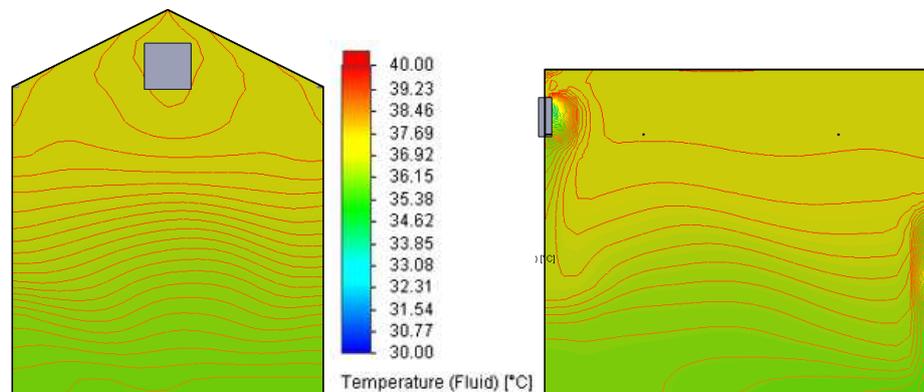


Gambar 10. Kontur RH pada *centre plane* (Atas: Tampak samping, bawah: tampak depan)

Simulasi CFD Pada kasus 2 dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu udara dan RH di dalam rumah tanaman yang menggunakan fan dan sprayer untuk menurunkan suhu dan menaikkan kelembapan. Model ini tidak menggunakan penutup atap, sehingga radiasi matahari akan dengan mudah masuk ke rumah tanaman. Gradien suhu menunjukkan sifat yang bergelombang, dimana suhu di dekat atap masih menjadi titik puncak panas. Gradien yang bergelombang bisa jadi karena kapasitas dan pemasangan fan yang masih kurang optimal.

Nilai RH di dalam rumah tanaman menunjukkan gradien yang bergelombang juga, namun nilainya lebih merata. Nilai suhu juga menunjukkan nilai yang lebih seragam dibandingkan dengan kasus 1. Suhu berada di kisaran 35-39°C, lebih rendah dari pada suhu di kasus 1. Begitu juga dengan nilai RH yang mengalami kenaikan dibanding dengan kasus 1, yaitu pada range 70-80%. Kasus 2 menunjukkan bahwa pemasangan alat kontrol suhu dan kelembapan mampu memberikan perubahan yang signifikan di dalam rumah tanaman, yaitu penurunan suhu dan peningkatan RH.

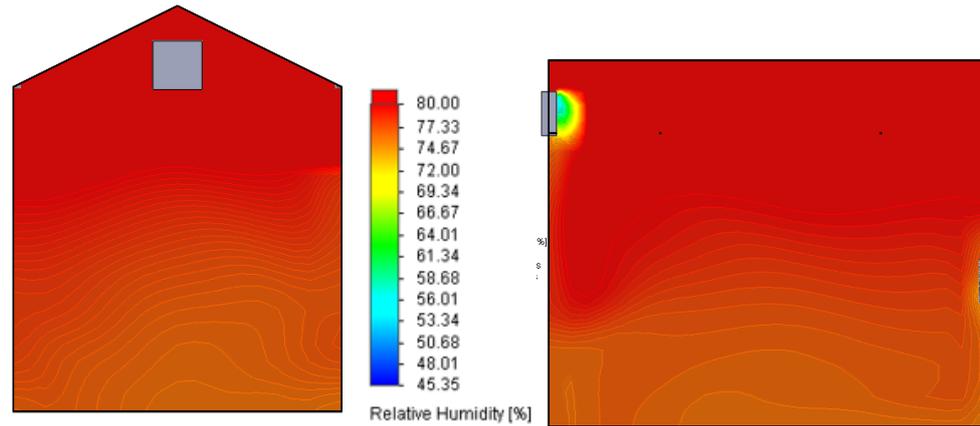
3.3. Analisa Hasil Simulasi Kasus 3



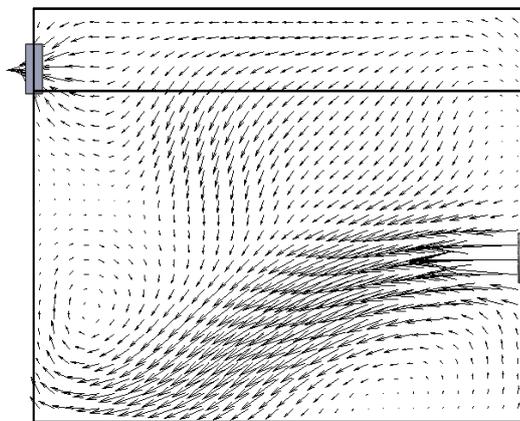
Gambar 11. Kontur suhu pada *centre plane* (Atas: Tampak samping, bawah: tampak depan)

Sama seperti kasus 2, simulasi CFD Pada kasus 3 dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu udara dan RH di dalam rumah tanaman yang menggunakan fan dan sprayer untuk menurunkan suhu dan menaikkan kelembapan. Model ini menggunakan penutup atap yang terbuat dari daun, sehingga permukaan atap terluar akan didefinisikan sebagai *non radiation surface*, yang dapat meminimalkan radiasi matahari yang masuk ke rumah tanaman. Gradien suhu menunjukkan sifat yang lebih linier dibanding kasus 2. Suhu dekat atap juga terlihat mengalami penurunan karena pengaruh dari penutup atap tersebut.

Nilai RH di dalam kasus ini mengalami peningkatan dibanding dengan kasus 2, hal tersebut terjadi karena akibat dari suhu ruangan yang lebih rendah karena radiasi matahari yang masuk lebih sedikit. Suhu berada di kisaran 35-37°C, lebih rendah dari pada suhu di kasus 1 dan 2. Begitu juga dengan nilai RH yang mengalami kenaikan dibanding dengan kasus 1 dan 2, yaitu pada range 77-85%. Kasus 3 menunjukkan bahwa penambahan penutup atap mampu mereduksi suhu dalam rumah tanaman dengan mencegah radiasi matahari yang akan masuk.



Gambar 12. Kontur RH pada *centre plane* (Atas: Tampak samping, bawah: tampak depan)



Gambar 13. Velocity vector pada *center plane* tampak samping

Profil kecepatan pada gambar 13, memperlihatkan bahwa terjadi ketidakteraturan pertukaran udara yang terjadi di dalam rumah tanaman. Kecepatan rata-ratanya mencapai 0,6 m/s atau masih dalam kondisi aman untuk suatu tanaman.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi ini didapat kesimpulan :

- 1) Terjadi penurunan suhu sebagai berikut :
 - Dari kasus 1 ke kasus 2, suhu mengalami penurunan $\pm 10^{\circ}$ C. Kasus 1 yaitu kasus dimana rumah tanaman berada dalam kondisi terisolasi penuh tanpa pengaruh dari alat kontrol suhu dan kelembaban. Sedangkan kasus 2 adalah kasus dimana rumah tanaman mendapatkan perlakuan humidifikasi dari alat kontrol suhu dan kelembaban.
 - Dari kasus 2 ke kasus 3, suhu mengalami penurunan $\pm 2^{\circ}$ C. Kasus 3 adalah kasus dimana rumah tanaman mendapatkan perlakuan humidifikasi dari alat kontrol suhu dan kelembaban ditambah dengan peneduh pada atap yang terbuat dari daun.
- 2) Terjadi peningkatan RH sebagai berikut :
 - Dari kasus 1 ke kasus 2, RH mengalami peningkatan $\pm 11\%$.
 - Dari kasus 2 ke kasus 3, RH mengalami peningkatan $\pm 5\%$.

5. REFERENSI

- [1] Romdhonah, Yayu. 2011. Simulasi Distribusi Suhu dan Kelembaban Udara untuk Pengembangan Desain Rumah Tanaman di Daerah Tropika Basah (Master Thesis). Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- [2] Hanan J.J., W.D. Holley, K.L. Goldsberry. 1978. Greenhouse Management. New York: Springer-Verlag.
- [3] Suhardiyanto, H. 2009. Teknologi Rumah Tanaman untuk Iklim Tropika Basah: Pemodelan dan Pengendalian Lingkungan. Bogor: IPB Press.