

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 7, No. 1, April 2019



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. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, berisi 15 naskah untuk setiap nomornya baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Mulai edisi ini ada perubahan dan penambahan anggota Dewan Redaksi jurnal berdasarkan SK Nomor 01/ KEP/KP/I/2019 yang dimaksudkan untuk meningkatkan pelayanan dan pengelolaan naskah sehingga penerbitannya tepat waktu. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi 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 Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi
Pertanian, IPB Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti ((Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc
Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, Institut Pertanian Bogor)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
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 atau jurnaltep@yahoo.com Website: 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 menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 7 No. 1 April 2019. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Bambang Haryanto, MS. (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Dr.Ir. Hermantoro, MS. (INSTIPERYogyakarta), Dr.Ir. I Wayan Astika, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lenny Saulia, STP, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP, M.Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Yuli Suharnoto, M.Eng (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Roh Santoso Budi Waspodo, MT (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Arief Sabdoyuwono, M.Sc (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr. Radi, STP, M.Eng. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Andri Prima Nugroho, STP, M.Sc, Ph.D. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Sri Rahayoe, STP, MP. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Diding Suhandy, STP, M.Agr, Ph.D (Jurusan Teknik Pertanian. Universitas Lampung), Eni Sumarni, STP, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Dr. Noor Roufiq Ahmadi, STP, MP (Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura), Dr. Kurniawan Yuniarto, STP, MP (Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram), Dr. Andasuryani, STP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas).

Technical Paper

Sebaran Suhu Daerah Perakaran pada Sistem Hidroponik untuk Budidaya Tanaman Cabai di Kawasan Tropika

Root-zone Temperature Distribution in Hydroponic System for Chili Cultivation in the Tropics

Wenny Amaliah, Program Studi Teknik Mesin dan Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: mamal.ny@gmail.com
Herry Suhardiyanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: herrysuhardiyanto@yahoo.com
Muhamad Syukur, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: muhsyukur@ipb.ac.id

Abstract

Chili production in Indonesia is very unstable because most of chili production areas are open field that are quite influenced by weather. Therefore, it is important to develop hydroponic technology for chili cultivation under greenhouse. As energy-efficient cooling system for tropical greenhouses, root zone cooling could be applied by flowing cooled water in pipes that are buried in the root zone. Determining the space between the pipes for flowing the cooled water requires temperature distribution in the root zone. The objective of this research were to find out the temperature distribution in the root zone, to simulate temperature distribution with based on computational fluid dynamics, and to validate the simulated root zone temperature. The results showed that an uniform horizontal temperature distribution during the day time and night time. Uniform vertical temperature distribution were also noted during the night time. There were quite wide temperature variation in the root zone during the day time, vertically. The validation results showed that temperature distribution in the root zone could be predicted accurately by computational fluid dynamics as indicated by the value of R^2 obtained at 0.84 and the linear equation is y axis approaches the value of x axis. Therefore, the predicted temperature distribution would be very useful in determining zone cooling system for chili cultivation in hydroponic system under tropical greenhouse.

Keyword: chili, computational fluid dynamics, root zone cooling

Abstrak

Produksi cabai di Indonesia sangat tidak stabil karena sebagian besar areal budidaya tanaman cabai dilakukan di lahan terbuka yang sangat dipengaruhi oleh cuaca. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan teknologi hidroponik untuk budidaya tanaman cabai di dalam rumah tanaman. Metode pendinginan yang efisien dari segi konsumsi energi untuk rumah tanaman di daerah tropika salah satunya adalah pendinginan daerah perakaran. Pendinginan daerah perakaran dapat diterapkan dengan mengalirkan air dingin di dalam pipa yang dibenamkan dalam daerah perakaran tersebut. Penentuan jarak antar pipa pendingin tersebut memerlukan sebaran suhu di daerah perakaran tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi sebaran suhu daerah perakaran, melakukan simulasi suhu daerah perakaran menggunakan *computational fluid dynamics*, dan melakukan validasi hasil simulasi sebaran suhu daerah perakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran suhu daerah perakaran secara horizontal ternyata seragam pada waktu siang maupun malam hari. Data sebaran suhu daerah perakaran yang seragam secara vertikal juga diperoleh pada waktu malam hari. Sebaran suhu daerah perakaran secara vertikal pada siang hari ternyata cukup bervariasi. Validasi menunjukkan bahwa sebaran suhu daerah perakaran dapat diprediksi dengan baik menggunakan *computational fluid dynamics* yang ditunjukkan dengan nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0.84 dan diperoleh persamaan y yang mendekati nilai x. Oleh karena itu, suhu daerah perakaran hasil prediksi dapat digunakan untuk perancangan *zone cooling system* budidaya tanaman cabai secara hidroponik di dalam rumah tanaman.

Kata kunci: cabai, *computational fluid dynamics*, pendinginan daerah perakaran

Diterima: 21 September 2018; Disetujui: 26 Desember 2018

Pendahuluan

Cabai merupakan salah satu komoditas pertanian yang sering kali mengalami fluktuasi harga yang cukup besar, sehingga menimbulkan berbagai implikasi yang kurang menguntungkan bagi perekonomian Indonesia. Cabai merupakan komoditas yang memiliki harga yang sangat elastis terhadap pasokan (Rusono *et al.* 2013), sehingga harga cabai sangat ditentukan oleh penawaran dan permintaan (Farid dan Subekti 2012). Kondisi tersebut terlihat pada Gambar 1 yang menunjukkan hubungan nilai produksi dan harga cabai pada tahun 2014.

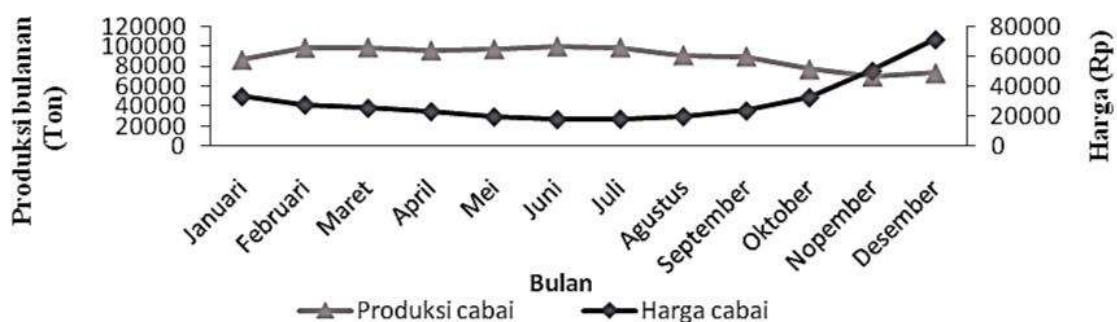
Kondisi ketidakstabilan harga cabai karena jumlah produksi yang tidak stabil tersebut dapat menjadi lebih buruk jika ditambah dengan adanya permintaan yang tidak sesuai dengan penawaran. Sementara itu, konsumsi cabai di Indonesia sebagian besar adalah dalam bentuk cabai segar (Nauli 2016) sehingga peran industri pengolahan cabai dalam menstabilkan pasokan cabai sangat terbatas, maka diperlukan teknologi yang memungkinkan dilakukannya upaya menjaga kontinuitas produksi cabai sepanjang tahun untuk memenuhi kebutuhan cabai segar tersebut. Beberapa langkah yang dapat ditempuh yakni dengan perbaikan manajemen produksi dan perbaikan teknis budidaya (Rusono *et al.* 2013). Hal ini mengingat yang menjadi salah satu penyebab fluktuasi pasokan cabai adalah hampir semua budidaya tanaman cabai dilakukan di lahan terbuka sehingga sangat dipengaruhi oleh cuaca. Nauli (2016) menyatakan bahwa diperlukan pengembangan sistem tanam cabai di luar musim (*off-season*).

Teknologi hidroponik dapat menjadi solusi terbaik untuk memecahkan masalah tersebut karena terbukti dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas panen beberapa jenis tanaman dalam waktu yang direncanakan (Suhardiyanto 2009). Moekasan dan Prabaningrum (2012) melaporkan bahwa pertumbuhan tanaman cabai di dalam rumah tanaman lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang dibudidayakan di lahan terbuka, serta teknologi rumah tanaman juga memberikan keuntungan yang lebih tinggi dibandingkan budidaya di lahan terbuka sehingga layak direkomendasikan untuk budidaya tanaman cabai.

Data dasar yang diperlukan dalam pengembangan teknologi hidroponik untuk budidaya tanaman cabai di kawasan beriklim tropika belum banyak dilaporkan. Hal tersebut antara lain karena penerapan teknologi hidroponik yang lebih tepat dilakukan untuk budidaya tanaman di dalam rumah tanaman masih menghadapi kendala tingginya suhu udara di dalam rumah tanaman. Daerah dengan jenis iklim tropika, suhu udara di dalam rumah tanaman jauh lebih tinggi dibandingkan dengan suhu optimum bagi tanaman cabai, terutama pada siang hari ketika cuaca cerah. Hasil penelitian Niam (2011) menunjukkan bahwa suhu udara di dalam rumah tanaman masih di atas suhu optimum untuk tanaman, sehingga diperlukan suatu upaya pendinginan di dalam rumah tanaman. Suhu lingkungan tanaman cabai dibawah 25°C atau diatas 30°C dapat mengganggu proses pembungaan (Siemonsma and Piluek 1994).

Energi yang diperlukan untuk mendinginkan seluruh volume udara di dalam rumah tanaman cukup besar, sehingga dikembangkanlah *zone cooling system* sebagai *energy efficient cooling system* untuk rumah tanaman (Suhardiyanto 2009). *Zone cooling* dapat dilakukan dengan cara menghembuskan udara dingin di sekitar tanaman atau dengan mengalirkan larutan nutrisi yang sudah didinginkan ke daerah perakaran tanaman (Matsuoka dan Suhardiyanto 1992). Selain itu, *zone cooling* dapat juga dilakukan dengan mengalirkan air dingin di dalam pipa yang ditanamkan di daerah perakaran tanaman. Suhu perakaran menjadi penting karena mampu mempengaruhi aktivitas perakaran (Klock *et al.* 1997). Dalam hubungan ini, sebaran suhu daerah perakaran di sekitar pipa tersebut sangat penting untuk dievaluasi yaitu sebagai dasar perancangan *zone cooling system*.

Salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk memprediksi sebaran suhu daerah perakaran yakni dengan aplikasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*). CFD telah banyak berkembang dalam dunia pertanian. Simulasi dengan CFD mampu memberikan visualisasi vektor aliran udara yang terjadi dalam *greenhouse* (Romdhonah *et al.* 2015) dan menggambarkan distribusi suhu udara dan kelembaban dalam rumah jamur dengan tingkat validasi yang cukup tinggi (Anisum *et al.* 2016). Umeno *et al.* (2015) juga telah membuktikan



Gambar 1. Fluktuasi jumlah produksi cabai dan harga cabai bulanan tahun 2014.

kemampuan CFD untuk memprediksi distribusi suhu di dalam ruang yang didinginkan.

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi sebaran suhu pada daerah perakaran pada sistem hidroponik substrat dengan aplikasi *zone cooling*. Prediksi sebaran suhu dengan simulasi menggunakan aplikasi CFD, serta melakukan validasi dari hasil simulasi sebaran suhu tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perancangan *zone cooling system* untuk budidaya tanaman cabai secara hidroponik. Penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup jenis rumah tanaman yang digunakan adalah tipe *standard peak* dan berada di kawasan beriklim tropika basah.

Metode Penelitian

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian pengukuran iklim mikro dan pertumbuhan tanaman dilaksanakan pada bulan Desember 2015 sampai Desember 2016, di rumah tanaman tipe *standard peak* di Laboratorium Lapangan Siswadi Soepardjo. Lokasi penelitian tersebut berada di dataran rendah pada koordinat 106.42 BT, 6.33 LS dengan ketinggian 250 mdpl. Simulasi sebaran suhu menggunakan CFD dilakukan pada bulan Januari sampai Agustus 2017 di Laboratorium Lingkungan dan Bangunan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB.

Alat dan Bahan

Chamber (bak tanam) yang digunakan berukuran 125 cm x 625 cm x 25 cm (Gambar 2) dan didalamnya dibenamkan pipa pendingin yang berada 12 cm dari dasar *chamber*. Dinding bak tanam berbahan akrilik dan pipa pendingin dari pipa galvanis. *Chamber* diisi dengan media tanam substrat yang merupakan campuran antara arang sekam dengan *cocopeat* setebal 24 cm. Jarak antar pipa pendingin sebesar 14 cm yang berdasarkan penelitian Hernisa (2015) memiliki keseragaman suhu yang cukup baik secara horisontal maupun vertikal. Alat yang digunakan meliputi *Weather station* untuk mengukur iklim mikro rumah tanaman. Termokopel sebagai sensor suhu perakaran tanaman (*root zone*), suhu pipa pendingin, dan suhu udara di sekitar tanaman (*shoot zone*) yang direkam dengan *hybrid recorder*. Pompa air untuk mengalirkan air pada pipa pendingin, pompa celup untuk mengalirkan larutan nutrisi pada tanaman. EC meter untuk mengukur tingkat EC (*electrical conductivity*) dari larutan nutrisi. Sistem irigasi yang digunakan adalah sistem irigasi tetes. *Chiller* untuk mendinginkan air.

Rancangan Penelitian

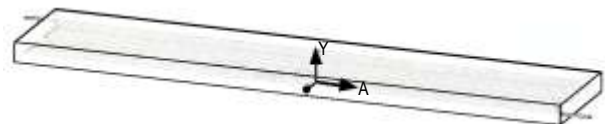
Penelitian terbagi menjadi dua tahap. Tahap

pertama merupakan tahap pengambilan data iklim mikro di dalam rumah tanaman sekaligus budidaya tanaman cabai. Tahap kedua adalah pengolahan data statistika hasil panen cabai dan simulasi CFD untuk memprediksi sebaran suhu pada daerah perakaran tanaman cabai. Penelitian menggunakan dua bak tanam dengan pendinginan pada daerah perakaran dan tanpa pendinginan. Kedua perlakuan diberikan kondisi yang sama, baik nutrisi maupun jarak tanam. Jarak tanam yang digunakan 40 cm x 60 cm dan nutrisi yang digunakan adalah larutan nutrisi ABmix menggunakan sistem irigasi tetes.

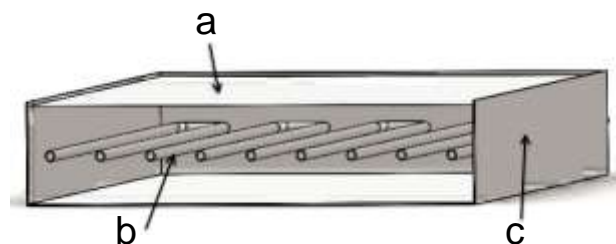
Pengukuran iklim mikro digunakan untuk simulasi data input pada CFD. Rancangan sistem hidroponik tampak seperti Gambar 4. Air yang digunakan sebagai pendingin ditampung pada tangki yang kemudian dipompa menuju *chiller* untuk didinginkan dan dialirkan menuju pipa pendingin di dalam bak tanam. Air yang dialirkan di dalam pipa pendingin kemudian dikembalikan lagi ke tangki penampungan untuk disirkulasikan seterusnya. Suhu *set-point* pada *chiller* sebesar 14°C, yang mana berarti pendinginan air oleh *chiller* dengan suhu batas bawah sebesar 12°C dan suhu batas atas adalah 14°C.

Pengambilan Data Parameter Lingkungan

Selama budidaya tanaman, dilakukan pengukuran beberapa parameter lingkungan di dalam rumah tanaman berupa suhu, radiasi matahari, tekanan udara, dan kelembaban udara. Suhu diambil pada beberapa titik di dalam media tanam (*root zone*) dan suhu di atas permukaan media tanam (*shoot zone*). Suhu di dalam media tanam meliputi suhu air pendingin, suhu pipa pendingin, suhu media tanam secara vertikal pada ketinggian 6 cm, 12 cm, 18 cm dari dasar media tanam, dan suhu pada permukaan media tanam, serta suhu media tanam titik horisontal dengan jarak 3.5 cm dari pipa dan 7 cm dari pipa (pada posisi kedalaman 12 cm dari dasar bak tanam). Pengukuran suhu *shoot zone* meliputi suhu pada ketinggian 30 cm,



Gambar 2. Bak tanam tampak tiga dimensi.



Gambar 3. Potongan membujur dari bak tanam; (a) media tanam; (b) pipa pendingin; (c) dinding media tanam.

Tabel 1. Sifat fisik material yang didefinisikan dalam simulasi CFD*.

Parameter	Material		
	Akrilik	Pipa Galvanis	Media Tanam
Kerapatan (kg/m^3)	1190	7870	118.1
Panas jenis (J/kg K)	1250	382	2387
Konduktivitas panas (W/mK)	0.21	18	0.0676
Porositas	-	-	0.77

100 cm, dan 170 cm dari permukaan media tanam, serta suhu udara di dalam rumah tanaman. Masing-masing parameter lingkungan diukur dalam setiap 5 menit selama penelitian.

Budidaya Tanaman Cabai

Budidaya tanaman cabai juga dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil dari penerapan *zone cooling*. Tanaman cabai disemai selama 6-9 minggu dan kemudian dipindah tanam pada bak tanam. Pengukuran dilakukan pada setiap buah yang dipanen dengan mengukur bobot buah dari masing-masing tanaman sampai hasil akhir buah yang dipanen selama penelitian.

Simulasi CFD

Simulasi CFD digunakan untuk mengetahui sebaran suhu media tanam di dalam *chamber* secara menyeluruh. Perangkat komputer yang digunakan dengan spesifikasi CPU Intel Core i7, RAM 12 GB, dan sistem operasi 64-bit. Dalam simulasi distribusi suhu, digunakan beberapa asumsi sebagai kondisi batas simulasi, yaitu:

- Parameter *input* berada dalam kondisi tunak pada suatu waktu t tertentu dan dianggap seragam pada setiap titik di dalam rumah tanaman.
- Fluida bergerak dalam kondisi *steady* dan dianggap tidak termampatkan
- Tipe analisis eksternal dengan fluida utama udara dan fluida *sub-domain* air.
- Tekanan udara di dalam pipa pendingin didefinisikan sama dengan tekanan udara di dalam rumah tanaman.
- Panas jenis, konduktivitas dan viskositas fluida dianggap konstan selama simulasi.
- Tipe dari konduktivitas panas bahan dianggap isotropik.

g. Media tanam didefinisikan sebagai media berporos dengan perbandingan arang sekam : *cocopeat* = 4:1.

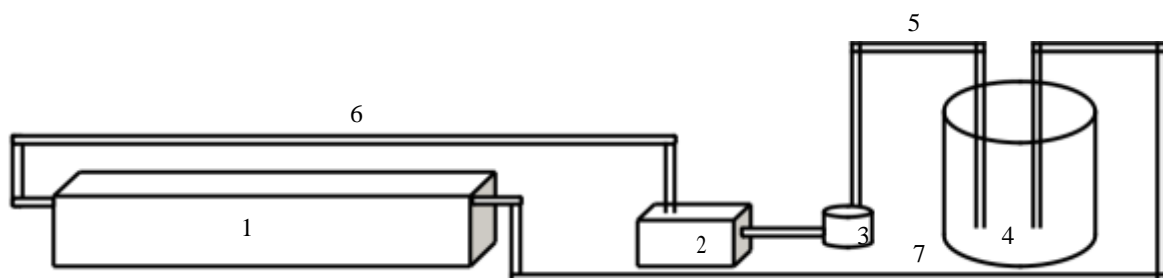
Simulasi dilakukan setiap jam untuk mengetahui perbedaan sebaran suhu pada zona perakaran sepanjang waktu. Parameter yang dibutuhkan sebagai *initial condition* untuk data masukan simulasi CFD adalah suhu udara di dalam media tanam, tekanan udara, suhu awal media tanam, tekanan udara, nilai percepatan gravitasi, besarnya radiasi matahari, suhu pipa pendingin, suhu air pendingin, dan kecepatan aliran fluida. Selain itu, perlu didefinisikan sifat material dari bak tanam dan pipa pendingin, karena data-data tersebut belum tersedia pada *database software Solidworks*. Nilai sifat fisik material tampak pada Tabel 1.

Validasi Model

Validasi model hasil simulasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana model yang dihasilkan mampu merepresentasikan nilai yang terukur saat eksperimen (nilai nyata). Metode analisis regresi linear untuk pengujian keabsahaan dilakukan dengan menggunakan garis regresi yang terbentuk pada hubungan linier antara suhu hasil pengukuran dengan suhu hasil simulasi. Model dapat dikatakan akurat jika gradien dari persamaan regresi linear tersebut mendekati satu dan intersepnya mendekati nilai nol. Persamaan untuk validasi dapat dinyatakan dengan:

$$y = ax + b \quad (1)$$

dimana variabel y adalah suhu hasil simulasi dengan CFD, x adalah suhu hasil pengukuran, a adalah gradien, dan b adalah nilai intersep dari persamaan garis.



Gambar 4. Skema aliran air pendingin; air didinginkan dengan *chiller*; (1) bak tanam; (2) *chiller*; (3) pompa air; (4) tangki penampungan air pendingin; (5) pipa penyaluran air dari tangki ke *chiller*; (6) pipa penyaluran air dari *chiller* ke bak tanam; (7) Pipa penyaluran air pendingin dari bak media tanam ke tangki air.

Tabel 2. Suhu rata-rata udara rumah tanaman setiap bulan selama penelitian pada tahun 2016.

Bulan	Suhu rata-rata (°C)			
	Siang	Malam	Maksimum	Minimum
Maret	30.7	25.0	48.3	20.6
April	29.9	25.2	48.5	20.6
Mei	29.2	25.6	38.9	20.7
Juni	29.1	24.6	40.4	19.7
Juli	29.1	24.4	39.9	20.5
Agustus	28.6	24.4	36.3	19.9
September	28.7	24.4	39.2	20.9
Oktober	28.5	24.4	37.4	20.6
November	28.3	24.4	38.5	21.3
Desember	27.9	24.0	36.9	20.6

Hasil dan Pembahasan

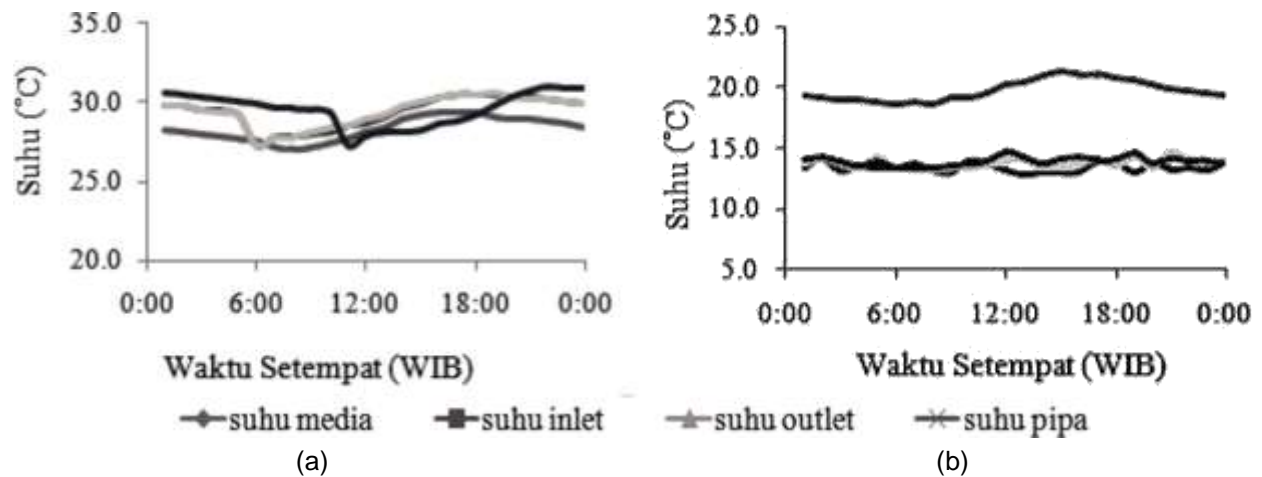
Iklm Mikro Rumah Tanaman

Selama penelitian budidaya tanaman cabai dengan sistem pendinginan daerah perakaran, suhu rata-rata siang hari mencapai 29.4°C dan suhu rata-rata malam hari 24.7°C, namun demikian, di dalam rumah tanaman pada siang hari, suhu dapat mencapai 48°C (Tabel 2). Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa suhu udara di dalam rumah tanaman masih cukup tinggi. Suhu pada

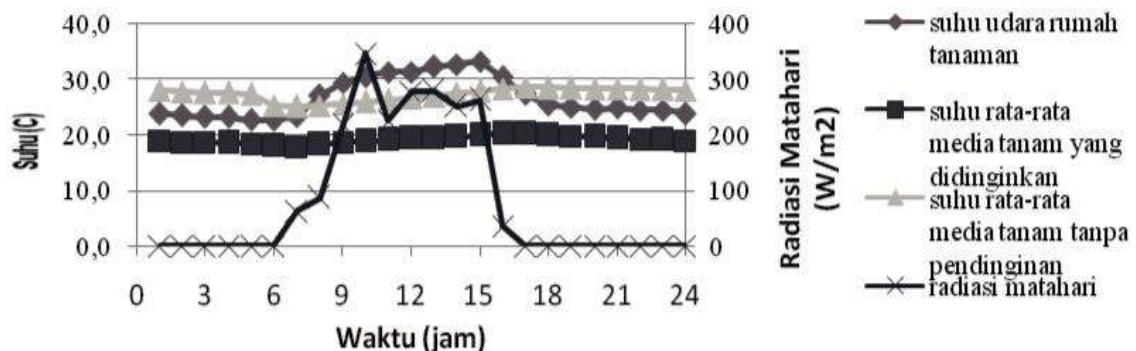
daerah perakaran dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan suhu yang cukup jauh pada daerah perakaran yang didinginkan dan yang tidak didinginkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa suhu pada media tanam cukup dipengaruhi oleh pipa pendingin. Suhu tinggi pada media tanam mengalami pindah panas dengan suhu dingin pada pipa pendingin pada perlakuan bak tanam yang didinginkan. Bak tanam yang tidak didinginkan, suhu pipa sama dengan suhu media tanam, sehingga tidak terjadi aliran energi yang mengakibatkan suhu media tanam tetap tinggi sesuai dengan suhu lingkungannya.

Simulasi CFD

Simulasi CFD pada penelitian ini digunakan data pada tanggal 21 Juli 2016, dengan pertimbangan bahwa pada hari tersebut cuaca cerah sepanjang hari tanpa adanya mendung atau hujan, sehingga diharapkan simulasi distribusi suhu media tanam lebih akurat karena pada kondisi cerah beban pendinginan akan mencapai titik maksimum. Perubahan suhu seperti pada Gambar 6 yang mana secara umum pola suhu pada masing-masing titik yang diukur mengikuti pola suhu lingkungannya. Kelembaban udara di dalam rumah tanaman rata-rata 75 %. Suhu pada media tanam dipengaruhi oleh suhu udara rumah tanaman, sehingga simulasi CFD dilakukan pada setiap jam.



Gambar 5. Pola suhu pada daerah perakaran (a) tidak didinginkan; (b) didinginkan



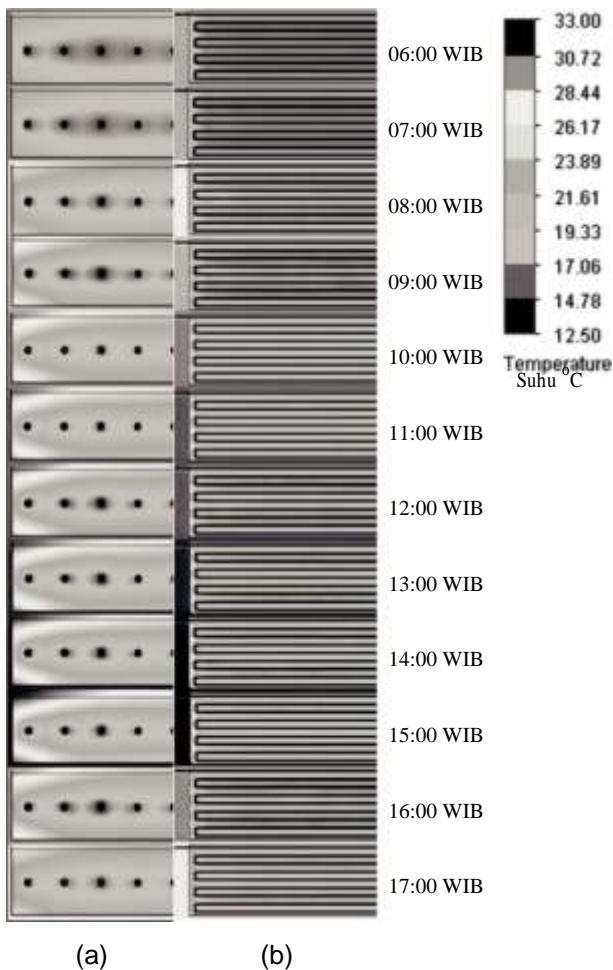
Gambar 6. Perubahan suhu dan radiasi matahari pada tanggal 21 Juli 2016.

Gambar 7 dan 8 menunjukkan hasil simulasi sebaran suhu setiap waktunya. Secara garis besar tampak pada saat malam dan siang hari terdapat perbedaan yang sangat jauh. Pada malam hari sebaran suhu di dalam media tanam setiap jam hampir sama, berbeda saat siang hari yang cenderung mengalami perbedaan setiap waktu. Peningkatan suhu pada media tanam mulai dari jam 07.00 yang pada saat itu suhu lingkungan rumah tanaman mulai naik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa suhu media tanam dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, baik radiasi matahari maupun suhu udara. Hasil simulasi diperoleh suhu rata-rata malam hari pada media tanam sebesar 17.8°C, sedangkan pada siang hari suhu media tanam diperoleh 19.9°C. Nilai tersebut tidak terlalu jauh dari hasil pengukuran pada siang hari yang diperoleh rata-rata 19.4°C, namun pada malam hari perbedaan suhu cukup jauh, dimana suhu pengukuran media tanam diperoleh rata-rata 19.2°C. Suhu pada siang hari yang masih cukup tinggi juga dikarenakan media tanam campuran *cocopeat* dan arang sekam yang lebih dominan arang sekamnya sehingga memiliki warna hitam dan panas jenis yang tinggi yang akhirnya menyerap panas lebih banyak dan

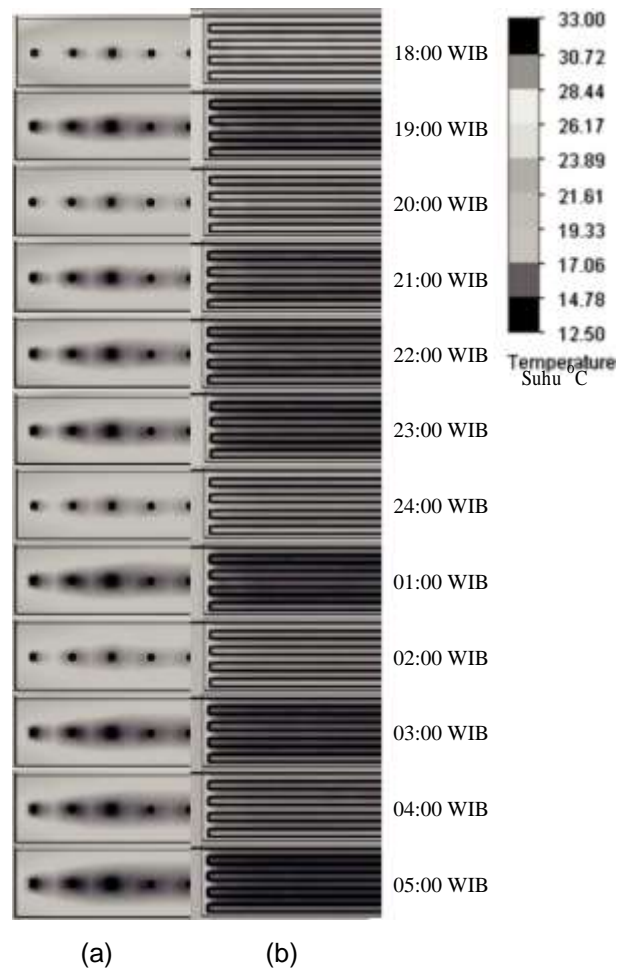
dapat meningkatkan suhu media tanam.

Distribusi suhu media tanam pada malam hari cukup seragam (Gambar 8), baik secara horisontal yang dipotong melintang (tampak atas) maupun vertikal yang dipotong membujur (tampak depan), serta suhu rata-rata pun cukup rendah. Keseragaman distribusi suhu tidak dapat diperoleh pada siang hari. Gambar 7 menunjukkan bahwa distribusi suhu pada siang hari setiap waktu berbeda dengan pola mengikuti kenaikan suhu udara di dalam rumah tanaman. Saat suhu lingkungan mulai naik, maka efek pendinginan belum mampu mencapai pada bagian atas permukaan media tanam. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan suhu lingkungan menyebabkan menyempitnya jangkauan pendinginan dari sistem pendinginan.

Sebaran suhu media tanam lebih seragam secara horisontal dibandingkan dengan sebaran suhu secara vertikal. Hasil ini menunjukkan bahwa jarak antar pipa pendingin secara horisontal cukup optimum, namun belum optimum secara vertikal. Sebaran suhu secara vertikal yang belum seragam diakibatkan jarak pipa dengan permukaan maupun dasar media tanam yang cukup jauh sehingga pendinginan belum mencapai pada titik tersebut.



Gambar 7. Hasil simulasi sebaran suhu media tanam pada siang hari; (a) potongan membujur; (b) potongan melintang.



Gambar 8. Hasil simulasi sebaran suhu media tanam pada malam hari; (a) potongan membujur; (b) potongan melintang.

Hasil simulasi potongan membujur (tampak depan) menunjukkan media tanam terluar suhunya lebih tinggi dari media tanam yang di tengah. Hasil ini seperti pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hernisa (2015) dan Niam *et al.* (2017). Kondisi tersebut disebabkan adanya pengaruh suhu yang tinggi dari dinding bak tanam yang terbuat dari material akrilik, karena akrilik memiliki nilai panas jenis yang cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi suhu media tanam yang ada di sekitarnya. Selain itu, posisi akrilik sebagai dinding media tanam maupun media tanam yang langsung bersinggungan dengan lingkungan menyebabkan serapan panas yang besar dari lingkungan.

Sampai saat ini, belum banyak informasi ilmiah yang melaporkan suhu optimum zona perakaran untuk tanaman cabai. Kwack *et al.* (2014) menyatakan bahwa dengan pendinginan daerah perakaran sampai suhu 28.6°C saat hari cerah mampu meningkatkan jumlah bunga dan mempertinggi pertumbuhan akar. Berdasarkan hasil pengukuran dan hasil simulasi, dapat dikatakan pendinginan dengan suhu *set-point* 14 °C cukup untuk mendinginkan daerah perakaran tanaman cabai. Sebaran suhu pada daerah perakaran di setiap jam yang ditunjukkan oleh hasil simulasi dapat menjadi pertimbangan bahwa pendinginan pada zona perakaran sangat dibutuhkan pada siang hari.

Hasil Panen Cabai

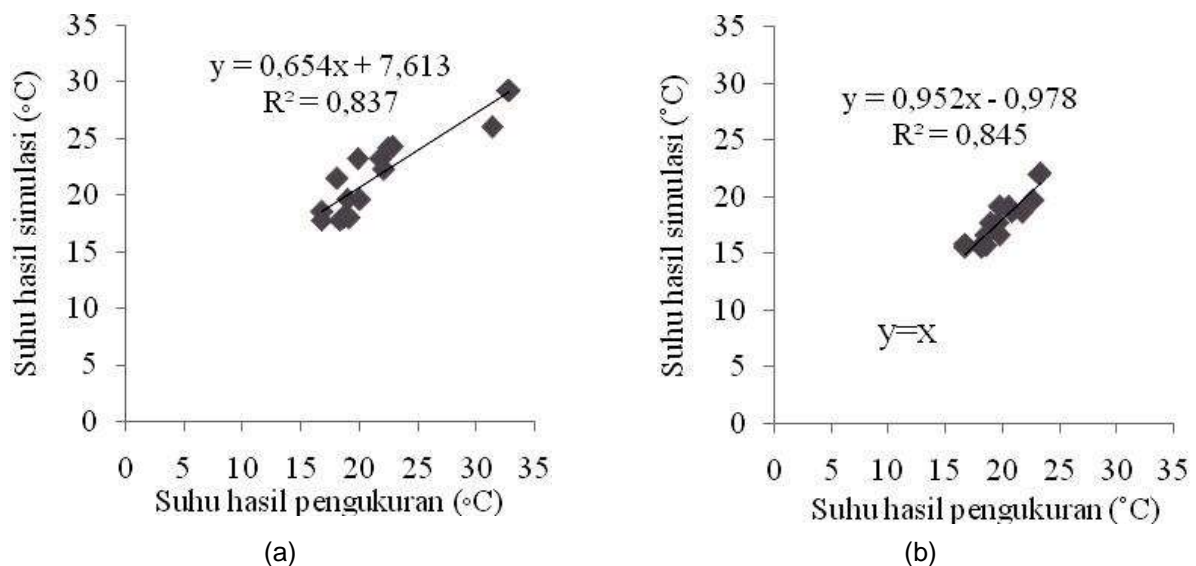
Pada penelitian ini, selama satu kali masa panen bobot buah rata-rata per tanaman 873.6g untuk zona perakaran yang didinginkan dan 546.0g untuk zona perakaran yang tidak didinginkan. Penelitian sebelumnya (Pangestika 2015), yang dilakukan pada lahan terbuka diperoleh hasil bobot buah cabai per tanaman sebesar 529.2g dengan suhu lingkungan rata-rata 24.6–26.5°C dimana bobot buah

ini hampir setara dengan bobot buah tanaman yang zona perakarannya tidak didinginkan. Perbedaan bobot buah per tanaman tersebut mengindikasikan bahwa pendinginan zona perakaran pada tanaman cabai mampu meningkatkan produktivitas tanaman.

Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh He dan Lee (1998) yang menyatakan bahwa suhu daerah perakaran yang rendah hingga 20°C, mampu menurunkan suhu daun yang kemudian mampu meningkatkan laju fotosintesis meskipun pada suhu udara yang tinggi, sehingga mampu meningkatkan produktivitas tanaman. Menurut Tindall *et al.* (1990) Suhu perakaran yang melebihi 30°C akan menurunkan serapan nutrisi akar. Nkansah dan Ito (1995) juga menyatakan bahwa pendinginan suhu perakaran mampu meningkatkan produktivitas.

Validasi

Hasil validasi dengan metode regresi linier dapat dilihat pada Gambar 9. Persamaan garis hasil validasi pada siang hari, diperoleh nilai gradien cukup kecil tidak seperti hasil validasi pada malam hari yang nilai gradiennya mendekati angka satu. Nilai intersep pada kedua hasil validasi pun cukup berbeda jauh. Pada hasil simulasi siang hari nilai intersep didapatkan kurang bagus karena nilainya cukup tinggi. Tingginya nilai intersep pada siang hari dapat disebabkan oleh asumsi yang digunakan saat simulasi belum optimal, karena pada siang hari faktor yang mempengaruhi lebih banyak dari pada saat malam hari. Meski demikian, nilai R^2 cukup baik untuk keduanya, siang dan malam hari berturut-turut adalah 0.837 dan 0.845. Nilai tersebut masih tergolong pada hasil yang baik meskipun tidak terlalu mendekati angka satu. Validasi menunjukkan bahwa sebaran suhu daerah perakaran dapat diprediksi dengan baik menggunakan *computational fluid dynamics*.



Gambar 9. Hubungan antara suhu media tanam hasil pengukuran dengan suhu hasil simulasi; (a) siang hari (pk. 12:00); (b) malam hari (pk. 01:00).

Simpulan

Hasil pendinginan media tanam dengan suhu pendingin 14°C pada *set-point chiller* didapatkan kisaran suhu media tanam 17.9-20.3°C, sementara itu pada media tanam yang tidak didinginkan kisaran suhu media tanam sebesar 25.2-28.6°C. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan pendinginan diperoleh sebaran suhu seragam secara horisontal, namun belum cukup seragam secara vertikal. Hasil validasi simulasi cukup baik sehingga hasil dari CFD pada penelitian ini cukup dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perancangan *zone cooling system* yang lebih kompleks untuk budidaya tanaman cabai secara hidroponik substrat di dalam rumah tanaman. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pendinginan daerah perakaran pada tanaman cabai secara signifikan mampu meningkatkan bobot buah tanaman.

Daftar Pustaka

- Anisum, N. Bintoro, dan S. Goenadi. 2016. Analisis distribusi suhu dan kelembaban udara dalam rumah jamur (kumbung) menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD). *J. Agritech* 36(1): 64 – 70.
- Farid, M. dan N.A. Subekti. 2012. Tinjauan terhadap produksi, konsumsi, distribusi, dan dinamika harga cabai di Indonesia. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan* 6(2): 211-233.
- He, J. and S.K. Lee. 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): 387-391.
- Hernisa, A. 2015. Penentuan jarak tanam optimum antar pipa pendingin untuk pendinginan terbatas daerah perakaran pada sistem hidroponik substrat (skripsi). Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Klock, K.A., H.G. Taber, and W.R. Graves. 1997. Root respiration and phosphorus nutrition of tomato plant grown at 36 °C root-zone temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(2): 175-178.
- Kwack, Y., D.S. Kim, and C. Chun. 2014. Root-zone cooling affect growth and development of paprika transplants grown in rockwool cubes. *Hort. Environ. Biotechnol.* 55 (1): 14-18. doi 10.1007/s13580-014-0117-3.
- Matsuoka, T. dan H. Suhardiyanto. 1992. Thermal and flowing aspects of growing petty tomato in cooled NFT solution during summer. *Environment Control in Biology* 30 (3): 199-125.
- Moekasan, T.K. dan L. Prabaningrum. 2012. Penggunaan rumah kaca untuk mengatasi serangan organisme pengganggu tumbuhan pada tanaman cabai merah di dataran rendah. *J. Hort* 22(1): 66-76.
- Nauli, D. 2016. Fluktuasi dan disparitas harga cabai di Indonesia. *Jurnal Agrosains dan Teknologi* 1 (1): 56-69.
- Niam, A.G. 2011. Simulasi distribusi suhu dan pola pergerakan udara pada rumah tanaman tipe *standard peak* berventilasi mekanis menggunakan CFD (tesis). Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Niam, A.G., H. Suhardiyanto, K.B. Seminar, and A. Maddu. 2017. CFD simulation of cooling pipes distance in the growing medium for hydroponics substrate in tropical lowland. *International Journal of Engineering Research and Development* (15): 56-63.
- Nkansah, G.O. and T. Ito. 1995. Effect of air and root-zone temperatures on physiological characteristics and yield of heat-tolerant and non heat-tolerant tomato cultivar. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64(2): 315-320.
- Pangestika, H.W. 2015. Evaluasi pendahuluan galur cabai keriting (*Capsicum annum* L.) IPB (skripsi). Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Romdhonah, Y., H. Suhardiyanto, Erizal dan S.K. Saptomo. 2015. Analisis ventilasi alamiah pada *greenhouse* tipe *standard peak* menggunakan *computational fluid dynamics*. *J. Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem* 3(2): 170 – 178.
- Rusono, N., A. Suanri, A. Candradijaya, A. Muharam, I. Martino, Tejaningsing, P.U. Hadi, S.H. Susilowati, dan M. Maulana. 2013. Studi Pendahuluan: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Bidang Pangan dan Pertanian 2015-2019. Direktorat Pangan dan Pertanian, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. Jakarta.
- Siemonsma, J.S. and K. Piluek. 1994. *Plant Resources of South-East Asia, No.8, Vegetables*. Prosea Foundation. Bogor.
- Suhardiyanto, H. 2009. *Teknologi Rumah Tanaman untuk Iklim Tropika Basah: Pemodelan dan Pengendalian Lingkungan*. IPB Press. Bogor.
- Tindall, J.A., H.A. Mills and D.E. Radcliffe. 1990. The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant. Nutr.* 13(8): 939-956. Doi: 10.1080/019041690093644127.
- Umeno, Y., D.V. Hung, F. Tanaka and D. Hamanaka. 2015. The use of CFD to simulate temperature distribution in refrigerated containers. *Journal of Engineering in Agriculture, Environment and Food* 8: 257–263. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eaef.2015.03.002>