

# jTEP

## JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 3, Desember 2017



Publikasi Resmi  
**Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia**  
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)  
bekerjasama dengan  
**Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA**  
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Mulai edisi ini redaksi memandang perlu untuk meningkatkan nomor penerbitan dari dua menjadi tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap nomornya. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam *invited paper* yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, *review* perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, *technical paper* hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta *research methodology* berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

**Penanggungjawab:**

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia  
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

**Dewan Redaksi:**

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)  
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)  
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)  
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)  
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)  
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)  
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)  
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

**Redaksi Pelaksana:**

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)  
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)  
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)  
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)  
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)  
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)  
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)  
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

**Penerbit:** Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

**Alamat:** Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.  
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,  
E-mail: [jtep@ipb.ac.id](mailto:jtep@ipb.ac.id) atau [jurnaltep@yahoo.com](mailto:jurnaltep@yahoo.com)  
Website: [web.ipb.ac.id/~jtep](http://web.ipb.ac.id/~jtep) atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

**Rekening:** BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

**Percetakan:** PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

---

## Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaan (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 3 Desember 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. I Made Supartha, MS.,PhD (Fakultas Teknologi Pertanian, Udayana), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Hj, Nurpilihan Bafdal, MSc (Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, PhD (Fakultas Teknik, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Kamaruddin Abdullah, MSA (Universitas Darma Persada), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Andri Prima Nugroho, STP.,M.Sc (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Akhiruddin Maddu, MSi (Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP.,M.Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Universitas Sriwijaya), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Muhammad Faiz Syaib, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Roh Santoso, BW.,MT (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rudiati Evi Masitoh, STP.,M.Dev.Tech, (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Sri Rahayoe, STP.,MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada).

---

*Technical Paper*

## **Simulasi Distribusi Suhu pada Lubang Tanam Hidroponik Rakit Apung untuk Produksi Bawang Merah di Dataran Rendah Tropika**

*Simulation of Temperature Distribution on the Planting Hole of Floating Hydroponic for Shallot Production in Tropical Lowland*

Agus Ghautsun Niam, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: [ghautsun@apps.ipb.ac.id](mailto:ghautsun@apps.ipb.ac.id)

Herry Suhardiyanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: [herrysuhardiyanto@gmail.com](mailto:herrysuhardiyanto@gmail.com)

Kudang Boro Seminar, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: [seminarkudangboro@gmail.com](mailto:seminarkudangboro@gmail.com)

Akhiruddin Maddu, Departemen Fisika, Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Email: [akhiruddin@ipb.ac.id](mailto:akhiruddin@ipb.ac.id)

### **Abstract**

*This paper discusses the cooling effect of the root zone (the root zone cooling) at a floating hydroponic for the shallot production in tropical lowland by cooling the nutrient bath. The study was conducted at three different temperatures, i.e. low temperatures (8-10°C), medium temperature (13-15°C), and control (23-26°C) with variable responses that include wet weight, dry weight, number of bulbs and weight per bulb. Plant growth responses were analyzed using statistical methods Fisher's least significant difference (LSD), while the temperature distribution on a floating hydroponic was analyzed by computational fluid dynamics (CFD) simulation approach. CFD simulation approach was able to describe the temperature distribution on a floating hydroponic well, where the coefficients of determination ( $R^2$ ) for each treatment of low temperature, medium and controls are 0.983, 0.980 and 0.862 respectively. The results showed that the number of bulbs was the most responsive variable, where the induction of bulb formation at low temperature is more than 200% of the control temperature and more than 60% of the medium temperature.*

**Keywords:** *bulb formation; computational fluid dynamics; low temperature; root-zone cooling; number of bulbs.*

### **Abstrak**

Makalah ini membahas tentang efek pendinginan daerah perakaran (*root zone cooling*) pada hidroponik rakit apung untuk produksi bawang merah di dataran rendah tropika dengan pendinginan pada bak nutrient. Penelitian dilakukan dengan 3 suhu berbeda, yaitu pada suhu rendah (8-10°C), suhu sedang (13-15°C), dan kontrol (23-26°C) dengan variabel respon pertumbuhan tanaman bawang merah meliputi bobot basah, bobot kering, jumlah umbi dan bobot per umbi. Respon pertumbuhan tanaman dianalisis menggunakan metoda statistik *Fisher's least significant difference* (LSD), sedangkan distribusi suhu pada hidroponik rakit apung dianalisis melalui pendekatan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD). Pendekatan simulasi CFD mampu menggambarkan sebaran suhu pada hidroponik rakit apung dengan baik dimana koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk masing-masing perlakuan dari suhu rendah, sedang dan kontrol berturut-turut sebesar 0.983, 0.980 dan 0.862. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah umbi merupakan variabel yang paling responsif, dimana pada suhu rendah induksi pembentukan umbi bawang merah mencapai 200% lebih banyak dari pada suhu kontrol dan 60% lebih banyak dari suhu sedang.

**Kata kunci:** *computational fluid dynamics; jumlah umbi; pembentukan umbi; root-zone cooling; suhu rendah*

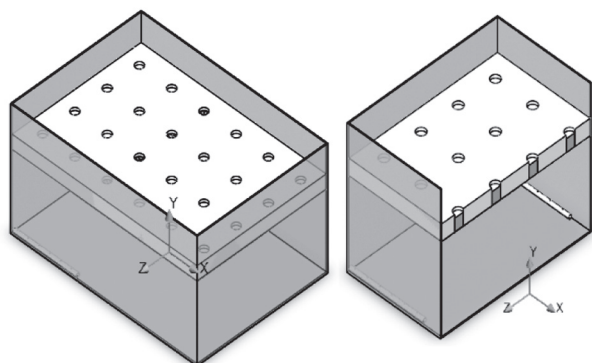
*Diterima: 19 Desember 2016; Disetujui: 25 April 2017*

## Pendahuluan

Bawang merah merupakan tanaman yang sangat tergantung pada kondisi iklim (Suwandi, 2014), dimana produksi bawang merah di Indonesia masih mengenal istilah musiman (*in season* dan *off-season*). Hal ini tentu memiliki dampak negatif terhadap stabilitas rantai pasok bawang nasional seperti fluktuasi harga yang melonjak dan terjadi setiap tahun. Oleh karena itu, perlu adanya upaya produksi bawang merah alternatif yang tidak bergantung pada iklim, salah satunya yaitu dengan rekayasa suhu pada iklim mikro tanaman bawang.

Rekayasa iklim mikro tanaman di dataran rendah tropika umumnya dilakukan pada zona terbatas, yaitu dengan penerapan pendinginan terbatas di daerah perakaran tanaman, atau dikenal dengan istilah *root-zone cooling* (RZC). Penerapan RZC di daerah tropika terbukti mampu meningkatkan produktivitas selada (Cometti, Bremenkamp, Galon, Hell, & Zanotelli, 2013), dan jumlah umbi kentang mini (E. Sumarni, 2013). Selain itu, rekayasa suhu juga terbukti berpengaruh kuat terhadap kualitas pertumbuhan tanaman sayuran (Malcolm, Holford, Mcglasson, Conroy, & Barchia, 2007; Moorby & Graves, 1979; Thompson, Langhans, Both, & Albright, 1998) mulai dari respirasi dan fotosintesis (J He, Lee, & Dodd, 2001; Jie He, Austin, & Lee, 2010; Jie & Kong, 1998; Yong, Jing, Biao, & Zhu-jun, 2014), respon fisiologi tanaman (Yan, Duan, Mao, Li, & Dong, 2013), meningkatnya *uptake* nutrisi pada akar (Jie He et al., 2010) maupun *enzymatical driven* untuk menginisiasi pembentukan individu baru tanaman (C S Mauk & Langille, 1978; Pregitzer & King, 2005). Oleh karena itu, rekayasa suhu pada zona perakaran tanaman bawang merah merupakan upaya strategis dalam rangka peningkatan produksi bawang merah dengan mewujudkan alternatif sumber produksi baru.

Dalam penelitian ini, kami mengkaji efek RZC pada hidroponik rakit apung terhadap pertumbuhan bawang merah di dataran rendah tropika dengan mendinginkan larutan nutrisi di dalam bak rakit apung. Selain itu, makalah ini juga menyajikan analisis performa penerapan RZC pada hidroponik rakit apung yang diilustrasikan dengan visualisasi sebaran suhu di lubang tanam melalui pendekatan



Gambar 1. Geometri bak rakit apung.

simulasi berbasis CFD. Dari hasil kajian diharapkan dapat menjadi informasi penting terkait penerapan paket teknologi sistem RZC pada hidroponik rakit apung yang tepat guna untuk pertumbuhan bawang merah di dataran rendah tropika.

## Metodologi

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lapangan Siswadi Soepardjo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Pelaksanaan penelitian berlangsung pada bulan April 2015 sampai dengan September 2015.

### Varietas bawang merah

Varietas yang digunakan dalam penelitian ini adalah varietas Mentas dengan pertimbangan: 1) kemampuan adaptasi di dataran rendah tropika (6-85 mdpl), 2) masa panen yang cukup pendek (50-58 HST), 3) produktivitas umbi mencapai 7.10-27.58 ton/hektar. Selain itu, Mentas merupakan salah satu varietas bawang merah super yang sudah dikaji dan dirilis BALITSA (N. Sumarni, Suwandi, Gunaeni, & Putrasamedja, 2013).

### Alat dan instrumentasi

Peralatan dan instrumentasi yang digunakan terdiri dari stasiun cuaca (Davis 6162) untuk memonitoring kondisi cuaca, *hybrid recorder* tipe 48 *channels* (Yokogawa MV2000) dan termokopel tipe T untuk mengukur suhu, pompa air (merk Sanyo, 75 Watt tipe P-WH75), mesin pendingin (adam chiller; 1 pk 900 Watt), pH dan EC meter (Hanna combo) dan pipa pvc 0.5" yang dibungkus dengan insulator aluminium foil 2 mm. Proses komputasi untuk simulasi menggunakan interface Flow Simulation pada perangkat lunak Solidwork dengan melibatkan hardware computer core i7 (3 GHz speed, 8GB RAM). Analisis statistik untuk menentukan efek pendinginan terhadap variabel respon dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab 17.

### Ruang lingkup penelitian

Penelitian dilakukan di dalam rumah tanaman tipe *modified standard peak* dengan titik lokasi tepat pada 6°33'50.82" LS dan 106°43'37.91" BT, berada pada ketinggian 182.3 mdpl. Suhu udara disekitar rumah tanaman pada siang hari antara 31-40°C, dan 22-27°C pada malam hari. Kelembaban relatif (RH) mencapai 80-86% dengan intensitas curah hujan sebesar 1000-1500 mm/tahun.

### Prosedur penelitian

Penerapan RZC pada hidroponik rakit apung dilakukan pada 3 kondisi suhu berbeda, yaitu suhu rendah (antara 8-10°C), suhu sedang (13-15°C), dan suhu kontrol (23-26°C). Mesin pendingin

Tabel 1. Geometri bak rakit apung.

No.	Parameter	Satuan	Material		
			Bak Plastik	Styrofoam	Rockwool
1	suhu awal, $T_{awal}$	$^{\circ}\text{C}$	24	24	23.5
2	densitas, $\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	99.96	35	85
3	panas jenis, $C_p$	$\text{J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$	1336.8	1500	840
4	konduktivitas panas, $h$	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	0.041	0.030	0.5

(*chiller*) dan pompa hanya difungsikan disaat siang hari, yaitu pada pukul 09:00-15:00 WIB, sepanjang masa tanam. Proses pendinginan dilakukan secara sirkulasi nutrient dari bak rakit apung ke *chiller*. Bak rakit apung terbuat dari bahan plastic berukuran 86 x 60 x 42 cm yang dilengkapi penyangga tanaman berupa styrofoam setebal 5 cm. Diameter lubang tanam pada styrofoam sebesar 3.5 cm dengan jarak antar lubang 15 cm, sehingga pada luasan bak tersebut terdapat 24 lubang tanam. Pada masing-masing lubang diberikan *rockwool* untuk menyangga akar bawang merah. Ilustrasi bak rakit apung dalam bentuk geometri dan sketsa hidroponik rakit apung disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

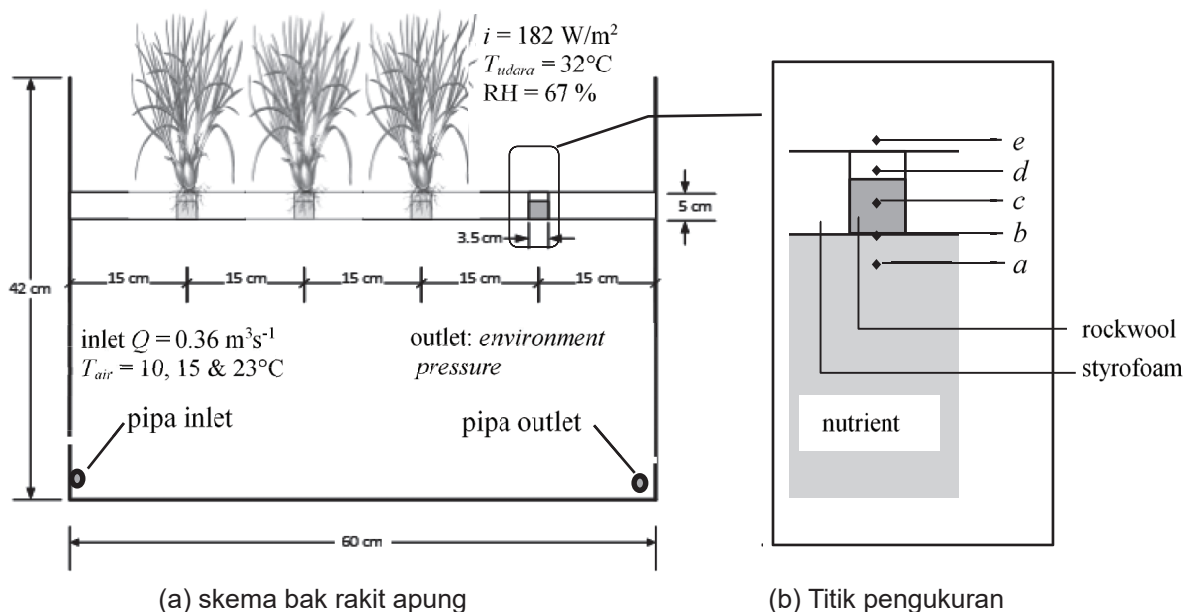
Kondisi lingkungan dimonitoring melalui stasiun cuaca, sedangkan sebaran suhu pada larutan nutrient di dalam bak rakit apung dimonitoring melalui *hybrid recorder* dengan pencatatan minimal per 30 menit selama masa tanam. Tanaman bawang merah dipanen pada umur 48 HST dan diukur respon variabelnya yang terdiri dari: jumlah umbi, berat basah, berat kering dan berat umbi bawang merah segar per siung. Selanjutnya variable respon ditentukan dengan analisis statistik melalui pendekatan model annova dan *Fisher's LSD* untuk mengilustrasikan efek pendinginan terhadap pertumbuhan tanaman bawang.

### Simulasi CFD

Tahap awal dalam melakukan simulasi adalah pendefinisian geometri terkait karakteristik termal komponen material yang ada di dalam bak rakit apung yaitu terdiri dari bak plastik, styrofoam, *rockwool*, air dan udara. Karakteristik termal setiap komponen tersebut masing-masing diwakili dengan parameter suhu awal, densitas, panas jenis dan konduktivitas panas. Nilai tersebut secara terperinci disajikan pada Tabel 1.

Selain itu, jenis aliran nutrient dalam pipa sirkulasi didefinisikan sebagai aliran homogen yang *incompressible* dengan debit sebesar  $Q = 0.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Kondisi awal suhu nutrient dalam simulasi ini adalah sama dengan kondisi tanpa pendinginan yaitu  $23^{\circ}\text{C}$ . Udara yang ada disekitar bak rakit apung tersebut bersuhu  $32^{\circ}\text{C}$ , sedangkan nilai RH sebesar 67%. Suhu tersebut cukup tinggi akibat adanya pengaruh radiasi matahari, yaitu sebesar  $i = 182 \text{ Wm}^{-2}$ .

Beberapa asumsi yang menjadi batasan dalam simulasi ini meliputi: 1) fenomena aliran pindah panas terjadi pada kondisi *steady state*, 2) tipe analisisnya eksternal, 3) sumber panas hanya berasal dari paparan radiasi matahari, 4) panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara maupun air tetap konstan selama simulasi, 5) konduktivitas panas berupa isotropis, 6) fluida yang terlibat terdiri



Gambar 2. Skema, kondisi awal dan titik pengukuran bak rakit apung.



dari air dan udara, namun tidak bercampur satu sama lain dengan batasan subdomain, 7) tidak ada perubahan fasa antara kedua material fluida yang terlibat sehingga tidak memperhitungkan uap air, dan terakhir 8) sifat karakteristik nutrient diwakili dengan sifat air secara umum.

Proses selanjutnya dalam simulasi CFD adalah pencarian solusi dengan penyelesaian skema numerik persamaan atur dinamika fluida. Skema numerik pada perangkat lunak *flow simulation Solidwork* menggunakan pendekatan *Cartesian mesh*, dimana diskritisasi persamaan numeriknya berdasarkan *finite volume method* (Molina-Aiz, Fatnassi, Boulard, Roy, & Valera, 2010). Secara umum, persamaan dasar dalam CFD terdiri dari hukum kekekalan massa, momentum dan energi (Boulard, Fatnassi, Majdoubi, & Bouirden, 2008; Sobachkin & Dumnov, 2013), dan pendekatan numerik untuk merepresentasikan prinsip kontinuitas massa dengan asumsi kondisi aliran yang *steady* dinyatakan dalam persamaan *Reynold-Average of the Navier-Stokes* (Benjamin & Roberts, 2007; Della Torre, Montenegro, Tabor, & Wears, 2014; Halder & Datta, 2012) yang dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i, i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i h}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \quad (3)$$

$$\text{dimana } H = h + \frac{u^2}{2}$$

Pada persamaan 1  $\rho$  merupakan massa jenis fluida ( $kg\ m^{-3}$ ),  $t$  menunjukkan waktu (*detik*),  $x$  adalah jarak pada koordinat kartesian ( $m$ ),  $u$  adalah kecepatan udara ( $ms^{-1}$ ), dan  $i, j$  adalah indeks koordinat kartesian. Pada persamaan 2  $\tau$  merupakan viskositas tensor akibat adanya tegangan geser yang dipengaruhi oleh sifat viskositas dinamik fluida yang terkandung di dalam media tanam/substrat, sedangkan  $S_i$  adalah gaya eksternal distribusi massa akibat adanya sifat resistansi fluida seperti pada media porous atau interaksi fluida dengan benda solid. Persamaan 3 menunjukkan bahwa  $h$  adalah panas elthalpy,  $q_i$  adalah difusivitas panas flux dan  $Q_H$  merupakan panas spesifik yang diserap bahan per satuan volume. Fluks panas didefinisikan oleh persamaan 4.

$$q_i = \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}, i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

Nilai konstanta  $\sigma_c$  disini adalah 0.9, sedangkan  $Pr$  adalah bilangan Prandtl.

Untuk panas konduksi pada media solid

diekspresikan dengan persamaan 5

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + QH \quad (5)$$

dimana  $e$  merupakan energi internal spesifik yang dinyatakan dari  $e = c.T$ ,  $c$  adalah panas jenis atau spesifik, dan  $\lambda_i$  adalah nilai eigen dari konduktivitas panas tensor. Untuk medium yang bersifat isotropis, nilai eigen pada masing-masing koordinat akan bersifat sama, yaitu  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_i$ .

Radiasi didefinisikan dengan pendekatan model transfer radiasi diskrit atau dikenal dengan DTRM (*Discrete Transfer Radiation Model*) yang diekspresikan dengan persamaan 6.

$$\frac{dl}{ds} + aI = \frac{a\sigma T^4}{\pi} \quad (6)$$

dimana  $s$  merupakan jarak,  $a$  adalah koefisien absorpsi gas,  $I$  adalah intensitas dan  $\sigma$  adalah tetapan Stefan-Boltzmann ( $5.672 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$ ).

Proses solving merupakan penyelesaian persamaan yang sudah didiskritisasi hingga mencapai kondisi konvergen. Konvergensi menunjukkan stabilitas atau konsistensi dari hasil perhitungan pada setiap iterasi. Penentuan batasan kondisi, asumsi, pendefinisian karakteristik thermal, dan diskritisasi berkontribusi terhadap tingkat akurasi dalam simulasi.

Terakhir dalam simulasi CFD adalah penyajian data hasil simulasi baik berupa kontur, garis, sebaran vector, maupun animasi sehingga dapat dikatakan fleksibilitas yang disajikan dalam simulasi dengan menggunakan CFD, memungkinkan untuk melakukan beberapa kajian berbeda dengan cepat, akurat dan hemat biaya serta waktu.

## Hasil dan Pembahasan

### Performa komputasi

Dalam simulasi ini proses iterasi komputasi parameter suhu fluida maupun solid, *heat flux* dan koefisien pindah panas dengan menggunakan CPU berkecepatan sekitar 3 GHz membutuhkan waktu sekitar 35545 detik (*CPU time*), sedangkan jumlah iterasi sampai kondisi konvergen mencapai 1425 iterasi. Jadi rata-rata untuk satu kali iterasi (semua parameter yang dihitung) membutuhkan waktu sekitar 25 detik. Proses iterasi tersebut dilakukan secara parallel pada 8 CPU dengan kapasitas memory 8 GB RAM.

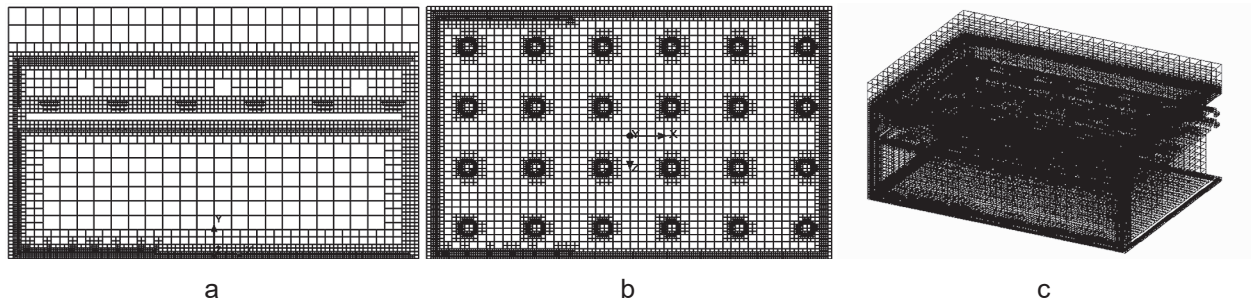
Total mesh yang terbentuk dengan ukuran dimensi ( $p \times l \times t$ ) adalah  $0.897\ m \times 0.539\ m \times 0.629\ m$  dan dasar pembagian mesh ( $x = 24$  mesh,  $y = 16$  mesh, dan  $z = 18$  mesh) adalah sebanyak 159288 mesh. Proses diskritisasi mesh tersebut hanya membutuhkan waktu 1 menit 30 detik. Dari hasil diskritisasi, bentuk mesh seragam yaitu cubicus atau cuboid dengan 3 level ukuran seperti terdapat

pada Gambar 3.

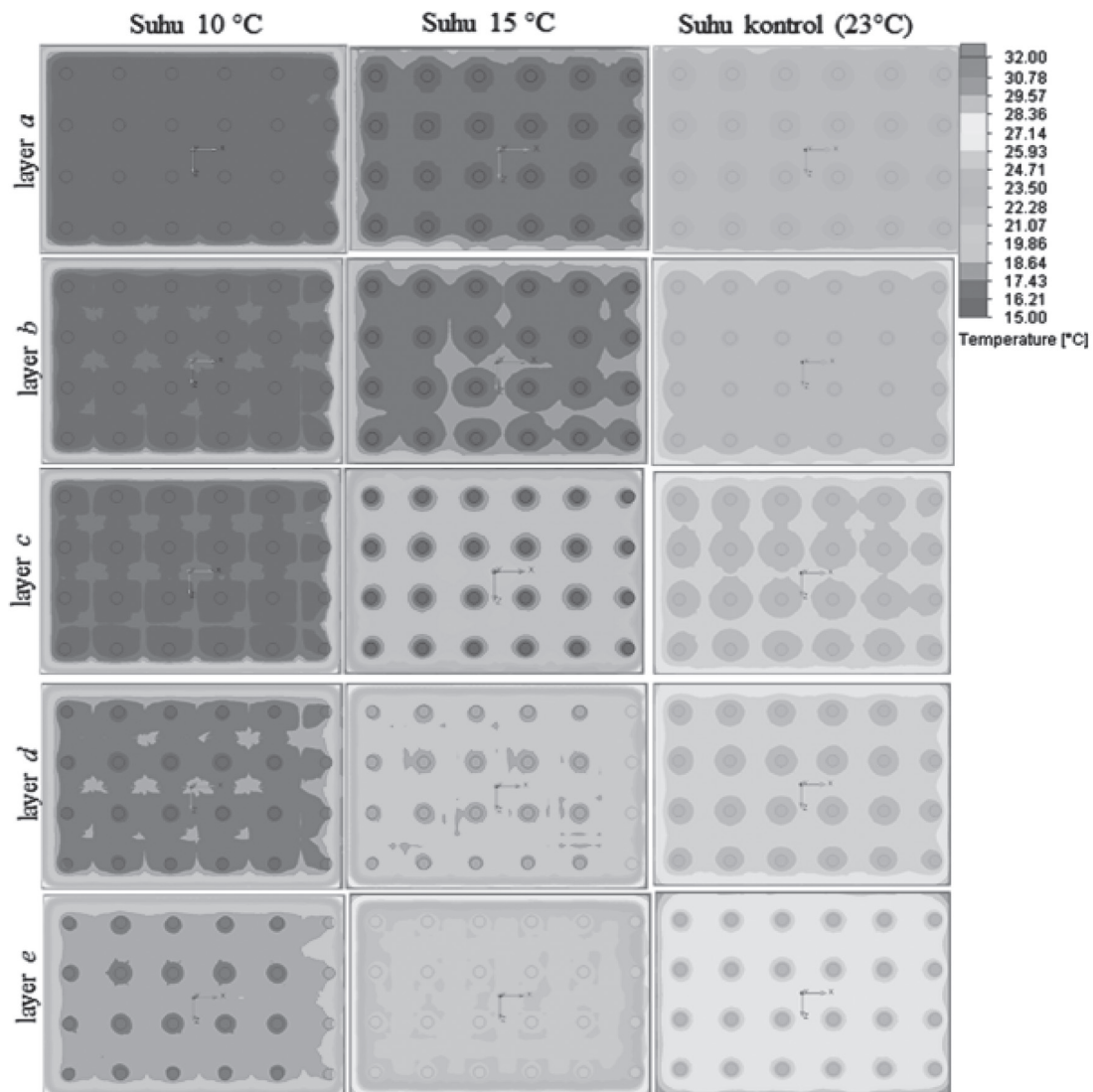
Pada Gambar 3 tampak bahwa ukuran mesh terbesar terdapat pada bagian tengah bak rakit apung dimana interaksi antar fluida diprediksi relatif homogen dibandingkan dengan interaksi fluida dengan solid pada area yang berdekatan dengan dinding bak ataupun lubang tanam. Hal tersebut terjadi karena biasanya zona yang bersentuhan dengan komponen solid sering terjadi perubahan parameter fisik seperti friksi dan gaya geser, juga tumbukan dan momentum sehingga perlu adanya sarana untuk menangkap perubahan tersebut.

**Distribusi suhu bak rakit apung**

Suhu daerah perakaran tanaman pada bak rakit apung diwakili oleh 5 titik secara vertikal (titik *a*, *b*, *c*, *d* dan *e*) tepat di tengah-tengah lubang tanam. Masing-masing titik berjarak vertikal sebesar 2 cm, dimana titik *b* menjadi acuan titik 0 cm. Titik *a* (-2 cm) mewakili nilai suhu nutrient yang didinginkan dengan menggunakan mesin *chiller*, sedangkan titik *b* (0 cm) mewakili nilai perbatasan permukaan nutrient terhadap bahan penyangga akar yaitu berupa *rockwool*. Titik *c* (2 cm) merupakan pusat bahan penyangga akar dimana adanya kandungan



Gambar 3. Mesh fluida pada bak tanaman: a) tampak samping, b) tampak atas, dan c) tampak isometris.



Gambar 4. Distribusi suhu pada bak tanaman tampak atas pada masing-masing layer.



air di titik tersebut sangat kuat ditentukan oleh daya kapilarisasi bahan *rockwool*. Titik *d* (4cm) mencerminkan posisi dimana pusat akar dan umbi berada. Kemudian titik *e* (6 cm) mewakili nilai suhu udara yang kemungkinan besar masih kuat dipengaruhi oleh nilai suhu nutrient. Oleh karena itu, arah vertical dianggap sesuai dengan arah fenomena pindah panas yang dominan mempengaruhi zona perakaran tanaman. Gambaran distribusi suhu pada masing-masing chamber untuk setiap perlakuan disajikan pada Gambar 4.

Pada Gambar 4. perlakuan suhu rendah, layer *b* masih didominasi oleh suhu set point. Suhu tengah pada lubang tanam di layer *b* masih berkisar 10.7-11.3 °C, sedangkan pada layer *c* meningkat menjadi 11.6°C. Kemudian untuk layer *d* dan *e* berturut turut meningkat signifikan, yaitu 14.8 °C dan 16.7°C. Lapisan *d* dan *e* merupakan lapisan udara di atas permukaan styrofoam. Terlihat bahwa perubahan suhu cukup signifikan dengan jarak vertical yang sama yaitu 2 cm. Hal ini terjadi karena di zona tersebut sudah dipengaruhi oleh faktor konveksi dari suhu udara luar. Namun demikian, suhu pada zona *d* dan *e* masih merepresentasikan nilai suhu untuk daerah dataran tinggi yang biasanya berkisar 16-18°C (Hilman, Rosliani, & Palupi, 2014). Dengan demikian layer yang masih memungkinkan untuk proses pendinginan yang identik dengan proses vernalisasi (< 12°C) terdapat pada layer *a*, *b* dan *c* pada perlakuan suhu rendah. Akan tetapi untuk pembentukan umbi, zona pada layer *d* dan *e* juga termasuk pada rentang syarat cukup suhu dalam

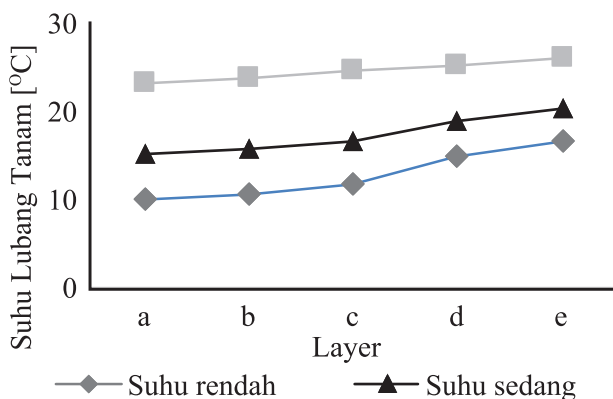
pertumbuhan bawang merah yaitu sekitar 15-17°C (Brewster, 2008; Fita, 2004).

Perlakuan suhu sedang juga mengalami peningkatan suhu di setiap layernya secara berturut turut (*a*, *b*, *c*, *d* dan *e*) adalah 15.2°C, 15.6°C, 16.6 °C, 18.8°C dan 20.3°C.. Berdasarkan referensi syarat tumbuh bawang merah yang dipengaruhi oleh suhu, perolehan tersebut, masih sesuai dan dapat berpengaruh positif terhadap proses pembentukan umbi bawang merah, perkembangan umbel dan pemekaran bunga, serta dapat mengkompensasi iklim dataran tinggi (Brewster, 2008; Fita, 2004; Hilman et al., 2014).

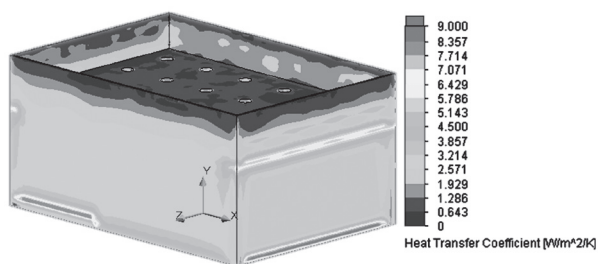
Pada perlakuan suhu kontrol, juga terjadi peningkatan suhu sejalan dengan peningkatan lapisan. Secara berturut-turut dari layer *a* hingga layer *e*, peroleh suhu hasil simulasi di dalam lubang tanam adalah: 23.2 °C, 23.7 °C, 24.5 °C, 25.2°C dan 25.9°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa air dengan tanpa perlakuan pendinginan mampu meredam efek panas dari udara lingkungan sekitar sebesar 32 °C. Relasi peningkatan suhu pada lubang tanam sesuai dengan peningkatan layer pada bak tanaman hidroponik rakit apung, disajikan pada Gambar 5.

Koefisien pindah panas merupakan koefisien proporsionalitas antara fluks panas dan perbedaan suhu permukaan bak tanaman yang bersinggungan dengan udara. Adanya perbedaan suhu antara luas permukaan bak tanaman yang kontak dengan udara menjadi penggerak utama perpindahan panas. Tentu pindah panas yang dimaksudkan adalah pindah panas secara konveksi antara udara dengan bidang permukaan luar bak tanaman. Dengan kata lain, sebaran nilai koefisien pindah panas pada permukaan luar bak tanaman mencerminkan intervensi suhu udara lingkungan terhadap bak tanaman yang menjadi ruang pendinginan bagi lingkungan akar tanaman. Gambaran distribusi koefisien pindah panas pada bidang permukaan luar bak tanaman disajikan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan sebaran koefisien pindah panas pada permukaan luar bak tanaman lebih tinggi dibandingkan dengan sebaran yang terjadi pada bidang luar permukaan styrofoam. Pada permukaan luar bak tanaman nilai koefisien pindah panas umumnya sekitar 2.00 sampai dengan 3.86 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Bahkan pada zona tertentu nilainya mencapai > 5.79 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Akan tetapi pada permukaan styrofoam nilai koefisien pindah panas rata-rata sekitar 0.64 sampai 2.00 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa rasio pindah panas konveksi dan konduksi normal terhadap bidang batas pada zona dinding luar bak lebih tinggi dibandingkan dengan zona permukaan atas styrofoam. Padahal zona permukaan styrofoam memiliki intervensi paparan radiasi matahari yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona dinding luar bak tanaman.



Gambar 5. Peningkatan suhu pada lubang tanam secara vertikal.



Gambar 6. Sebaran koefisien pindah panas pada permukaan luar bak tanaman tampak isometris.

Perbedaan nilai koefisien pindah panas antara zona dinding luar bak tanaman dengan permukaan juga dipengaruhi oleh nilai konduktifitas panas bahan, dimana styrofoam sebesar  $0.030 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  dan bak tanaman sebesar  $0.041 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Namun perbedaan koefisien pindah panasnya dapat mencapai 2 kali lipat atau lebih. Artinya selain faktor konduktif normal juga faktor panas konvektif yang mempengaruhi nilai sebaran pindah panas. Sehingga dapat diperkirakan bahwa efek pendinginan nutrient juga berkontribusi terhadap pindah panas yang terjadi di zona permukaan styrofoam bagian luar. Melalui konvektif normal pada lubang tanam, nilai suhu udara di permukaan luar styrofoam menjadi lebih rendah dibandingkan udara lingkungan.

#### Validasi hasil simulasi

Validasi dilakukan untuk mengukur nilai ketepatan antara hasil simulasi dengan hasil ukur, sehingga dapat menjadi acuan justifikasi. Parameter validasi dalam simulasi ini hanya berupa sebaran suhu dimana sebaran tersebut diwakili oleh lima titik secara vertical di salah satu lubang tanam untuk setiap bak tanam. Hasil perbandingan antara nilai suhu hasil simulasi dengan nilai suhu hasil pengukuran disajikan pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan relasi hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk masing-masing perlakuan. Pada perlakuan suhu rendah, relasi hasil simulasi dengan hasil ukur memiliki nilai gradient intersep sebesar 0.9832 dan determinasi korelasi sebesar  $R^2$  sebesar 0.987. Nilai gradient intersep yang mendekati 1 menunjukkan relasi yang kuat antara pengukuran dengan hasil simulasi. Oleh karena itu, pendekatan melalui simulasi CFD ini dapat dinyatakan baik dan tepat. Demikian juga dengan perlakuan suhu sedang, gradient intersep

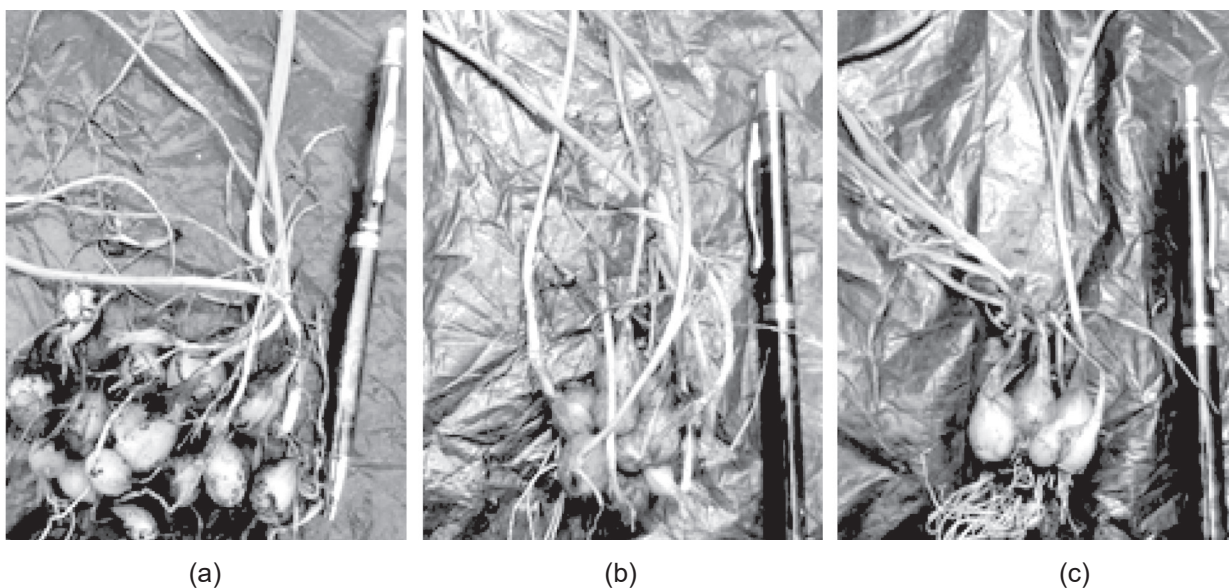
yang diperoleh sebesar 1.0196 dengan  $R^2$  sebesar 0.98. Sedangkan pada perlakuan control gradient intersep yang diperoleh sebesar 1.0122 dan  $R^2$  sebesar 0.862.

#### Efek pendinginan RZC terhadap pertumbuhan tanaman bawang merah

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa respon jumlah umbi, berat kering dan berat basah umbi berpengaruh secara signifikan pada signifikansi level  $\alpha = 0:05$ . Respon efek pendinginan berbeda nyata pada variable jumlah umbi dan bobot kering, yaitu suhu rendah merupakan suhu terbaik dengan nilai rata-rata berturut-turut sebesar  $12.10 \pm 3.54$  siung/sample dan  $2.59 \pm 1.23$  gram/umbi. Secara individu, hasil maksimal pada perlakuan suhu rendah mencapai 21 siung, sedangkan pada perlakuan suhu sedang mencapai 15 siung dan pada perlakuan suhu kontrol maksimal hanya 9 siung. Contoh hasil pembentukan umbi pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 8.

Pembentukan umbi (*bulbs formation*) pada suhu yang rendah menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan suhu yang tinggi dan memiliki korelasi positif dari perlakuan pendinginan. Menurut (Craighton S. Mauk & Langille, 1978), hal tersebut dipicu oleh enzim *cis-zeatin riboside* yang muncul secara natural akibat perlakuan pendinginan. Koheren dengan hasil kajian ini, perlakuan suhu rendah menghasilkan jumlah umbi 2 kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan suhu control dan sekitar 60% lebih banyak dibandingkan hasil perlakuan suhu medium.

Selain itu, pendinginan pada nutrient juga berkorelasi kuat terhadap respon bobot kering, dimana perlakuan suhu rendah memiliki kehilangan kadar air setelah dikeringkan sebesar 80.71%, sedangkan perlakuan suhu medium mencapai



Gambar 8. Contoh hasil pembentukan umbi pada masing-masing perlakuan; (a) suhu rendah, (b) suhu medium, dan (c) suhu control.

86.71%, dan pada perlakuan suhu control mencapai 87.32%. Hal ini mengindikasikan bahwa total padatan terlarut bawang merah berkorelasi positif terhadap perlakuan pendinginan. Sebagaimana dinyatakan oleh (Yan et al., 2013) bahwa zat gula terlarut dan enzim antioksidan pada tanaman mentimun yang dibudidayakan secara hidroponik dengan perlakuan suhu perakaran rendah (12°C) lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan suhu sedang (20°C). Akan tetapi, untuk variable bobot setiap umbinya berbeda nyata pada suhu kontrol dan berkorelasi negative terhadap pendinginan dengan rata-rata bobot  $1.18 \pm 0.47$  (suhu rendah),  $1.17 \pm 0.69$  (suhu sedang), dan  $3.04 \pm 3.15$  (suhu kontrol). Sedangkan pada variable bobot segar, efek RZC tidak berbeda nyata.

### Simpulan

Pendekatan simulasi CFD mampu menggambarkan sebaran suhu pada hidroponik rakit apung dengan baik. Validasi hasil simulasi menunjukkan nilai yang sangat baik, yaitu koefisien determinasi untuk masing-masing perlakuan dari suhu rendah, sedang dan control berturut turut adalah 0.983, 0.980 dan 0.862. Efek RZC terhadap pertumbuhan bawang merah juga telah dikaji, dimana suhu rendah adalah suhu terbaik untuk induksi pembentukan umbi, yaitu menghasilkan jumlah umbi 200% lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan suhu kontrol dan sekitar 60% lebih banyak dibandingkan hasil perlakuan suhu medium.

### Daftar Pustaka

- Benjamin, S.F., and C.A. Roberts. 2007. Three-dimensional modeling of NO<sub>x</sub> and particulate traps using CFD: A porous medium approach. *Applied Mathematical Modelling* 31(11): 2446–2460. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2006.10.015>
- Boulard, T., H. Fatnassi, H. Majdoubi, and L. Bourden. 2008. Airflow and microclimate patterns in a one-hectare canary type greenhouse: An experimental and CFD assisted study. *Acta Horticulturae*, 801 (2): 837–845. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.01.002>
- Brewster, J.L. 2008. Onions and other vegetable alliums. 2ndEd. (Crop production science in horticulture series;15). Biddles Ltd. King's Lynn. ISBN: 978 1 84593 399 9. <http://doi.org/10.1079/9781845933999.0000>
- Cometti, N.N., D.M. Bremenkamp, K. Galon, L.R. Hell, and M.F. Zanotelli. 2013. Cooling and concentration of the nutrient solution in hydroponic lettuce crop. *Horticultura Brasileira* 31 (2): 287–292.
- Fita, G.T. 2004. Manipulation of flowering for seed production of shallot (*Allium cepa L. var. ascalonicum* Backer). (Thesis). The university of Hannover.
- Halder, A., and A.K. Datta. 2012. Surface heat and mass transfer coefficients for multiphase porous media transport models with rapid evaporation. *Food and Bioprocess Processing* 90 (3): 475–490. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.10.005>
- He, J., P.T. Austin, and S.K. Lee. 2010. Effects of elevated root zone CO<sub>2</sub> and air temperature on the photosynthetic gas exchange, nitrate uptake, and total reduced nitrogen content in aeroponically grown lettuce plants. *Journal of Experimental Botany* 61 (14): 3959–3969. <http://doi.org/10.1093/jxb/erq207>
- He, J., S.K. Lee, and I.C. Dodd. 2001. Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions : alleviation by root-zone cooling. *Journal of Experimental Botany*, 52 (359):1323–1330.
- Hilman, Y., R. Rosliani, and E. Palupi. 2014. The effect of altitude on flowering, production, and quality of true shallot seed. *Jurnal Hortikultura*, 24(2): 154–161.
- Jie, H. and L.S. Kong. 1998. Growth and photosynthetic characteristics of lettuce (*Lactuca sativa L.*) under fluctuating hot ambient temperatures with the manipulation of cool root-zone temperature. *Journal of Plant Physiology*, 152(45): 387–391. [http://doi.org/10.1016/S0176-1617\(98\)80252-6](http://doi.org/10.1016/S0176-1617(98)80252-6)
- Malcolm, P., P. Holford, B. Mcglasson, J. Conroy, and I. Barchia. 2007. Growth and its partitioning in Prunus rootstocks in response to root zone temperature. *Scientia Horticulturae*, 112: 58–65. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.003>
- Mauk, C.S. and A.R. Langille. 1978. Physiology of Tuberization in *Solanum tuberosum L.* *Plant Physiology*, 62 (3): 438–442.
- Molina-Aiz, F.D., H. Fatnassi, T. Boulard, J.C. Roy, and D.L. Valera. 2010. Comparison of finite element and finite volume methods for simulation of natural ventilation in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72 (2): 69–86. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2010.03.002>
- Moorby, J. and C.J. Graves. 1979. Root and air temperature effects on growth and yield of tomatoes and lettuce. *Symposium on Research on Recirculating Water Culture* 98.
- Pregitzer, K.S. and J.S. King. 2005. Effects of Soil Temperature on Nutrient Uptake. In *Nutrient acquisition by plants* Vol. 181, pp. 277–310. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [http://doi.org/10.1007/3-540-27675-0\\_10](http://doi.org/10.1007/3-540-27675-0_10)
- Sobachkin, A., and G. Dumnov. 2013. Numerical Basis of CAD-Embedded CFD. *NAFEMS World Congress* 2013.
- Sumarni, E. 2013. Pengembangan root-zone cooling system untuk produksi benih kentang secara aeroponik di dataran rendah tropika basah.

- (Disertasi). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor. Retrieved from <http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/66681/2013esu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sumarni, E., H. Suhardiyanto, K.B. Seminar, and S.K. Saptomo. 2013. Temperature distribution in aeroponics system with root zone cooling for the production of potato seed in tropical lowland. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(6):799–804.
- Sumarni, N., Suwandi, N. Gunaeni, and S. Putrasamedja. 2013. Effects of Varieties and GA 3 Application Methods on Flowering. *Journal of Horticulture*, 23(2):153–163.
- Suwandi. 2014. *Budi Daya Bawang Merah di Luar Musim*. 1stEd. Jakarta: IAARD Press.
- Thompson, H.C., R.W. Langhans, A.J. Both, and L.D. Albright. 1998. Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system. *Journal of American Society Horticulture Science*, 123(3): 361–364.
- Torre, A.D., G. Montenegro, G.R. Tabor, and M.L. Wears. 2014. CFD characterization of flow regimes inside open cell foam substrates. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 50: 72–82. <http://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2014.05.005>
- Yan, Q.Y., Z.Q. Duan, J.D. Mao, X. Li, and F. Dong. 2013. Low Root Zone Temperature Limits Nutrient Effects on Cucumber Seedling Growth and Induces Adversity Physiological Response. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(8):1450–1460. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60549-3](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60549-3)
- Yong, H.E., Y. Jing, Z.H.U. Biao, and Z.H.U. Zhu-jun. 2014. Low root zone temperature exacerbates the ion imbalance and photosynthesis inhibition and induces antioxidant responses in tomato plants under salinity. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(1):89–99. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60586-9](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60586-9).

Halaman ini sengaja dikosongkan