

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

Simulasi Kecepatan Udara dan Pengaruhnya Terhadap Suhu dan Kelembaban Relatif pada *Mini Plant Factory*

Simulation of Air Velocity and Its Effects on Mini Plant Factory Temperature and Relative Humidity

Mu'minah Mustaqimah, Program Studi Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: muminahblueny@gmail.com

Ahmad Safrizal, Program Studi Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: ahmadsafrizal.ipb@gmail.com

Bung Daka Putera, Program Studi Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: bungdaka@gmail.com

Slamet Widodo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: slamet_ae39@apps.ipb.ac.id

Abstract

Limited land for agricultural cultivation, especially in urban areas, makes it difficult to provide healthy and sustainable food. This research is part of the development of the Smart Mini Plant Factory (SMIPY), a household scale mini plant factory used for vegetable production using hydroponic technology to support urban farming. SMIPY is equipped with sensors for monitoring environmental conditions, automatic nutrition control systems, and artificial lighting using Light Emitting Diode (LED). In particular, this research aims to simulate airflow and analyze its effects on temperature and relative humidity inside SMIPY using Computational Fluid Dynamics (CFD). Data validation were done by collecting temperature and relative humidity inside SMIPY with air velocity 0 m/s, 1 m/s, 1.5 m/s and 1.8 m/s. The error obtained from the data in temperature and relative humidity were $1.69 \pm 1.47\%$ and $2.94 \pm 1.57\%$ respectively. Thus, the result showed that the CFD simulation was reliable to predict temperature and humidity inside SMIPY. The airflow moved vertically, but an air turbulence occurred between two opposite air inlets. The higher the air velocity, the lower the temperature and the higher the relative humidity.

Keywords: *air velocity, Computational Fluid Dynamics (CFD), plant factory, relative humidity, temperature*

Abstrak

Terbatasnya lahan untuk kegiatan budidaya pertanian terutama di wilayah perkotaan menyebabkan sulitnya penyediaan pangan sehat dan berkelanjutan. Penelitian ini merupakan bagian dari pengembangan *Smart Mini Plant Factory* (SMIPY) yaitu *mini plant factory* skala rumah tangga yang digunakan untuk produksi sayuran menggunakan teknologi hidroponik untuk mendukung *urban farming*. SMIPY dilengkapi dengan sensor untuk monitoring kondisi lingkungan, sistem kendali nutrisi otomatis, serta pencahayaan buatan (*artificial lighting*) menggunakan *Light Emitting Diode* (LED). Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis pola dan pengaruh aliran udara terhadap keadaan lingkungan pada SMIPY. Validasi data dilakukan dengan mengambil data suhu dan kelembaban relatif pada kecepatan udara 0 m/dt, 1 m/dt, 1.5 m/dt dan 1.8 m/dt. Dari data didapatkan bahwa rata-rata *error* yang dihasilkan dari simulasi adalah $1.69 \pm 1.47\%$ untuk suhu dan $2.94 \pm 1.57\%$ untuk kelembaban relatif, sehingga simulasi baik untuk digunakan dalam memprediksi keadaan lingkungan dalam SMIPY. Pola aliran udara secara umum adalah bergerak secara vertikal, namun terjadi turbulensi di titik pertemuan kedua aliran udara dari kipas yang berhadapan. Semakin besar kecepatan udara, maka suhu menjadi semakin rendah dan kelembaban relatif menjadi semakin tinggi.

Kata Kunci: *Computational Fluid Dynamics* (CFD), kecepatan udara, kelembaban relatif, *plant factory*, suhu

Diterima: 17 Juli 2017; Disetujui: 19 Desember 2018

Pendahuluan

Terbatasnya lahan untuk budidaya pertanian, terutama di wilayah perkotaan, menyebabkan sulitnya penyediaan pangan sehat dan berkelanjutan. Salah satu solusi alternatif yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan inovasi bertanam pada lahan sempit di perkotaan (*urban farming*), menggunakan *plant factory*. *Plant factory* adalah sistem produksi tanaman yang terisolasi dari lingkungan luar. Sistem pencahayaannya menggunakan lampu buatan yang dapat spesifik memancarkan panjang gelombang yang dibutuhkan oleh fotosintesis tanaman (Shimizu et al., 2011).

Penelitian ini merupakan bagian dari pengembangan *Smart Mini Plant Factory* (SMIPY) yaitu *mini plant factory* skala rumah tangga yang digunakan untuk produksi sayuran menggunakan teknologi hidroponik untuk mendukung *urban farming*. SMIPY dilengkapi dengan sensor untuk monitoring kondisi lingkungan, sistem kendali nutrisi otomatis, serta pencahayaan buatan (*artificial lighting*) menggunakan *Light Emitting Diode* (LED). Salah satu aspek penting dalam perancangan SMIPY adalah penyediaan aliran udara yang mencukupi sehingga menghasilkan keadaan lingkungan yaitu suhu dan kelembaban relatif yang ideal di dalamnya. Kecepatan aliran udara memberikan pengaruh pada laju fotosintesis dan laju transpirasi tanaman, sebagaimana dilaporkan oleh Kitaya (2005). Menurut Esmay dan Dixon dalam Apriliani (2006), pada umumnya kecepatan angin yang baik agar daun dapat mudah menangkap CO₂ adalah 0.1-0.25 m/dt. Jika kecepatan udara mencapai 0.5 m/dt, jumlah CO₂ yang ditangkap tanaman akan berkurang. Kecepatan udara 1.0 m/dt dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan kecepatan 4.5 m/dt dapat merusak proses fisik tanaman.

Dalam menganalisis pola dan pengaruh aliran udara terhadap keadaan lingkungan, digunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD merupakan analisis berbasis komputer yang dapat mensimulasi keadaan aliran fluida, pindah panas dan massa. Fitur CFD telah banyak tersedia di berbagai *software* tertentu, sebagai contoh adalah Fluent, PHOENICS, dan Solidworks. Analisis ini seringkali digunakan untuk memprediksi beberapa keadaan seperti aerodinamika pada kendaraan, pemodelan aliran darah, distribusi suhu dan kelembaban pada bangunan, dan sebagainya. Di bidang pertanian, CFD juga efektif digunakan untuk mensimulasikan fenomena kompleks fisik dengan akurasi yang baik dan menganalisis keseragaman lingkungan dalam lingkungan yang terkendali (Zhang et al., 2016). Salah satu contoh penggunaan CFD pada *plant factory* antara lain analisis pola sebaran suhu aliran udara (Lim dan Kim, 2014; Moon et al., 2014; Niam et al., 2019). Oleh karena itu, dalam penelitian ini simulasi CFD digunakan untuk menganalisis pola dan pengaruh aliran udara

terhadap keadaan lingkungan pada SMIPY. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana untuk memprediksi kebutuhan aliran udara untuk dapat menghasilkan keadaan lingkungan optimum di dalam SMIPY.

Bahan dan Metode

Perancangan SMIPY

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari hingga Juni 2018 di Laboratorium Manufaktur, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Desain awal dari SMIPY dibuat menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD) yaitu SolidWorks. Selain itu, dilakukan pula simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan perangkat lunak tersebut. Pabrikasi SMIPY dilakukan menggunakan *showcase* berukuran 1 m x 1 m x 2 m yang telah dimodifikasi. Beberapa bahan yang dibutuhkan adalah kipas, LED, sensor suhu dan kelembaban relatif DHT22, serta media tanam hidroponik. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang masuk dan keluar dari SMIPY saat validasi data simulasi.

SMIPY mempunyai dimensi 1 m x 1 m x 2 m. Terdapat empat buah rak utama yang masing-masing memiliki 6 buah lubang tanam hidroponik di dalamnya. Pada bagian bawah, terdapat ruangan khusus tempat germinasi atau perkecambah yang ditutup dengan kain hitam untuk mengurangi cahaya yang dapat masuk. Perlakuan kondisi gelap dalam perkecambah diharapkan dapat meningkatkan potensi tumbuh maksimal dan daya berkecambah serta dapat mempercepat berkecambahnya benih (Saleh dan Wardah, 2010).

SMIPY didukung oleh beberapa sistem lingkungan buatan. Sistem yang pertama adalah tersedianya cahaya buatan untuk mendukung tanaman berfotosintesis. Cahaya berperan sangat penting dalam menyuplai energi untuk proses fotosintesis. Selain itu, kualitas dari cahaya menentukan struktur dan fungsi kloroplas pada daun (Albertsson, 2001). Digunakan lampu LED dengan cahaya merah (610-700 nm) dan biru (410-500 nm) yang dikombinasikan sebagai pencahayaan utama, karena klorofil menyerap cahaya di panjang gelombang tersebut dan memantulkan cahaya hijau (Campbell, 1999).

Sistem kedua adalah penyediaan aliran udara. Terdapat dua buah kipas di bagian bawah SMIPY yang berfungsi untuk menarik udara dari luar. Selain itu, terdapat satu buah kipas di bagian atas untuk membuang udara yang telah bersirkulasi di dalam SMIPY. Dengan adanya sistem ini, diharapkan udara dengan mudah masuk ke dalam SMIPY dan bersirkulasi ke seluruh bagian rak, sebelum akhirnya dihembuskan ke luar. Udara yang selalu berganti di dalam akan mempermudah tanaman

dalam melakukan fotosintesis dan respirasi. Desain ventilasi sirkulasi udara yang tidak sesuai dapat menyebabkan kondisi lingkungan yang tidak seragam dan mengakibatkan ketidakmerataan pertumbuhan tanaman, kualitas, serta kelainan pada tanaman (Zhang *et al.*, 2016).

Keseluruhan faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban relatif dan intensitas cahaya dalam SMIPY dapat dimonitor secara langsung oleh pengguna. SMIPY telah dilengkapi oleh sensor suhu dan kelembaban relatif DHT22 serta sensor cahaya yang terhubung langsung ke *server*, sehingga memungkinkan pengguna untuk dapat memonitor kondisi di dalamnya secara langsung. Keseluruhan gambar SMIPY dapat dilihat pada Gambar 1.

Simulasi CFD

Proses analisis CFD diawali dengan input dari pengguna terlebih dahulu. Beberapa informasi awal yang harus ditentukan diantaranya adalah bentuk/dimensi benda yang akan dianalisis, sifat-sifat fluida (konduktivitas, viskositas, massa jenis, dan sebagainya), *boundary condition*, serta pembentukan kisi tiap wilayah.

Menurut Versteeg dan Malalasekera (1995), terdapat tiga persamaan aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu kekekalan massa, laju perubahan momentum, serta laju perubahan energi. Kekekalan massa menyatakan persamaan laju kenaikan massa elemen fluida akan sama dengan laju bersih aliran massa yang masuk ke dalam elemen fluida yang dinyatakan dalam persamaan ruang dan waktu. Persamaan-persamaan di atas akan dipecahkan secara matematik pada proses *solver* dalam simulasi CFD dengan metode iterasi sampai nilai *error* yang didapatkan cukup kecil.

Simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan software *Solidworks Office Premium 2016*. Spesifikasi komputer yang digunakan dalam pembuatan simulasi CFD adalah *CPU Intel Core i5, 8GB RAM dan 64-bit Operating System*. Analisis yang dilakukan dalam simulasi ini adalah analisis tiga dimensi terhadap aliran fluida termal yang mencakup perpindahan panas secara konveksi, konduksi dan radiasi pada kondisi tunak. Beberapa asumsi yang digunakan dalam simulasi ini adalah udara bergerak dalam keadaan *steady*, udara tidak terkompresi, panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan, udara lingkungan konstan, serta distribusi udara pada tiap rak diasumsikan seragam.

Langkah-langkah simulasi yang dilakukan adalah pertama pembuatan geometri model SMIPY, kemudian dilanjutkan dengan mendefinisikan beberapa keadaan awal yang didapatkan, seperti suhu lingkungan dan material konstruksi. Tujuan dari analisis simulasi CFD ini adalah *global goal temperature and humidity* dari *fluid (maximum, minimum dan average)*. Proses *running* atau

perhitungan dijalankan setelah seluruh persiapan selesai dilakukan. Iterasi dilakukan hingga didapatkan kondisi konvergen.

Terdapat beberapa kondisi awal yang digunakan dalam simulasi CFD ini. Yang pertama adalah bagian dinding *showcase* yang dibuat *real wall* dengan suhu lingkungan yaitu 27°C. Keadaan ini memungkinkan terjadinya pindah panas antara bagian dalam dan luar SMIPY melalui dinding, seperti keadaan yang sebenarnya. Selain itu, bagian rak hidroponik juga dibuat *real wall* dengan suhu sedikit lebih rendah yaitu 26.8°C, karena diasumsikan bahwa rak hidroponik ini terisi larutan nutrisi. Terdapat LED yang diasumsikan sebagai sumber panas dengan total daya 54 Watt. Tekanan lingkungan di sekitar kipas diasumsikan berada pada tekanan normal.

Pengukuran Langsung

Pengukuran langsung pada SMIPY dilakukan pada 6 titik yaitu di suhu ruang, ruang gelap, Rak 1, Rak 2, Rak 3, dan Rak 4. Digunakan sensor DHT22 yang terhubung ke jaringan internet sebagai media pengiriman data. Pengukuran kecepatan udara dilakukan menggunakan anemometer. Hasil dari pengukuran langsung digunakan untuk validasi data simulasi CFD yang telah dilakukan.

Validasi Data

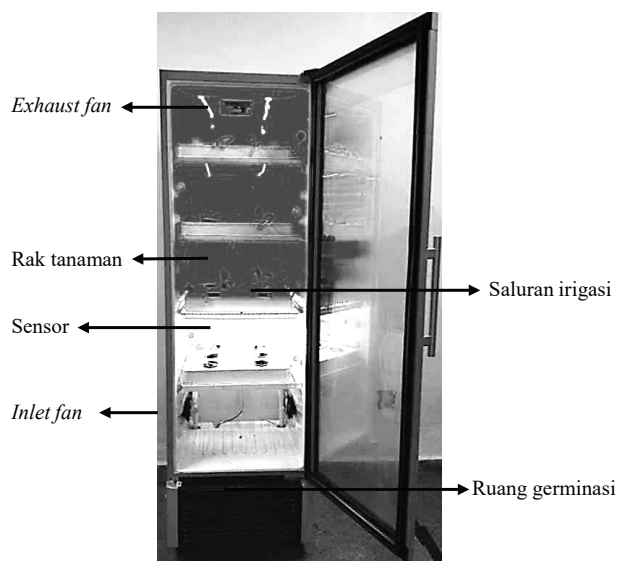
Setelah proses simulasi selesai, dilakukan proses validasi dengan membandingkan antara suhu dan kelembaban relatif hasil simulasi dengan pengukuran di lapangan. Proses validasi dilakukan dengan cara menghitung *error* atau perbedaan nilai antara pengukuran langsung dengan simulasi CFD dengan menggunakan persamaan:

$$Error (\%) = \left| \frac{T_o - T_i}{T_o} \right| * 100\% \quad (1)$$

dimana;

T_o = hasil pengukuran langsung

T_i = hasil simulasi dengan CFD

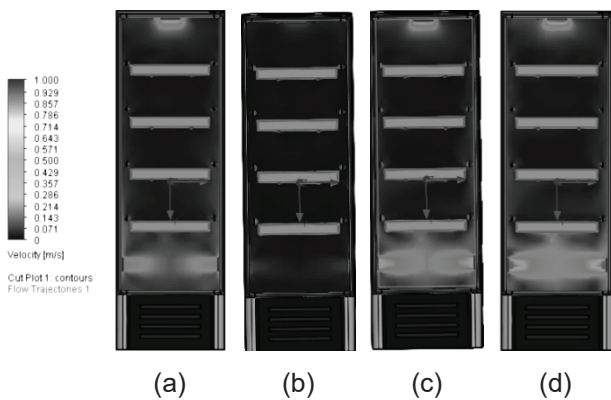


Gambar 1. Smart Mini Plant Factory (SMIPY).

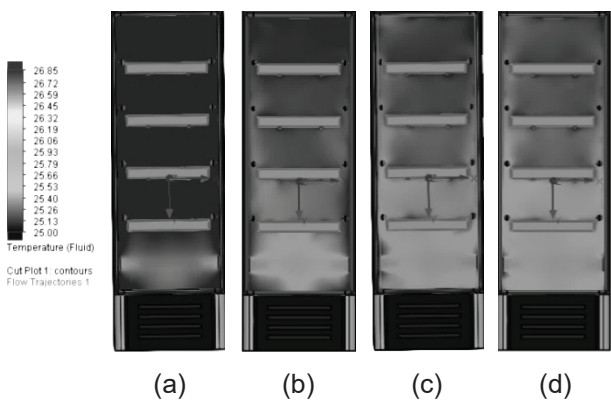
Hasil dan Pembahasan

Digunakan simulasi CFD untuk dapat mengatur kecepatan udara dalam beberapa nilai dan menganalisis pengaruh dari perubahan tersebut terhadap kecepatan udara, suhu dan juga kelembaban relatif dalam SMIPY. Setelah itu, pengujian langsung pada SMIPY dilakukan untuk validasi data simulasi tersebut. Pengujian dilakukan dalam 4 variasi kecepatan kipas yaitu 0 m/dt, 1 m/dt, 1.5 m/dt serta 1.8 m/dt. Hasil simulasi kecepatan udara dapat dilihat pada Gambar 2.

Terdapat pergerakan udara yang sangat kecil di bagian pinggir SMIPY pada kecepatan kipas 0 m/dt, hal ini diakibatkan oleh perubahan suhu udara karena panas yang ditimbulkan oleh lampu (Zhang *et al.* 2016). Pergerakan udara pada simulasi ini adalah di arah vertikal. Menurut Shibata *et al.* (1995) arah udara vertikal lebih efektif untuk mendukung pertumbuhan dan transpirasi tanaman karena dapat menurunkan suhu pada permukaan daun dengan lebih baik. Arah udara vertikal turun dengan kecepatan lebih tinggi dari 3 m/dt di sekitar tanaman disarankan untuk meningkatkan fotosintesis dan transpirasi pada tanaman di daerah budidaya (Kitaya *et al.* 2005).



Gambar 2. Hasil simulasi kecepatan udara menggunakan CFD pada SMIPY di kecepatan (a) 0 m/dt; (b) 1 m/dt; (c) 1.5 m/dt; (d) 1.8 m/dt.



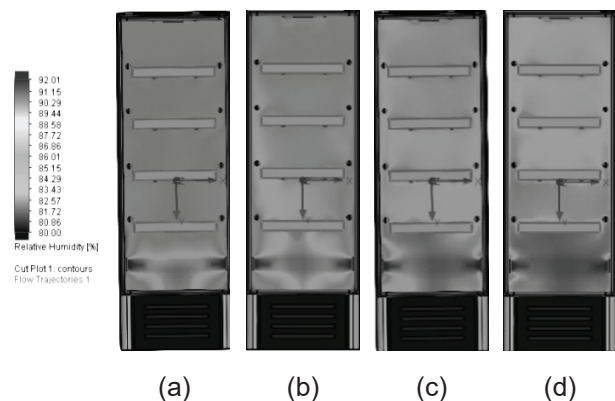
Gambar 3. Hasil simulasi distribusi suhu menggunakan CFD pada SMIPY di kecepatan (a) 0 m/dt; (b) 1 m/dt; (c) 1.5 m/dt; (d) 1.8 m/dt.

Pada pengaturan kecepatan kipas yang mengalirkan udara dengan kecepatan 0 m/dt, 1 m/dt, 1.5 m/dt dan 1.8 m/dt, hasil dari simulasi menunjukkan bahwa kecepatan udara pada rak-rak tanaman masih berkisar 0.01-0.05 m/dt. Nilai ini masih terlalu kecil dibandingkan dengan nilai ideal kecepatan udara untuk penyerapan CO₂, yaitu 0.1-0.25 m/dt. Hal ini diakibatkan oleh posisi kedua kipas *input* udara yang terletak berhadapan. Berdasarkan simulasi, dapat diamati bahwa terjadi turbulensi di titik pertemuan kedua aliran udara dari kipas yang berhadapan tersebut, sehingga mengakibatkan turunnya kecepatan udara secara keseluruhan. Perlu dilakukan adanya modifikasi letak kipas *input* sehingga aliran udara tidak bertabrakan.

Pada keempat simulasi tersebut, diperoleh data keadaan suhu dan kelembaban relatif di dalam SMIPY. Terdapat lima titik pengukuran, yaitu pada Ruang Gelap, Rak 1, Rak 2, Rak 3 dan Rak 4. Hasil simulasi suhu dan kelembaban relatif pada SMIPY dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

Setelah dilakukan simulasi, data primer suhu dan kelembaban relatif diambil dengan pengaturan kipas yang mengalirkan kecepatan udara yang sama pada SMIPY. Pengukuran dilakukan di empat titik yang letaknya sama dengan titik pada simulasi. Dihitung *error* dari data yang didapatkan dari simulasi dan pengujian pada SMIPY. Dari hasil perhitungan *error*, didapatkan bahwa *error* simulasi pada data suhu adalah 1.69+1.47%, sementara pada data kelembaban relatif adalah 2.94+1.57%. Nilai *error* ini terbilang kecil dan dapat ditoleransi, sehingga disimpulkan bahwa simulasi CFD dapat digunakan untuk menganalisis kecepatan udara pada rak tanaman serta pengaruh kecepatan udara terhadap perubahan suhu dan kelembaban relatif di dalam SMIPY.

Hasil dari simulasi pengaruh perbedaan kecepatan udara terhadap suhu dalam SMIPY dapat dilihat pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa untuk suhu, semakin tinggi raknya maka suhu secara umum akan meningkat. Hal ini diakibatkan oleh semakin



Gambar 4. Hasil simulasi distribusi kelembaban relatif menggunakan CFD pada SMIPY di kecepatan (a) 0 m/dt; (b) 1 m/dt; (c) 1.5 m/dt; (d) 1.8 m/dt.

Tabel 1. Hasil dari perbandingan data suhu udara pada pengujian data langsung dan data simulasi CFD.

Kecepatan Udara (m/dt)	Pengujian Langsung (°C)	Simulasi CFD (°C)	Error (%)
0	26.7	26.9	1.3
1	26.8	26.6	1.6
1.5	26.6	26.6	2.7
1.8	26.4	26.5	1.2
Error rata-rata			1.7

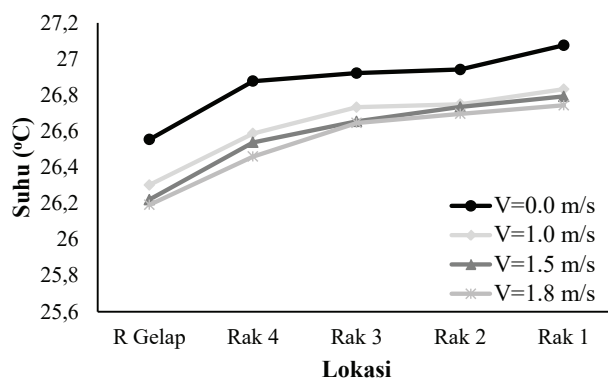
Tabel 2. Hasil dari perbandingan data kelembaban relatif udara pada pengujian data langsung dan data simulasi CFD.

Kecepatan Udara (m/dt)	Pengujian Langsung (%RH)	Simulasi CFD (%RH)	Error (%)
0	88.5	86.8	3
1	88.2	87.2	2.4
1.5	87.7	88.2	3.2
1.8	87.8	88.8	3.2
Error rata-rata			2.95

jauhnya rak dari lokasi masuknya aliran udara yaitu pada kipas di bagian paling bawah SMIPY. Semakin tinggi kecepatan aliran udara, maka suhu dalam SMIPY semakin rendah. Kipas dengan kecepatan 0 m/dt menyebabkan suhu di dalam SMIPY menjadi yang paling tinggi dibandingkan yang lainnya. Hal ini terjadi dikarenakan tidak adanya aliran udara lewat kipas ke dalam SMIPY sehingga sirkulasi udara menjadi terhambat.

Hasil dari simulasi perubahan kelembaban relatif terhadap berbagai kecepatan udara dapat dilihat pada Gambar 6. Semakin tinggi kecepatan aliran udara, maka kelembaban relatif dalam SMIPY semakin tinggi. Dari grafik, terlihat bahwa kelembaban relatif terendah terdapat pada kecepatan udara 0 m/dt, hal ini diakibatkan tidak adanya sirkulasi udara yang menyebabkan tidak adanya pula pergantian uap air di dalam SMIPY sehingga udara menjadi sangat kering.

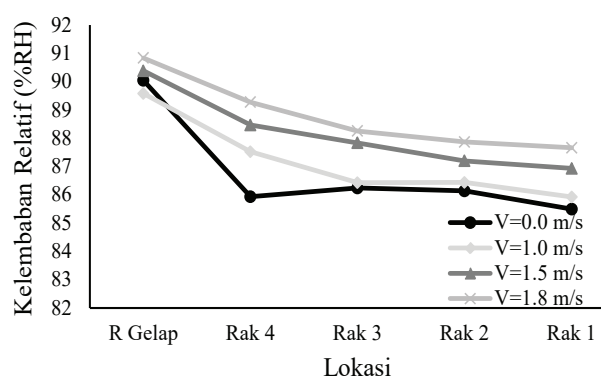
Simulasi ini dapat digunakan untuk menentukan posisi kipas dan kecepatan kipas yang sesuai untuk mensirkulasikan udara dalam SMIPY sehingga tanaman memperoleh kondisi lingkungan yang lebih baik untuk tumbuh.



Gambar 5. Hasil simulasi perubahan suhu pada berbagai kecepatan udara.

Simpulan

Rancangan dan simulasi keadaan lingkungan dari *Smart Mini Plant Factory* (SMIPY) telah berhasil dilakukan. Validasi data dilakukan dengan mengambil data suhu dan kelembaban relatif pada kecepatan udara yang melewati kipas adalah 0 m/dt, 1 m/dt, 1.5 m/dt dan 1.8 m/dt. Dari data didapatkan bahwa rata-rata error yang dihasilkan dari simulasi adalah 1.69+1.47% untuk suhu dan 2.94+1.57% untuk kelembaban relatif. sehingga simulasi baik untuk digunakan dalam memprediksi keadaan lingkungan dalam SMIPY. Pola aliran udara secara umum adalah bergerak secara vertikal, namun terjadi turbulensi di titik pertemuan kedua aliran udara dari kipas yang berhadapan. Semakin besar aliran udara, maka suhu menjadi semakin rendah dan kelembaban relatif menjadi semakin tinggi. Dikarenakan kecepatan udara pada rak tanaman masih belum mencapai nilai ideal, perlu dilakukan adanya modifikasi letak kipas *input* sehingga aliran udara tidak bertabrakan dan kecepatan tidak turun.



Gambar 6. Hasil simulasi perubahan kelembaban relatif pada berbagai kecepatan udara.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah terlibat dan turut membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kami ucapkan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendukung penuh dengan mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Albertsson, P.A., 2001. A quantitative model of the domain structure of the photosynthetic membrane. *Trends Plant Sci*, 6: 349–354.
- Apriliani, B. 2006. Analisa temperatur udara dalam single-span greenhouse, kebun percobaan Cikabayan, IPB dengan menggunakan atap ganda (*double layer*) [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Campbell. 1999. *Biologi* Jilid 1 Edisi V. Jakarta (ID): Erlangga
- Saleh, S.M, dan Wardah. 2010. Perkecambahan benih aren dalam kondisi terang dan gelap pada berbagai konsentrasi GA3. *J. Agrivigor* 10(1): 18-25
- Kitaya, Y. 2005. Importance of air movement for promoting gas and heat exchanges between plants and atmosphere under controlled environments. In K. Omasa, I Nouchi, & L. J. De Kok (Eds.), *Plant response to air pollution and global change* (185-193. Tokyo (JP): Springer-Verlag.
- Lim, T.G. dan Y.H. Kim. 2014. Analysis of Airflow Pattern in Plant Factory with Different Inlet and Outlet Locations using Computational Fluid Dynamics. *J. of Biosystems Eng.* 39(4):310-317
- Moon, S.M., S.Y. Kwon, dan J.H. Lim, S.M. Moon, S.Y. Kwon, and J.H. Lim. (2014). Minimization of Temperature Ranges between the Top and Bottom of an Air Flow Controlling Device through Hybrid Control in a Plant Factory. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–7. doi:10.1155/2014/801590
- Niam, A.G., T.R. Muharam, S. Widodo, M. Solahudin, dan L. Sucahyo. 2019. CFD simulation approach in determining air conditioners position in the mini plant factory for shallot seed production. *AIP Conference Proceedings* 2062 (1), 020017
- Shibata, T., K. Iwao, dan T. Takano. 1995. Effect of vertical air flowing on lettuce growing in a plant factory. *Acta Horticulturae*. 399: 175-183
- Shimizu, H., Y. Saito, H. Nakashima, J. Miyasaka, dan K. Ohdoi. 2011. Light Environment Optimization for Lettuce Growth in Plant factory. *Preprints of the 18th International Federations of Automatic Control (IFAC) World Congress Vol 18*. 605-609. Kyoto University, Japan. Page 605.
- Versteeg, H.K. dan W. Malalasekera. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. New York (US): Longman Scientific and TechnicList
- Zhang, Y., M. Kacira, dan L. An. 2016. A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system. *Biosystem Engineering*. 147(2016):193-205