



ANALISIS DISTRIBUSI MIKROKLIMAT BUDIDAYA DAUN DEWA (*Gynura segetum*) DI *PLANT FACTORY* MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*

DINUR SAPTIADI



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul Analisis Distribusi Mikroklimat Budidaya Daun Dewa (*Gynura segetum*) di *Plant Factory* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Oktober 2026

Dinur Saptiadi
F1401221086

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

DINUR SAPTIADI. Analisis Distribusi Mikroklimat Budidaya Daun Dewa (*Gynura segetum*) di *Plant Factory* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dibimbing oleh AGUS SUTEJO dan LILIS SUCAHYO.

Budidaya daun dewa (*Gynura segetum*) di *plant factory* memerlukan mikroklimat yang seragam di sekitar kanopi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi mikroklimat pada level kanopi daun dewa, mengembangkan model *computational fluid dynamics* (CFD) berbasis geometri tanaman hasil pemindaian tiga dimensi (3D) dan transpirasi, serta simulasi skenario perbaikan sirkulasi udara untuk mengurangi *dead zone*. Model memuat 128 tanaman hasil pemindaian 3D, sedangkan transpirasi dimasukkan sebagai fluks panas laten pada permukaan daun dan sebagai *tracer* uap air. Galat model simulasi CFD pada satu titik sensor sebesar 0,81 °C untuk suhu dan 0,67 % untuk kelembapan relatif (RH), berada dalam batas akurasi alat ukur. Hasil simulasi menunjukkan *vapor pressure deficit* (VPD) rata-rata pada lapisan 8 cm di atas kanopi sebesar 1,17–1,23 kPa dengan koefisien variasi 5,63%, dan seluruh region pada *mesh* terhalus berada dalam rentang anjuran 0,5–1,5 kPa, meskipun selisihnya terhadap batas atas masih setara dengan ketidakpastian model. Namun, 98,95% sel di dalam kanopi memiliki kecepatan udara di bawah 0,2 m/s dengan rata-rata 0,086 m/s. Penambahan 32 kipas sirkulasi menurunkan proporsi *dead zone* menjadi 17,54% dan menaikkan kecepatan rata-rata menjadi 0,435 m/s, dengan VPD tetap dalam rentang anjuran dan koefisien variasi turun menjadi 4,36%. Nilai suhu dan VPD zona kanopi belum dibandingkan dengan pengukuran pada level kanopi, belum konvergen terhadap kerapatan *mesh*, dan dipengaruhi asumsi neraca energi daun. Hasil ini dapat menjadi dasar perbaikan rancangan sirkulasi udara *plant factory*.

Kata kunci: *Computational Fluid Dynamics* (CFD), daun dewa, *dead zone*, keseragaman mikroklimat, *plant factory*, *vapor pressure deficit* (VPD).



ABSTRACT

DINUR SAPTIADI. Analysis of Microclimate Distribution in *Gynura segetum* Cultivation in a Plant Factory Using Computational Fluid Dynamics (CFD). Supervised by AGUS SUTEJO and LILIS SUCAHYO.

Cultivation of *Gynura segetum* in a plant factory requires a uniform microclimate around the canopy. This study aimed to analyze the microclimate distribution at the canopy level of *Gynura segetum*, to develop a computational fluid dynamics (CFD) model based on three-dimensional (3D) scanned plant geometry and transpiration, and to simulate an air circulation improvement scenario to reduce dead zones. The model included 128 scanned plants, and transpiration was applied as a latent heat flux on the leaf surfaces and as a water vapor tracer. After calibrating the door leakage rate, the model error at a single sensor point was 0.81 °C for temperature and 0.67 percentage points for relative humidity, within the accuracy of the instrument. The simulation showed a mean vapor pressure deficit (VPD) of 1.17–1.23 kPa in the 8 cm layer above the canopy, with a coefficient of variation of 5.63%, and all regions on the finest mesh were within the recommended range of 0.5–1.5 kPa, although the margin to the upper limit is comparable to the model uncertainty. However, 98.95% of the cells within the canopy had air velocities below 0.2 m/s, with a mean of 0.086 m/s. Adding 32 circulation fans reduced the proportion of dead zones to 17.54% and increased the mean velocity to 0.435 m/s, while VPD remained within the recommended range and its coefficient of variation decreased to 4.36%. The canopy temperature and VPD have not been compared with canopy-level measurements, have not converged with mesh refinement, and are affected by the leaf energy balance assumption. These results provide a basis for improving air circulation design in plant factories.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD), *Gynura segetum*, dead zone, microclimate uniformity, plant factory, vapor pressure deficit (VPD).



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

ANALISIS DISTRIBUSI MIKROKLIMAT BUDIDAYA DAUN DEWA (*Gynura segetum*) DI *PLANT FACTORY* MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*

DINUR SAPTIADI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Lilis Sucahyo, S.TP., M.Si.

2. Dr. Ir. Mohamad Solahudin, M.Si.

Judul Skripsi : Analisis Distribusi Mikroklimat Budidaya Daun Dewa (*Gynura segetum*) di *Plant Factory* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Nama : Dinur Saptiadi

NIM : F1401221086

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si.

NIP. 19650808 199002 1 001



Pembimbing 2:

Lilis Suchahyo, S.TP., M.Si.

NIP. 19870811 201504 1 003



Diketahui oleh

Ketua Program Studi

Teknik Pertanian dan Biosistem:

Prof. Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr.

NIP. 19630425 198903 1 001



Tanggal Ujian:
6 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2026 sampai bulan Juli 2026 ini adalah *Computational Fluid Dynamics* untuk *plant factory*, dengan judul Analisis Distribusi Mikroklimat Budidaya Daun Dewa (*Gynura segetum*) di *Plant Factory* Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Penulisan karya ilmiah ini tentunya melibatkan partisipasi, bimbingan, dan dukungan dari banyak orang. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si. dan Lilis Sucahyo, S.TP., M.Si. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta ilmu pengetahuan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
2. Dr. Ir. Mohamad Solahudin, M.Si. selaku dosen penguji atas saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr. selaku dosen moderator pada sidang skripsi.
4. Bapak M. Darma Setiawan selaku teknisi *Plant Factory* atas bantuan hal teknis dalam pengoperasian alat penelitian.
5. CPP-CEA dan *Plant Factory* SPARS yang menyediakan akses alat, bahan, dan menjadi fasilitas penulis selama penelitian berlangsung.
6. Keluarga tercinta, Bapak Oding Solehudin, Ibu Esin Susilahadiyanti, Rahman Sujatman (Kakak), dan Isep Wahyudin (Kakak), serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis.
7. Dede Santi Ikriah yang selalu memberikan dukungan dan semangat di setiap saat penulis kesusahan.
8. Rigel, Dipa, Farsa, Karin, Rere, Berlian, Resi selaku teman-teman dari warga IP4 yang selalu menjadi tempat diskusi akademik.
9. Dhavin, Syamsi, Anisa, dan teman-teman pengurus *Engineering Design Club* (EDC) lainnya yang sudah disebutkan di atas, yang telah membantu membersamai meningkatkan kapasitas keterampilan, serta selalu mengikuti apa yang penulis katakan.
10. Regi, Ziyan, Rizky, Rafiyandi, dan warga CPP lainnya yang telah membantu dalam emosional di lahan fajar selama rangkaian penelitian ini berlangsung.
11. Teman-teman lainnya Vermilion 59, yang telah menjadi teman baik selama penulis menuntut ilmu di IPB University.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Oktober 2026

Dinur Saptiadi

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanaman Daun Dewa	4
2.2 <i>Plant Factory</i> dan Lingkungan Terkendali	5
2.3 <i>Computational Fluid Dynamics</i> untuk Analisis Mikroklimat	6
2.4 Pemodelan Tanaman dalam Simulasi CFD	9
2.5 <i>Tracer Study</i> untuk Pemodelan Transpirasi	11
2.6 <i>Grid Convergence Index</i> (GCI)	13
III METODE	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur Kerja	15
3.4 Pemodelan Geometri dan <i>Computational Domain</i>	17
3.5 Uji Resolusi Geometri Tanaman	19
3.6 Simulasi CFD	21
3.7 Validasi Model	28
3.8 Zona Evaluasi dan Metrik Keseragaman	29
3.9 Verifikasi Independensi <i>Mesh</i> dengan Metode GCI	32
3.10 Analisis <i>Dead Zone</i>	34
3.11 Simulasi Skenario Perbaikan Sirkulasi	34
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Kondisi Mikroklimat <i>Plant Factory</i>	36
4.2 Geometri Tanaman Hasil Pemindaian 3D	40
4.3 Penetapan Parameter Masukan	43
4.4 Validasi Model	47
4.5 Distribusi dan Keseragaman VPD	49
4.6 Verifikasi Independensi <i>Mesh</i> dengan Metode GCI	55
4.7 <i>Dead Zone</i> dan Sirkulasi Udara	59
4.8 Keterbatasan Penelitian	66
V SIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Simpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	72



DAFTAR TABEL

1	Parameter simulasi	22
2	Parameter fisik	23
3	Ringkasan kondisi iklim mikro pada periode siang dan malam	38
4	Kecepatan udara 5 mm di atas dan di bawah daun serta galat relatifnya terhadap resolusi 5.000 <i>faces</i>	41
5	Parameter masukan model simulasi utama	47
6	Hasil validasi model pada titik sensor terhadap data 33 hari	48
7	Rata-rata dan simpangan baku VPD pada setiap region kanopi	50
8	Koefisien variasi VPD pada setiap region kanopi	54
9	Nilai VPD pada berbagai kombinasi suhu dan RH serta klasifikasinya	55
10	Hasil verifikasi independensi <i>mesh</i> (GCI) pada CV VPD	57
11	Persentase dan rata-rata kecepatan udara zona di dalam kanopi kondisi eksisting	59
12	Perbedaan konfigurasi antara model kondisi eksisting dan perbaikan sirkulasi	62
13	Perbandingan <i>dead zone</i> kondisi eksisting dan perbaikan sirkulasi	63
14	Persentase <i>dead zone</i> setiap rak dan tingkat setelah perbaikan sirkulasi	64
15	Perbandingan VPD sebelum dan sesudah perbaikan sirkulasi	65

DAFTAR GAMBAR

1	Model geometri CFD (A) geometri <i>plant factory</i> tanpa tanaman (Muharam <i>et al.</i> 2018); (B) geometri mini <i>plant factory</i> tanpa tanaman (Billah <i>et al.</i> 2023)	10
2	Pengaturan sumber <i>tracer</i> pada modul HVAC SolidWorks Flow Simulation dengan gas CO sebagai zat <i>tracer</i> dan <i>mass fraction</i> 0,9 (Sherak 2019)	12
3	Contoh keluaran <i>tracer study</i> berupa kontur <i>Tracer Mass Fraction</i> CO yang dipadukan dengan vektor kecepatan udara (Sherak 2019)	13
4	Diagram alir prosedur penelitian	16
5	Model geometri <i>plant factory</i> dan domain komputasi; (A) Tampak Isometri; (B) Tampak kanan	19
6	Variasi resolusi geometri tanaman hasil pemindaian 3D (A) 5.000 <i>faces</i> ; (B) 2.800 <i>faces</i> ; (C) 1.300 <i>faces</i>	20
7	Diagram alir masukan data dan perhitungan pada simulasi CFD	27
8	Skema zona VPD (16 region, zona di atas kanopi); (A) tampak kanan; (B) tampak depan	31
9	Pengukuran harian suhu dan kelembapan relatif ruang pada periode siang dan malam selama 33 hari	36
10	<i>Vapor Pressure Deficit</i> ruang harian pada periode siang dan malam	37
11	Medan kecepatan udara di sekitar daun tinjauan pada tiga resolusi geometri; (A) 5.000 <i>faces</i> ; (B) 2.800 <i>faces</i> ; (C) 1.300 <i>faces</i>	42

12	<i>Duty cycle</i> dan suhu suplai AC pada periode siang selama empat hari pengukuran	44
13	Peta distribusi tampak kiri pada bidang X-Z ($Y = 0,88$ m); (A) suhu; (B) RH; (C) VPD	52
14	Peta distribusi tampak atas pada bidang X-Y ($Z = 0,92$ m); (A) suhu; (B) RH; (C) VPD	53
15	Tampilan variasi <i>mesh</i> ; (A) L3; (B) L4; (C) L5	56
16	Konvergensi CV VPD terhadap jumlah sel dan nilai ekstrapolasi ϕ_{ext}	58
17	Peta kecepatan udara kondisi eksisting pada bidang kanopi; (A) Tampak atas; (B) Tampak kiri	60
18	Peta kecepatan udara hasil perbaikan sirkulasi pada bidang kanopi; (A) Tampak atas; (B) Tampak kiri	63
19	Persentase <i>dead zone</i> per region sebelum dan sesudah perbaikan	64

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Data sensor 33 hari	73
2	Lampiran 2 Data kisi suplai AC	74
3	Lampiran 3 Data laju transpirasi	75
4	Lampiran 4 Uji resolusi geometri	76
5	Lampiran 5 Volume <i>goals</i> validasi	77
6	Lampiran 6 Riwayat konvergensi <i>solver</i> pada model skenario perbaikan sirkulasi (L5)	79
7	Lampiran 7 Pivot VPD per region	80
8	Lampiran 8 Contoh perhitungan beban panas lampu	82
9	Lampiran 9 Contoh perhitungan kondisi batas suplai AC	83
10	Lampiran 10 Contoh perhitungan transpirasi tanaman	85
11	Lampiran 11 Contoh perhitungan MAPE validasi	86
12	Lampiran 12 Contoh perhitungan VPD bertahap	87
13	Lampiran 13 Contoh perhitungan koefisien variasi VPD	88
14	Lampiran 14 Uraian perhitungan GCI	89
15	Lampiran 15 Contoh perhitungan persentase <i>dead zone</i>	92
16	Lampiran 16 Pivot <i>dead zone</i> kondisi eksisting per region	93
17	Lampiran 17 Kurva tekanan debit kipas WX/H 50 Hz	94
18	Lampiran 18 Pivot <i>dead zone</i> perbaikan sirkulasi per region	95
19	Lampiran 19 Pivot VPD perbaikan sirkulasi per region	96
20	Lampiran 20 Data radiasi matahari dan suhu udara luar	97
21	Lampiran 21 Posisi dan ketinggian kedua zona evaluasi terhadap kanopi tanaman	98

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.