

DISTRIBUSI SUHU UDARA DAN RH DI DALAM RUMAH TANAMAN TIPE *STANDARD PEAK* MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

*(Air temperature dan RH Distribution inside a Standard Peak Greenhouse
using Computational Fluid Dynamics)*

Yayu Romdhonah^{1*}, Herry Suhardiyanto², Erizal², Satyanto Krido
Saptomo²

¹Jurusan Agroekoteknologi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Jakarta Km 4, Kampus Untirta Serang Banten
Telp (0254) 280706, ext 129. Fax (0254) 280706
*Korespondensi: yayuromdhonah@gmail.com

²Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jl.Lingkar Akademik,
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Diterima: 18 Oktober 2014 / Disetujui: 28 November 2014

ABSTRACT

Microclimate analysis of a standard peak type greenhouse has been conducted using 3D Computational Fluid Dynamics (CFD). The objectives of this research were to predict air temperature and relative humidity distribution inside a standard peak greenhouse by using CFD software at zero and low windspeed conditions. Climate data and greenhouse characteristics were used as inputs and boundary condition for the simulation. Visual representations of the climate parameters distributions in the greenhouse were presented. The simulation produced realistic approximations of the dynamic behavior of greenhouse environments.

Keywords: *Computational Fluid Dynamics (CFD), greenhouse, microclimate*

ABSTRAK

Analisis iklim mikro rumah tanaman tipe *standard peak* telah dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 3 dimensi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan prediksi suhu udara dan kelembaban udara (RH), di dalam rumah tanaman tipe *standard peak* menggunakan software CFD pada saat kondisi kecepatan angin di luar rendah. Data iklim dan karakteristik rumah tanaman digunakan sebagai input dan kondisi batas dalam mengembangkan model simulasi. Hasil simulasi berupa visualisasi potongan kontur suhu udara dan RH. Model CFD yang dikembangkan cukup baik memprediksi parameter suhu udara. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ventilasi alami berlangsung secara efektif pada rumah tanaman tipe *standard peak* pada kecepatan angin kurang dari 2 m/s.

Kata Kunci: *Computational Fluid Dynamics (CFD), rumah tanaman, iklim mikro.*

PENDAHULUAN

Rumah tanaman tipe *standard peak* dengan bukaan ventilasi di dinding dan

di atap telah dikembangkan untuk kondisi Indonesia yang panas dan lembab (Suhardiyanto 2002). Saat ini tipe ru-

mah tanaman tersebut telah banyak digunakan. Umumnya pengguna melakukan pengukuran suhu udara dan kelembaban udara (RH) di dalam rumah tanaman di satu titik saja dengan asumsi data tersebut mewakili kondisi iklim mikro seluruh rumah tanaman. Padahal, pengetahuan mengenai kondisi iklim mikro tersebut berperan penting dalam keberhasilan budidaya tanaman (Bot 1983) dan bermanfaat dalam pengembangan desain rumah tanaman (Erizal *et al.*, 2012).

Penelitian mengenai sebaran suhu di dalam rumah tanaman tipe *standard peak* telah dilakukan oleh Maksum (2009). Melalui penggunaan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD), sebaran suhu dan aliran udara dapat dilihat secara visual berupa kontur dan vektor. Metode CFD ini juga digunakan untuk simulasi iklim mikro dalam rangka pengembangan desain rumah tanaman yang mengoptimalkan ventilasi alamiah (Mistriotis *et al.* 1997a, Mistriotis *et al.* 1997b, Kacira *et al.* 1998; Lee and Short 2000; Lee *et al.* 2000; Barzanas *et al.* 2001; Pontikakos *et al.* 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kondisi iklim mikro rumah tanaman tipe *standard peak* di daerah tropika basah secara 3 dimensi menggunakan CFD pada saat kondisi kecepatan angin di luar rendah. Kondisi iklim mikro yang dimaksud adalah suhu udara dan kelembaban udara (RH) yang ditampilkan secara visual berupa potongan kontur dan vektor. Hasil penelitian diharapkan, dapat memberikan gambaran kinerja bukaan ventilasi alami pada rumah tanaman tipe *standard peak* saat kondisi kecepatan angin (WS) di luar rendah yaitu kurang dari 2 m/s.

METODE PENELITIAN

Pengukuran Iklim Makro dan Mikro

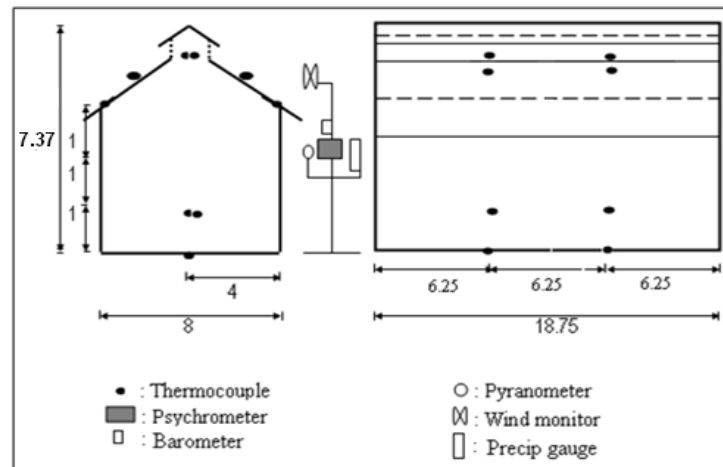
Parameter iklim makro dan mikro dibutuhkan untuk input data, kondisi

batas, dan validasi simulasi CFD. Pengukuran dilakukan di rumah tanaman tipe *standard peak* (Panjang 18,75 m; Lebar 8 m; Tinggi 7,37 m), tanpa tanaman, berlokasi di University Farm, Kampus IPB, Cikabayan, Bogor.

Konstruksi rumah tanaman menggunakan rangka baja ringan dengan orientasi bangunan menghadap Timur-Barat. Atap memiliki kemiringan 30° dan ditutup *polycarbonate* merk Solar Tuff setebal 0,8 mm (transmisivitas 0,9). Lantai sebagian diplester, sebagian ditutup kerikil. Dinding diplester setinggi 0,51 m. Bukaan ventilasi pada atap dan dinding ditutup kawat ram (porositas 0,64).

Parameter iklim makro diukur secara otomatis dengan interval 30 menit selama 24 jam menggunakan *weather station* (Davis tipe 6163) yang dihubungkan ke *data logger* (Wireless Vantage Pro2). Data suhu udara, RH, curah hujan, radiasi matahari, kecepatan angin dan arah angin diunduh dari *data logger* dengan *software Weatherlink*.

Parameter iklim mikro diukur dengan interval sama, yaitu 30 menit selama 24 jam menggunakan Termokopel tipe T yang dihubungkan dengan *hybrid recorder* (Yokogawa MV Advance 1M MV1000-02E). Data kemudian diunduh menggunakan USB flash. Parameter yang diukur adalah suhu atap rumah tanaman di bagian luar, suhu udara bola basah dan bola kering di dalam rumah tanaman, suhu permukaan lantai, suhu pada batas lantai dengan permukaan tanah, suhu tanah pada kedalaman 0,01 m dan 0,02 m dari permukaan lantai. Selama pengukuran sensor termokopel dilindungi dari radiasi matahari langsung untuk menghasilkan data suhu yang akurat. Skema titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema pengukuran parameter iklim makro dan mikro dalam penelitian

Simulasi CFD

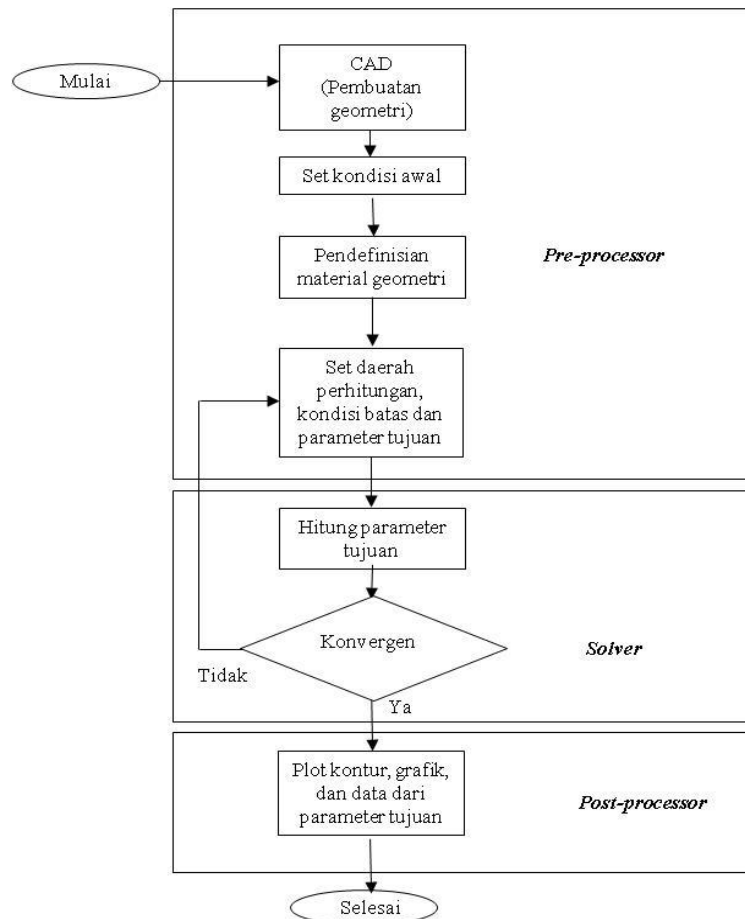
Diagram alir simulasi CFD dapat dilihat pada Gambar 2. Seluruh proses *pre-processor* secara lengkap dapat dilihat dalam Romdhonah (2011). Pembuatan geometri rumah tanaman dilakukan menggunakan Solidworks® Office Premium 2010 X64 Edition (Serial No. 9000 0078 3094 0176 64N9 XP9B), kemudian parameter iklim serta karakteristik rumah tanaman disimulasikan dalam *Flow Simulation 2010 SP4.0 Build: 1299* yang merupakan satu paket dalam *software* Solidworks®. Program komputer tersebut menggunakan analisis numerik metode volume hingga (*finite volume method*) untuk menyelesaikan persamaan-persamaan Navier-Stokes yang terdiri atas persamaan kekekalan massa, momentum dan energi (Versteeg dan Malalasekera 1995).

Analisis yang dilakukan adalah analisis 3 dimensi (bidang x,y,z) terhadap aliran fluida dan termal yang mencakup perpindahan panas konveksi, konduksi, dan radiasi pada kondisi tunak (*3-dimensional steady state analysis*). Asumsi yang digunakan dalam simulasi adalah:

- udara bergerak dalam keadaan *steady*
- udara tidak terkompresi (*incompressible*)
- panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan
- udara lingkungan dianggap konstan selama simulasi
- distribusi suhu udara pada tiap atap dan lantai rumah tanaman seragam

Model simulasi yang dilakukan sangat bergantung pada memori dan kecepatan *processor* komputer yang digunakan. Pada penelitian ini komputer yang digunakan adalah komputer desktop dengan spesifikasi CPU Intel® Core™ i7; 8GB RAM; dan 64-bit *Operating system*. Simulasi dilakukan terhadap 3 kasus, yaitu saat angin tidak bertiup ($WS=0$ m/dt) untuk Kasus 1, saat $WS=0,4$ m/dt untuk Kasus 2, dan $WS=1,8$ m/dt untuk Kasus 3. Data input kondisi awal dan kondisi batas simulasi disajikan pada Tabel 1.

Validasi model dilakukan hanya untuk suhu dengan membandingkan suhu udara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Untuk RH, validasi tidak dapat dilakukan. Hanya ada 3 titik dari 30 titik validasi akibat dari data pengukuran yang tidak valid.



Gambar 2 Diagram alir simulasi CFD

Tabel 1 Input kondisi awal dan kondisi batas

Input	Kasus		
	1	2	3
Kondisi Awal			
Suhu lingkungan (°C)	23,00	32,20	31,30
Suhu material padat (°C)	28,08	37,05	36,50
RH lingkungan (%)	97	71	73
Kecepatan angin (m/dt)	0	0,4	1,8
Radiasi Matahari (W/m ²)	0	904	663
Letak geografis	6° 18' 00" LS; 106° 24' 00" BT	6° 18' 00" LS; 106° 24' 00" BT	6° 18' 00" LS; 106° 24' 00" BT
Waktu (WIB)	06:00	13:30	14:00
Kondisi Batas			
Suhu atap menghadap Utara (°C)	22,48	42,00	35,33
Suhu atap menghadap Selatan (°C)	22,43	45,76	38,81
Suhu lantai (°C)	28,08	37,05	36,50
Media berpori			
Jenis		Kawat kassa	
Porositas kassa		0,64	
Tipe permeabilitas		Isotropik	
Resistance calculation formula (k)		Dependency on reference pore size (D)	
Panjang		0,254 m	
Luas		0,000025 m ²	
Meshing		Mesh 3	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Suhu Udara

Distribusi suhu udara hasil simulasi CFD ditampilkan berupa potongan kontur tampak depan ($X=9,375$ m), tampak samping ($Z=4$ m), dan tampak atas ($Y=1$ m). Pada Kasus 1 saat tidak ada angin, suhu lingkungan 23°C , dan radiasi matahari nol, suhu udara di dalam rumah tanaman yang terletak dekat bukaan hampir sama dengan dengan suhu lingkungan (Gambar 3). Suhu udara hampir seragam berkisar antara $23,0-23,26^{\circ}\text{C}$.

Pada Kasus 2 dengan kondisi lingkungan yang panas, saat suhu $32,2^{\circ}\text{C}$ dan radiasi matahari mencapai 904 W/m^2 , suhu udara di dalam rumah tanaman hasil simulasi pada ketinggian $0-3$ m menunjukkan hasil yang cukup seragam yaitu $32,2-32,7^{\circ}\text{C}$. Gradien suhu udara mulai terlihat pada ketinggian di atas 1 m dan suhu udara di sekitar atap mencapai $33,8^{\circ}\text{C}$.

Pada Kasus 3, saat kecepatan angin $1,8$ m/s dan radiasi matahari 663 W/m^2 , suhu udara di dalam rumah tanaman hasil simulasi berkisar $31,3-31,7^{\circ}\text{C}$. Sehingga, tidak jauh berbeda dengan suhu lingkungan yaitu $31,3^{\circ}\text{C}$. Gradien suhu udara hampir tidak terjadi di dalam rumah tanaman pada kondisi angin bertiup mendekati 2 m/s.

Saat angin bertiup dengan kecepatan rendah (Kasus 2 dan Kasus 3), terlihat bahwa suhu udara di dalam rumah tanaman tipe *standar peak* hingga ketinggian 3 m tidak berbeda jauh dengan suhu lingkungan. Hal ini disebabkan adanya aliran udara yang bertiup ke dalam rumah tanaman membawa udara segar melalui bukaan ventilasi di dinding. Udara memasuki rumah tanaman dengan suhu hampir sama dengan yang di luar dan keluar dengan suhu 3°C lebih hangat.

Dari ketiga kasus simulasi, gradien suhu baik secara horizontal, yaitu suhu udara di tengah-tengah ($X=6-12$ m), maupun secara vertikal tidak terlalu besar. Suhu udara di dalam rumah

tanaman pada ketinggian 1 m dari permukaan lantai berkisar antara $22 - 33^{\circ}\text{C}$ pada selang suhu udara lingkungan $23,0-32,2^{\circ}\text{C}$. Perbedaan suhu udara lingkungan dan di dalam rumah tanaman tidak lebih dari 5°C . Ventilasi rumah tanaman yang terdiri dari bukaan di dinding dan di atap ini dapat dikategorikan efektif karena dapat mempertahankan kenaikan suhu udara di bawah 6°C (Suhardiyanto, 2009).

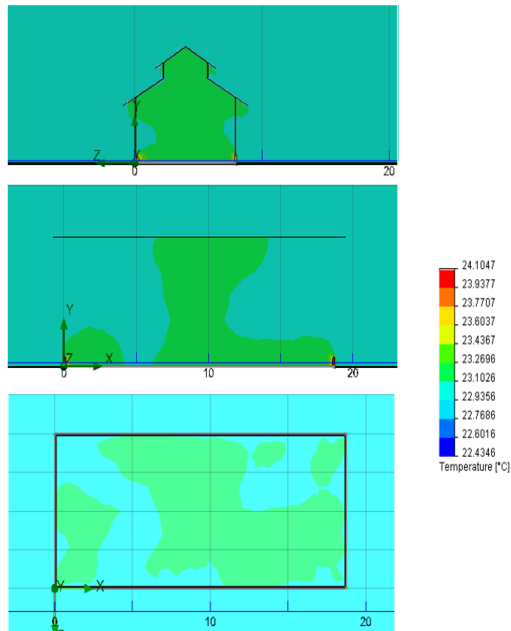
Validasi terhadap model CFD dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dan pengukuran. Perbedaan antara suhu udara hasil simulasi dan hasil pengukuran memberikan error terbesar $12,81\%$. Terdapat 6 titik dimana hasil prediksi memiliki error lebih dari 10% . Hal ini disebabkan pendefinisian material yang kurang detail pada bagian lantai rumah tanaman. Sebagian permukaan lantai diplesir semen dan sebagian berupa tanah yang ditutup batu kerikil, tetapi dalam simulasi lantai didefinisikan sebagai solid kerikil. Hal ini dapat berpengaruh terhadap hasil prediksi suhu dan menyebabkan *error* yang cukup besar. Namun demikian, prediksi terhadap RH dan pola aliran udara tetap dilakukan.

Distribusi RH

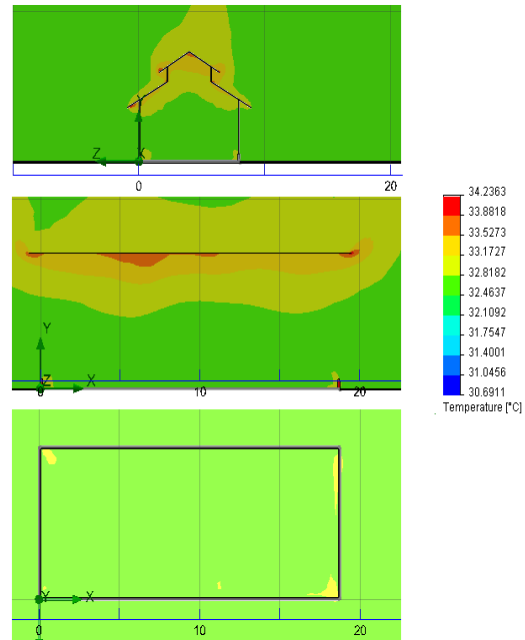
Pada kasus 1 dengan RH lingkungan 97% , RH di dalam rumah tanaman hasil simulasi nilainya lebih rendah 2% dibandingkan di luar rumah tanaman dan terlihat adanya gradien RH secara vertikal dan horizontal (Gambar 6). Nilai RH berkisar $95,3 - 95,7\%$.

Nilai RH yang lebih rendah dari RH lingkungan juga terjadi pada Kasus 2 (Gambar 7) dan Kasus 3 (Gambar 8). Hal ini disebabkan kecepatan udara di dalam rumah tanaman sangat rendah sehingga tidak mampu membawa keluar udara basah. Pada Kasus 2 dengan RH lingkungan 71% , nilai RH hasil simulasi berkisar $64,2 - 69,7\%$. Gradien suhu hanya terjadi secara vertikal.

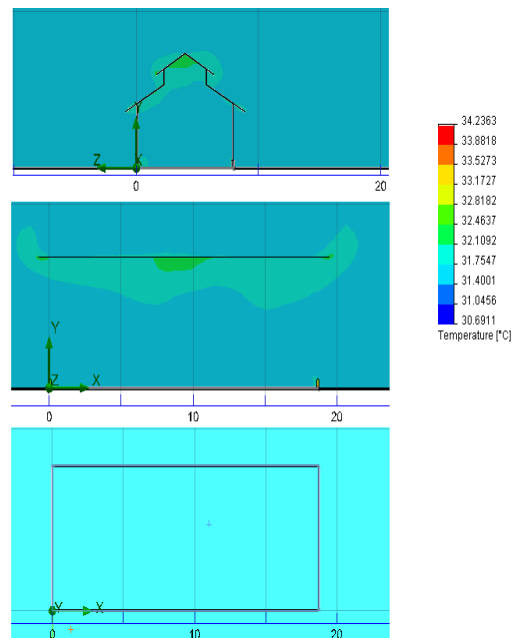
Pada Kasus 3 dengan RH lingkungan 73%, RH hasil simulasi berkisar 69 - 72 %. Angin yang bertiup mampu membawa uap air keluar rumah tanaman, sehingga RH di dalam tidak berbeda jauh dengan RH lingkungan. Gradien RH terjadi secara vertikal dan horizontal.



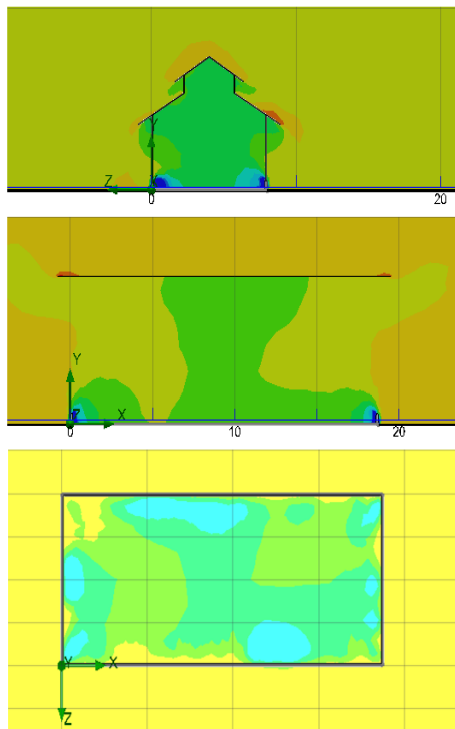
Gambar 3 Distribusi suhu udara hasil simulasi Kasus 1 saat kecepatan angin 0 m/s dan radiasi matahari 0 W/m²



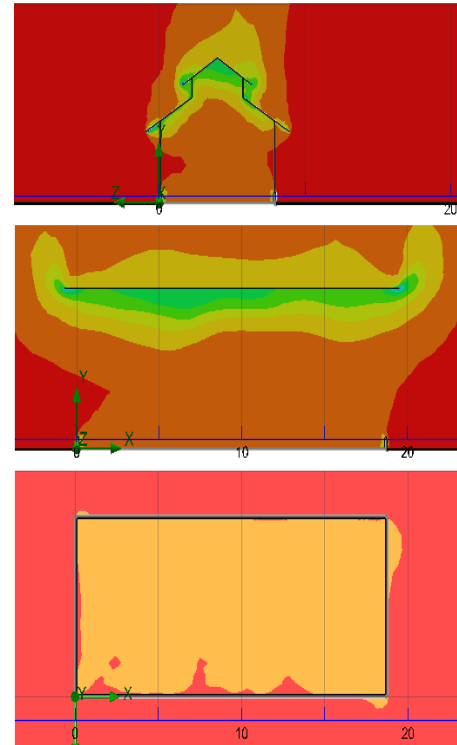
Gambar 4 Distribusi suhu udara hasil simulasi Kasus 2 saat kecepatan angin 0,4 m/s dan radiasi matahari 904 W/m²



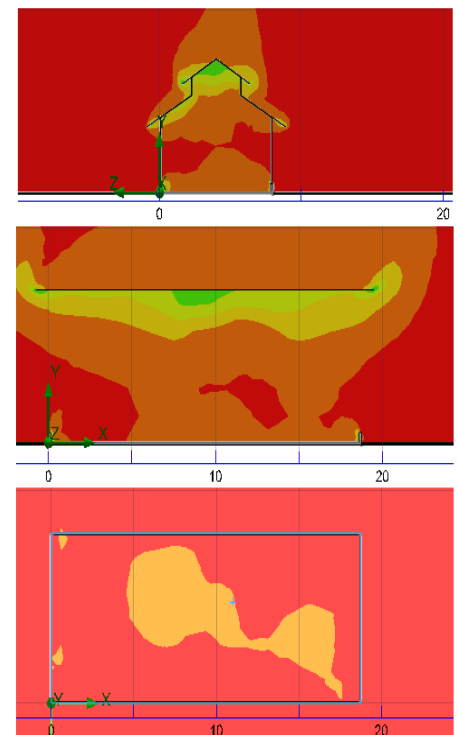
Gambar 5 Distribusi suhu udara hasil simulasi Kasus 3 saat kecepatan angin 1,8 m/s dan radiasi matahari 663 W/m²



Gambar 6 Distribusi RH hasil simulasi Kasus 1 saat $WS=0$ m/dt dan radiasi matahari 0 W/m^2



Gambar 7 Distribusi RH hasil simulasi Kasus 2 saat $WS=0.4$ m/dt dan radiasi matahari 904 W/m^2



Gambar 8 Distribusi RH saat $WS=1.8$ m/dt dan radiasi matahari 663 W/m^2

KESIMPULAN

Model simulasi CFD mampu memberikan prediksi suhu udara dan RH secara 3 dimensi. Distribusi suhu udara dan RH di dalam rumah tanaman tipe *standard peak* dapat dilihat secara visual. Perbedaan suhu udara di dalam rumah tanaman tipe *standard peak* dengan suhu lingkungan kurang dari 6°C. Ventilasi alamiah berlangsung secara efektif pada rumah tanaman tipe *standard peak* pada kecepatan angin kurang dari 2 m/s. Dengan demikian, rumah tanaman tipe *standard peak* memiliki performa yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Barzanas T, T Boulard, C Kittas. 2001. Numerical Simulation of The Airflow and Temperature Distribution in a Tunnel Greenhouse Equipped with Insect-Proof Screen in The Openings. *Computers and Electronics in Agriculture. Special Issue on Applications of CFD in the Agri-food Industry* 34: 207-221.
- Bot GPA. 1983. Greenhouse Climate: from Physical Processes to a Dynamic Model [PhD Thesis]. Wageningen: Agricultural University of Wageningen. 240p.
- Erizal, H Suhardiyanto, Y Romdhonah. 2012. Design of a Sustainable Greenhouse Structure for the Tropical Regions: Applying Computational Fluid Dynamics Methods. Proceeding of 3rd GEN Network and 4th Rispescia International Seminar: Sustainable Bio-resources for Global Welfare. Universitas Gajah Mada. Hal: 38-43.
- Kacira M, TH Short, RR Stowel. 1998. A CFD Evaluation of naturally Ventilated, Multi-Span, Sawtooth Greenhouses. *Trans. ASAE* 41: 833-836.
- Lee I, L Okushima, A Ikegushi, S Sase, TH Short. 2000. Prediction of Natural Ventilation of Multi-Span Greenhouses Using CFD Techniques and Its Verification with Wind Tunnel Test. Presented at the 93rd Annu. Int. Meeting of ASAE, Paper No. 005003, Milwaukee, Wisconsin. July 9-12, 2000.
- Lee I, TH Short. 2000. Two-Dimensional Numerical Simulation of Natural Ventilation in a Multi-Span Greenhouse. *Trans. ASAE* 43(3): 745-753.
- Maksum, MAA. 2009. Prediksi Distribusi Suhu dan Pola Aliran Udara dalam *Greenhouse* Tipe *Standard Peak* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 47 hlm.
- Mistriotis A, C Arcidiacono, P Picuno, GPA. Bot, G. Scarascia-Mugnozza. 1997a. Computational Analysis of Ventilation in Greenhouses at Zero- and Low-Wind-Speeds. *Agricultural and Forest Meteorology* 88: 121-135.
- Mistriotis A, P Picuno, GPA. Bot, Scarascia-Mugnozza G. 1997b. Computational study of The Natural Ventilation Driven by Buoyancy Forces. Proceedings of the 3rd international workshop on mathematical and control applications in agriculture and horticulture. Oxford: Pergamon Press. Hal 67-72.
- Pontikakos C, KP Ferentinos, T Tsiligiridis, AB Sideridis. 2006. Natural Ventilation Efficiency in a Twin-Span Greenhouse Using 3D Computational Fluid Dynamics. Proceeding of the 3rd International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture (HAICTA), September 20-23, Volos, Greece.

- Romdhonah Y. 2011. Simulasi Distribusi Suhu dan Kelembapan Udara untuk Pengembangan Desain Rumah Tanaman di Daerah Tropika Basah. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. 53 hlm.
- Suhardiyanto H. 2002. Penerapan Teknologi Pengendalian Lingkungan dalam Sistem Hidroponik untuk Menunjang Peningkatan Ekspor Paprika. Laporan akhir Program Penerapan Iptek untuk Pengembangan UKM dalam Memacu Ekspor Nasional Non Migas. LPM IPB. Bogor.
- Versteeg HK dan W Malalasekera. 1995. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Longman Scientific and Technical. 257p. New York.