

## ANALISIS VENTILASI ALAMIAH PADA *GREENHOUSE* TIPE *STANDARD PEAK* MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

*Natural Ventilation Analysis of Standard Peak Greenhouse using Computational Fluid Dynamics*

Oleh :

Yayu Romdhonah<sup>1</sup>, Herry Suhardiyanto<sup>2</sup>, Erizal<sup>2</sup>, Satyanto Krido Saptomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Agroekoteknologi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

E-mail: yayuromdhonah@gmail.com

### ABSTRACT

*Standard peak greenhouse is an adapted design for the humid tropical regions. Analysis of the greenhouse natural ventilation had been conducted using 3D Computational Fluid Dynamics (CFD). The objective of this research was to investigate the greenhouse natural ventilation performance on zero and low windspeed conditions. Solidworks® CFD software was used in this study. Climate data and greenhouse characteristics were used as inputs for the simulation. The results of CFD simulation were presented in 3D of airflow vectors in x, y, and z directions. Results of this study showed the importance of roof vents and sidewalls openings for efficient thermally driven ventilation.*

*Keywords: greenhouse, airflow analysis, natural ventilation, CFD*

### ABSTRAK

*Greenhouse tipe standard peak adalah hasil adaptasi dari desain greenhouse subtropis untuk kawasan tropis basah. Analisis terhadap ventilasi alamiah greenhouse tipe standard peak telah dilakukan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) 3 dimensi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kinerja ventilasi alamiah pada greenhouse tipe standard peak pada saat angin tidak bertiup dan saat kecepatan angin di greenhouse luar rendah. Simulasi CFD dilakukan menggunakan perangkat lunak CFD Solidworks®. Data suhu dan karakteristik greenhouse digunakan sebagai input simulasi. Hasil simulasi CFD berupa vektor dan kecepatan aliran udara di dalam greenhouse ditampilkan dalam bentuk visualisasi potongan 3 dimensi arah bidang x, y, dan z. Hasil penelitian menunjukkan pentingnya bukaan ventilasi di atap dan bukaan di dinding greenhouse untuk berlangsungnya ventilasi alamiah akibat gaya termal secara efisien.*

*Kata kunci: greenhouse, aliran udara, ventilasi alamiah, CFD*

### PENDAHULUAN

Pada umumnya *greenhouse* di daerah tropis menghadapi permasalahan suhu udara internal yang tinggi pada siang hari. Udara panas tertahan di dalam *greenhouse* akibat kurangnya bukaan ventilasi, atau bisa juga karena letak bukaan ventilasi yang tidak tepat.

Pada dasarnya aliran udara dari dalam ke luar *greenhouse* dapat terjadi secara alamiah melalui bukaan ventilasi tanpa bantuan peralatan mekanis (Lindley dan Whitaker, 1996). Penyebabnya adalah perbedaan tekanan udara

antara dua tempat di dalam *greenhouse* akibat gaya angin maupun gaya termal, atau kombinasi keduanya (Soegijanto, 1999). Dengan pengetahuan dasar ini, rancangan *greenhouse* yang memanfaatkan ventilasi alamiah untuk kondisi Indonesia dapat dikembangkan.

*Greenhouse* tipe *standard peak* merupakan desain yang dikembangkan dan disesuaikan untuk kawasan tropis basah (Suhardiyanto, 2002). Tipe ini memiliki atap yang berundak dengan bukaan ventilasi di bagian *ridge* (atap) membuka ke dua arah (Suhardiyanto, 2009). Hal ini dimaksudkan agar

terjadi pertukaran udara secara alamiah untuk mengeluarkan udara panas dari dalam *greenhouse* dan menggantinya dengan udara dari luar yang sejuk dan kaya akan CO<sub>2</sub>. Menurut Soegijanto (1999), apabila terdapat dua lubang dengan ketinggian yang berbeda maka akan terjadi aliran udara dari dalam ke luar melalui lubang yang terletak di atas akibat efek termal.

Analisis ventilasi alamiah dapat dilakukan dengan berbagai metode (Suhardiyanto, 2009). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu cara untuk menganalisis ventilasi alamiah dan iklim mikro di dalam *greenhouse* (Mistriotis dkk., 1997a). CFD adalah suatu analisis sistem yang meliputi aliran fluida, pindah panas dan massa, serta fenomena lain seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (Versteeg dan Malalasekera, 1995). Saat ini paket perangkat lunak CFD telah banyak beredar baik yang komersial maupun *open source* (Romdhonah, 2011). Kode program CFD yang rumit tidak lagi menjadi masalah karena saat ini telah ada paket perangkat lunak CFD dimana pengguna hanya menggunakan *interface* untuk memasukkan parameter dan untuk memeriksa hasil simulasi. Semua paket program CFD memiliki tiga tahap proses utama, yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post-processor* (Versteeg dan Malalasekera, 1995).

Metode CFD 2 dimensi telah digunakan untuk simulasi iklim mikro *greenhouse* tipe *standard peak* dalam rangka pengembangan desain *greenhouse* untuk Indonesia yang mengoptimalkan ventilasi alamiah. (Maksum, 2009, Erizal dkk., 2012). Menurut Sase dkk. (1984) dan Mistriotis dkk. (1997b), analisis

kinerja ventilasi alamiah *greenhouse* dilakukan pada kecepatan angin kurang dari 2 m/dt. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja ventilasi alamiah pada *greenhouse* tipe *standard peak* pada saat angin tidak bertiup dan saat kecepatan angin di luar rendah menggunakan CFD 3 dimensi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan penjelasan lebih lanjut mengenai iklim mikro *greenhouse* tipe *standard peak* yang telah dilaporkan oleh Romdhonah dkk. (2014). Selain itu, fenomena ventilasi alamiah yang terjadi pada *greenhouse* tipe *standard peak* dapat ditunjukkan secara visual berupa potongan kontur dan vektor secara 3 dimensi dari arah bidang *x*, *y*, dan *z*.

### METODE PENELITIAN

*Greenhouse* tipe *standard peak* yang diteliti memiliki panjang 18.75 m, lebar 8 m, dan tinggi 7.37 m terletak di University Farm, Kampus IPB, Cikabayan, Bogor. *Greenhouse* memiliki bukaan ventilasi atap dan dinding yang ditutup kawat ram (porositas 0.64). Dimensi bukaan ventilasi dinding dan atap dapat dilihat pada Tabel 1.

Simulasi CFD dilakukan di laboratorium komputer IPB menggunakan Flow Simulation 2010 SP4.0 Build: 1299 yang merupakan satu paket dalam perangkat lunak Solidworks® Office Premium 2010 X64 Edition (Serial No. 9000 0078 3094 0176 64N9 XP9B). Pada penelitian ini komputer yang digunakan adalah komputer desktop dengan spesifikasi CPU Intel® Core™ i7; 8GB RAM; dan 64-bit *Operating system*.

**Tabel 1.** Dimensi dan luas bukaan ventilasi pada *greenhouse* yang diteliti

Ventilasi	Dimensi		Luas (m <sup>2</sup> )
	Panjang (m)	Lebar (m)	
Bukaan di atap menghadap Utara	18.75	1.00	18.7500
Bukaan di atap menghadap Selatan	18.75	1.00	18.7500
Bukaan dinding menghadap Utara	18.75	3.63	68.0625
Bukaan dinding menghadap Selatan	18.75	3.63	68.0625
Bukaan dinding menghadap Timur	8.00	3.63	29.0400
Bukaan <i>gable</i> menghadap Timur	8.00	2.74	10.9600
	1.75	1.00	1.7500
	1.75	1.00	1.7500
Bukaan dinding menghadap Barat	8.00	3.63	29.0400
Bukaan <i>gable</i> menghadap Barat	8.00	2.74	10.9600
	1.75	1.00	1.7500
	1.75	1.00	1.7500
Total			260.0625

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 simulasi berupa data iklim mikro dan karakteristik *greenhouse* sebagaimana dalam Tabel 2.

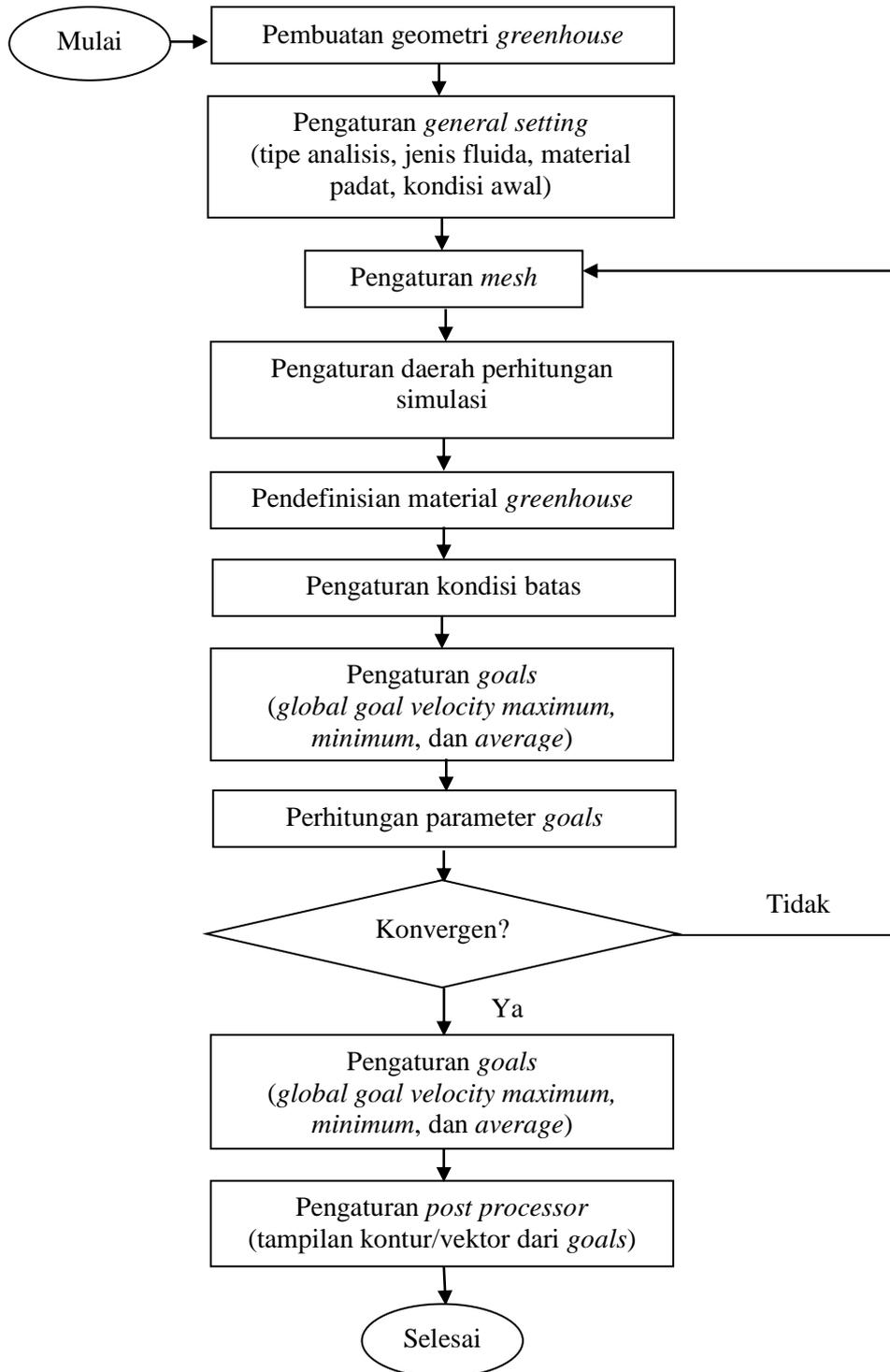
**Tabel 2.** Input kondisi awal dan kondisi batas

Input	Kasus		
	1 (WS=0 m/dt)	2 (WS=0,4 m/dt)	3 (WS=1,8 m/dt)
<b>Kondisi Awal</b>			
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 <sup>2</sup> )	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
<b>Kondisi Batas</b>			
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
<b>Media berpori</b>			
Jenis		Kawat kassa	
Porositas kassa		0,64	
Tipe permeabilitas		Isotropik	
<i>Resistance calculation formula</i> (k)		<i>Dependency on reference pore size (D)</i>	
Panjang		0,254 m	
Luas		0,000025 m <sup>2</sup>	
<b>Meshing</b>			
		<i>Mesh 3</i>	

Sumber: Romdhonah dkk. (2014).

Diagram alir simulasi diberikan pada Gambar 1. Analisis yang dilakukan adalah analisis 3 dimensi 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: (i) udara bergerak dalam keadaan *steady*, (ii)

udara tidak terkompresi (*incompressible*), (iii) panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan, (iv) udara lingkungan dianggap konstan selama simulasi, dan (v) distribusi suhu udara pada tiap atap dan lantai *greenhouse* seragam. Validasi hasil simulasi sebagaimana Romdhonah (2011).

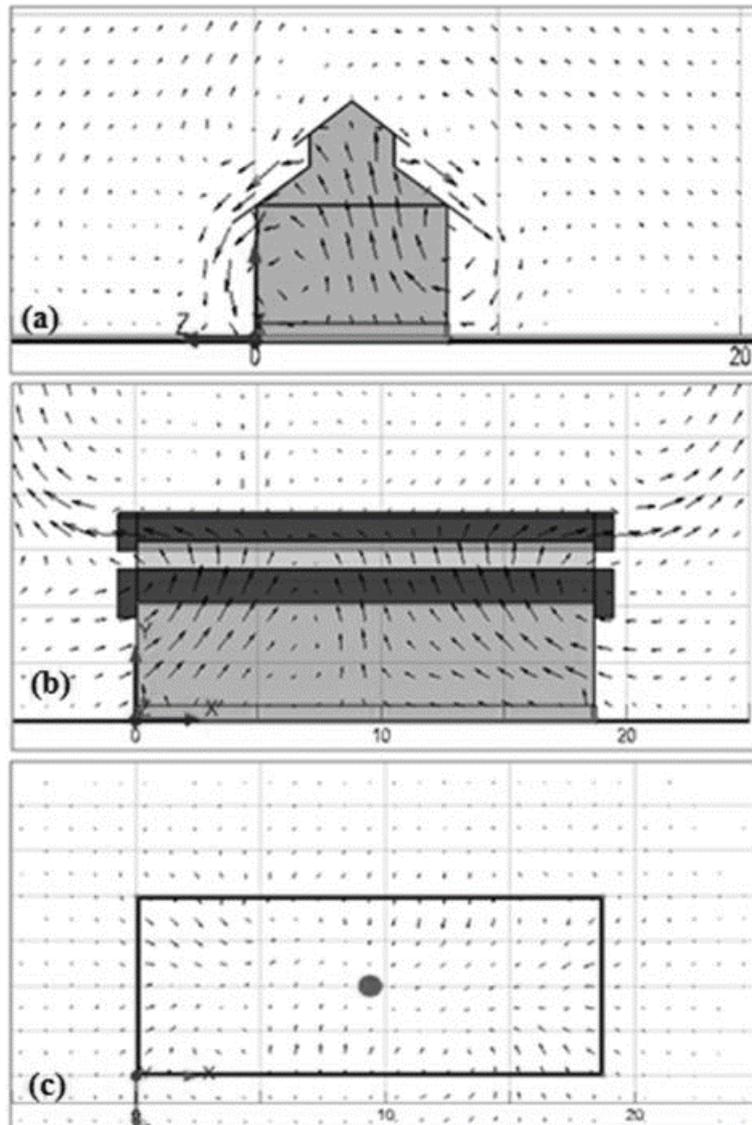


Gambar 1. Diagram alir simulasi CFD pada penelitian ini.

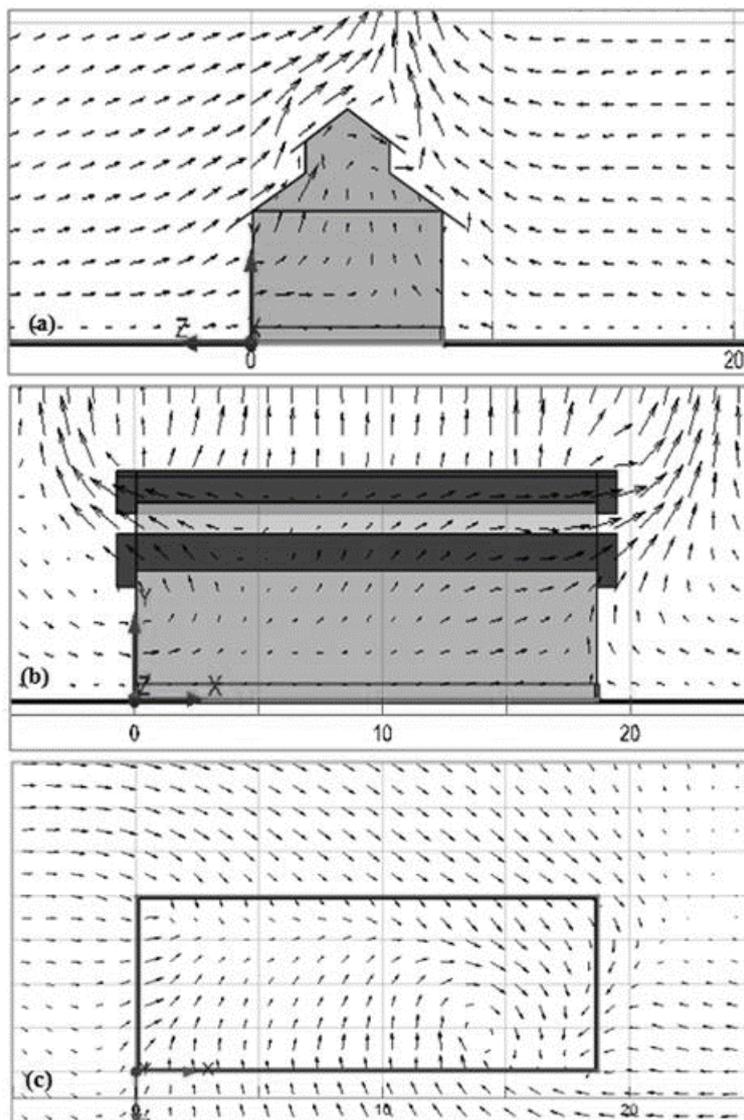
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dengan CFD 3 dimensi mampu memberikan visualisasi vektor aliran udara yang terjadi di dalam *greenhouse* arah bidang  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Pola aliran udara hasil simulasi CFD berupa

potongan bidang tampak depan ( $X=9,375$  m), tampak samping ( $Z=4$  m), dan tampak atas ( $Y=1$  m) untuk masing-masing kasus dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



**Gambar 1.** Pola aliran udara Kasus 1 saat  $WS=0$  m/dt tampak depan pada bidang  $x$  dengan jarak  $X=9.375$  m (a), tampak samping pada bidang  $z$  dengan jarak  $Z=4$  m (b), dan tampak atas pada bidang  $y$  dengan ketinggian  $Y=1$  m di atas lantai (c).



**Gambar 2.** Pola aliran udara Kasus 2 saat  $WS=0.4$  m/dt tampak depan pada bidang x dengan jarak  $X=9.375$  m (a), tampak samping pada bidang z dengan jarak  $Z=4$  m (b), dan tampak atas pada bidang y dengan ketinggian  $Y=1$  m di atas lantai (c).

Simulasi Kasus 1 dilakukan pada saat angin tidak bertiup atau  $WS=0$  m/dt, suhu lingkungan  $23.0$  °C, dan radiasi matahari nol. Suhu udara di dalam *greenhouse* dilaporkan Romdhonah dkk. (2014) hampir seragam berkisar antara  $23.0 - 23.26$  °C. Dari Gambar 2 terlihat bahwa walaupun tidak ada angin yang bertiup, pergerakan udara dari bagian bawah *greenhouse* menuju ke bagian atas *greenhouse* tetap terjadi. Karena terdapat bukaan ventilasi di dinding, sebagian udara panas tersebut keluar melalui dinding dan sebagian lagi bergerak menuju bukaan ventilasi di atap dan kemudian keluar *greenhouse*. Vektor aliran udara menunjukkan aliran udara masuk melalui ventilasi dinding menggantikan udara yang keluar.

Apabila dilihat dari atas atau bidang y pada ketinggian  $Y=1$  m, terlihat bahwa udara masuk ke dalam *greenhouse* melalui keempat bukaan dinding. Udara menuju bagian tengah *greenhouse* dan menyerap panas dari lantai. Suhu udara meningkat dan menjadi lebih ringan sehingga bergerak ke atas. Pergerakan udara ini berlangsung terus tanpa bantuan alat-alat mekanis seperti kipas angin ataupun *exhaust fan*. Pola aliran udara tersebut disebut ventilasi alamiah karena efek termal yang dikenal sebagai "efek cerobong asap" atau *chimney effect*.

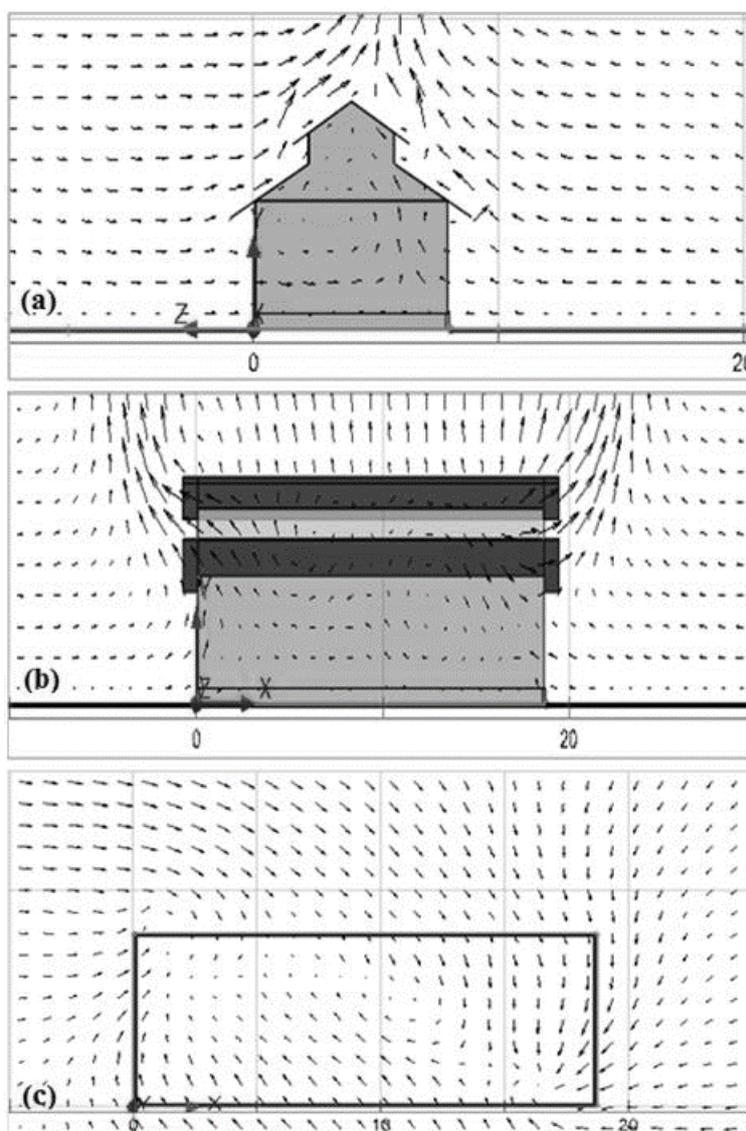
Simulasi dengan CFD mampu memberikan prediksi kecepatan pergerakan udara di dalam *greenhouse*. Pada Kasus 1 saat  $WS=0$  m/dt, udara di dalam *greenhouse* bergerak dengan kecepatan hingga  $0.12$  m/dt. Di bagian

tengah pada ketinggian  $Y=1$  m, diperkirakan udara hampir tidak bergerak, kecepatan udara diprediksi mendekati 0, yaitu 0.02 m/dt.

Pada Gambar 2 juga terlihat sebagian udara yang keluar melalui ventilasi atap masuk kembali ke dalam *greenhouse* melalui bukaan di dinding. Hal ini disebabkan adanya *vacuum effect* di dalam *greenhouse*, yang menarik udara masuk ke dalam melalui bukaan yang lebih rendah. Hal ini dapat diantisipasi dengan menutup bukaan sebagian yaitu yang berada tepat di bawah atap.

Untuk Kasus 2, dimana kecepatan angin rendah ( $WS=0.4$  m/dt) dan kondisi lingkungan panas, yaitu saat suhu lingkungan  $32.2^{\circ}\text{C}$  dan

radiasi matahari mencapai  $904\text{ W/m}^2$ , suhu udara di dalam *greenhouse* dilaporkan Romdhonah dkk. (2014) menunjukkan hasil yang cukup seragam yaitu  $32,2 - 32,7^{\circ}\text{C}$  pada ketinggian 0 - 3 m. Udara di dalam *greenhouse* bergerak dengan kecepatan hingga 0.2 m/dt. Kecepatan udara di dalam *greenhouse* menurun karena melewati bukaan dinding yang ditutup kassa. Pola aliran udara dapat dilihat pada Gambar 3. Di bagian belakang *greenhouse* atau bidang  $x$ , pada  $X=15$  m, terjadi putaran udara akibat pertemuan udara yang dibawa angin dari arah Utara (dinding kiri) dan udara yang masuk karena perbedaan suhu melalui dinding kanan



**Gambar 3.** Pola aliran udara pada  $WS=1.8$  m/dt tampak depan pada bidang  $x$  dengan jarak  $X=9.375$  m (a), tampak samping pada bidang  $z$  dengan jarak  $Z=4$  m (b), dan tampak atas pada bidang  $y$  dengan ketinggian  $Y=1$  m di atas lantai (c).

Demikian pula untuk Kasus 3 dimana kecepatan angin rendah yaitu  $WS=1.8$  m/dt, kecepatan udara di dalam *greenhouse* menurun yaitu hanya sebesar 0.075 m/dt pada posisi  $X=9.375$  m (Gambar 4). Tetapi, kondisi di dalam *greenhouse* lebih baik dimana suhu udara seragam pada ketinggian 1 m dari lantai sebagaimana dilaporkan oleh Romdhonah dkk. (2014).

*Chimney effect* terjadi pada saat tidak ada angin maupun saat kecepatan angin rendah. Menurut Suhardiyanto *et al.* (2006) pada waktu kecepatan angin kurang dari 2 m/dt pertukaran udara cenderung lebih dipengaruhi oleh perbedaan suhu udara di dalam dan di luar *greenhouse*. *Chimney effect* akan berfungsi efektif apabila desain bangunannya mendukung seperti tipe *standard peak* yang diteliti. Terlihat dalam Gambar 3 dan Gambar 4 bahwa bukaan ventilasi di dinding berfungsi sebagai *inlet* dan bukaan ventilasi di atap berfungsi sebagai *outlet*.

Dari Kasus 1, Kasus 2, dan Kasus 3 terlihat bahwa perbedaan suhu udara di dalam *greenhouse* dan suhu lingkungan tidak jauh berbeda. Ventilasi *greenhouse* yang terdiri dari bukaan di dinding dan di atap ini dapat dikategorikan efektif karena dapat mempertahankan kenaikan suhu udara di bawah  $6^{\circ}\text{C}$  (Suhardiyanto, 2009).

## KESIMPULAN

Ventilasi alamiah berlangsung secara efektif pada *greenhouse* tipe *standard peak* pada kecepatan angin kurang dari 2 m/dt. Saat angin tidak bertiup maupun saat kecepatan angin rendah pertukaran udara tetap terjadi akibat gaya termal karena adanya *chimney effect*. Aliran udara masuk melalui bukaan di dinding dan keluar melalui ventilasi atap sehingga tidak ada tabrakan aliran udara. Dengan demikian, bukaan ventilasi di dinding dan di atap *greenhouse* sangat berperan dalam menciptakan iklim mikro yang optimal bagi tanaman tanpa harus menambah biaya operasional.

## DAFTAR PUSTAKA

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. Hlm: 38-43.

Lindley, J.A., J.H. Whitaker. 1996. *Agricultural Buildings and Structures*. ASAE. USA.

Maksum, M.A.A. 2009. Prediksi Distribusi Suhu dan Pola Aliran Udara dalam *Greenhouse* Tipe *Standard Peak* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.

Mistriotis, A., T. De Jong, M.J.M Wagemans, G.P.A. Bot. 1997a. Computational Fluid Dynamics (CFD) as a Tool for the Analysis of Ventilation and Indoor Microclimate in Agricultural Buildings. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 81-96.

Mistriotis, A., C. Arcidiacono, P. Picuno, G.P.A. Bot, G. Scarascia-Mugnozza. 1997b. Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero- and low-wind-speeds. *Agricultural and Forest Meteorology* 88: 121-135.

Romdhonah Y. 2011. Simulasi Distribusi Suhu dan Kelembapan Udara untuk Pengembangan Desain Rumah Tanaman di Daerah Tropika Basah. (Tesis). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Romdhonah, Y., H. Suhardiyanto, Erizal, S. K. Saptomo. 2014. Distribusi Suhu Udara dan RH di dalam Rumah Tanaman Tipe *Standard Peak* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics*. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*. Vol. 3 (2): 125-133.

Sase, S., T. Takakura, M. Nara, 1984. Wind-tunnel testing on airflow and temperature distribution of a naturally ventilated greenhouse. *Acta Hort.* 148: 329-336.

Soegijanto. 1999. *Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*. Jakarta: Ditjen Pendidikan Tinggi Depdikbud.

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. Bogor: LPM IPB.
- Suhardiyanto, H., M. Widyarti, F. Chrisfian, I.S. Muliawati. 2006. Analisis Ventilasi Alamiyah untuk Modifikasi Rumah Kaca *Standard Peak* Tipe Curam. *Jurnal Keteknikan Pertanian* 20 (2): 127-138.
- Suhardiyanto H. 2009. *Teknologi Rumah Tanaman untuk Iklim Tropika Basah: Pemodelan dan Pengendalian Lingkungan*. IPB Press. Bogor.
- Versteeg, HK, W Malalasekera. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Longman Scientific and Technical. New York.