



## **KAJIAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS UNTUK PENENTUAN POSISI LUBANG PERFORASI PADA ZONE COOLING SYSTEM**

**RAFI NAUFAL FADHILLAH**



**TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**

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 mengikuti 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 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 mengikuti 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 “Kajian Computational Fluid Dynamics Untuk Penentuan Posisi Lubang Perforasi Pada Zone Cooling System” 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, April 2025

Rafi Naufal Fadhillah  
F1401211110

- 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 mengulik kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## ABSTRAK

RAFI NAUFAL FADHILLAH. Kajian *Computational Fluid Dynamics* Untuk Penentuan Posisi Lubang Perforasi Pada Zone Cooling System. Dibimbing oleh HERRY SUHARDIYANTO.

Produktivitas tanaman di *greenhouse* beriklim tropis sangat dipengaruhi oleh suhu tinggi. Untuk mengoptimalkan pendinginan, penelitian ini mengkaji pengaruh variasi sudut lubang pada sistem *zone cooling* dengan tabung perforasi, yang sebelumnya dirancang dengan sudut  $0^\circ$  dan dinilai kurang efisien. Tujuan penelitian adalah membandingkan konfigurasi lubang  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $45^\circ$  untuk menemukan posisi lubang tabung yang paling efektif. Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk mensimulasikan distribusi suhu dan aliran udara. Model CFD divalidasi dengan data lapangan dan terbukti sangat akurat, ditunjukkan oleh nilai  $R^2$  sebesar 0,98 dan RMSE  $0,81^\circ\text{C}$ . Analisis kuantitatif dan visual secara konsisten membuktikan bahwa konfigurasi sudut adalah yang paling optimal. Sudut ini tidak hanya mampu menghasilkan suhu rata-rata terendah di seluruh zona tanam, tetapi juga menjadi yang paling efektif dalam menciptakan distribusi suhu yang seragam dengan mengatasi stratifikasi termal melalui sirkulasi udara skala besar. Dengan demikian, sudut lubang direkomendasikan sebagai desain terbaik untuk memaksimalkan efektivitas pendinginan di *greenhouse* tropis.

Kata kunci: *zone cooling*, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *greenhouse* tropis, optimasi, efisiensi pendinginan, distribusi suhu.



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 mengutip kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## ABSTRACT

RAFI NAUFAL FADHILLAH. Computational Fluid Dynamics Study for Determining Perforation Hole Position in Zone Cooling System. Supervised by HERRY SUHARDIYANTO.

Crop productivity in tropical greenhouses is significantly influenced by high temperatures. To optimize cooling, this study investigates the effect of varying hole angles in a zone cooling system with a perforated tube, which was previously designed with a 0° angle and considered inefficient. The objective of the research is to compare 0°, 15°, 30°, and 45° hole configurations to find the most effective tube hole position. The Computational Fluid Dynamics (CFD) method was used to simulate temperature distribution and airflow. The CFD model was validated with field data and proven to be highly accurate, as indicated by an  $R^2$  value of 0,98 and an RMSE of 0,81°C. Quantitative and visual analyses consistently proved that the angle configuration is the most optimal. This angle not only achieved the lowest average temperatures across all plant zones but was also the most effective at creating a uniform temperature distribution by overcoming thermal stratification through large-scale air circulation. Therefore, a hole angle is recommended as the best design to maximize cooling effectiveness in tropical greenhouses.

**Keywords:** zone cooling, Computational Fluid Dynamics (CFD), tropical greenhouse, optimization, cooling efficiency, temperature distribution.



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 2025  
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.*



**KAJIAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS UNTUK  
PENENTUAN POSISI LUBANG PERFORASI PADA  
ZONE COOLING SYSTEM**

**RAFI NAUFAL FADHILLAH**

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

**TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**

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 mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.



**©Hak cipta milik IPB University**

**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 mengikuti 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 Prof.Dr. Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si
- 2 Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si



Judul Skripsi : Kajian *Computational Fluid Dynamics* Untuk Penentuan Posisi Lubang Perforasi Pada *Zone Cooling System*

Nama : Rafi Naufal Fadhillah  
NIM : F1401211110

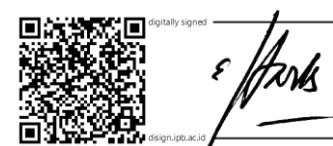
Disetujui oleh



Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, M.Sc.  
195909101985031003

Diketahui oleh



Ketua Departemen:

Dr. Ir. Edy Hartulistiyo, M. Sc. Agr  
196304251989031001



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanaahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak akhir bulan Januari hingga akhir bulan Juni 2025 ini berjudul "Kajian Computational Fluid Dynamics Untuk Penentuan Posisi Lubang Perforasi Pada Zone Cooling System". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University.

Skripsi ini tersusun atas bimbingan dan kerja sama dari berbagai pihak selama penulisan, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih penulis kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa, semangat dan kasih sayangnya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan,
2. Prof. Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, atas bimbingan, arahan, kritik, dan motivasi yang tak pernah lelah diberikan, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan selesai dengan baik,
3. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada jajaran dosen penguji, Bapak Prof. Dr. Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si dan Ibu Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si, atas kesediaan waktu, ilmu, serta saran dan kritik yang membangun selama proses ujian skripsi sehingga tulisan ini menjadi lebih baik.
4. Terima kasih juga penulis haturkan kepada Bapak Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M. Agr selaku moderator, yang telah memandu jalannya sidang ujian skripsi dengan sangat baik.
5. Dosen, staff, dan seluruh civitas Departemen Teknik Mesin dan Biosistem FATETA IPB yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama studi,
6. Bapak Lilis, atas izin dan bantuan yang diberikan dalam penggunaan fasilitas *Smart Greenhouse* sebagai lokasi penelitian,
7. Hanif, teman seangkatan sekaligus teknisi *greenhouse*, atas bantuan dan kerjasamanya dalam penggunaan alat-alat selama penelitian,
8. Teman-teman seperbimbingan: Bangkit, Bapak Dirma (S3), Bang Azzam (S2), dan Bang Bravo, atas dukungan, diskusi, serta semangat kebersamaan selama proses penulisan skripsi,
9. Para teknisi TMB: Bang Yayan, Bapak Ahmad, Bapak Darma, dan Bapak Angga, atas bantuan dan kesigapannya dalam menyiapkan berbagai barang dan kebutuhan untuk penelitian,
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin dan Biosistem angkatan 58 "RESONANCE" atas semua kebersamaan, hiburan, kebahagiaan, dan semangatnya,
11. Serta seluruh pihak yang telah memberikan waktu dan bimbingannya untuk membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun dari semua pihak demi penulisan yang lebih baik. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Mei 2025

Rafi Naufal Fadhillah



## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1 Tabung Perforasi	4
2.2 <i>Zone Cooling</i>	4
2.3 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	5
<b>III METODE</b>	<b>7</b>
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Analisis Data	16
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>18</b>
4.1 Validasi Hasil Simulasi terhadap Hasil Pengukuran	18
4.3 Efektifitas Pendinginan Zona Tanaman	19
4.3 Distribusi Suhu Udara di dalam <i>Greenhouse</i>	23
<b>V SIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>28</b>
5.1 Simpulan	28
5.2 Saran	28
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>30</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>32</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	<b>65</b>



## DAFTAR TABEL

1	Peralatan dan Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian	7
2	Suhu Udara Hasil Simulasi pada Berbagai Jarak dari Tabung Perforasi ketika Suhu Udara di dalam <i>Greenhouse</i> 45°C	19
3	Suhu Udara Hasil Simulasi pada Berbagai Jarak dari Tabung Perforasi ketika Suhu Udara di dalam <i>Greenhouse</i> 40°C	20
4	Suhu Udara Hasil Simulasi pada Berbagai Jarak dari Tabung Perforasi ketika Suhu Udara di dalam <i>Greenhouse</i> 35°C	21
5	Suhu Udara Hasil Simulasi pada Berbagai Jarak dari Tabung Perforasi ketika Suhu Udara di dalam <i>Greenhouse</i> 30°C	22
6	Suhu Udara Hasil Simulasi pada Berbagai Jarak dari Tabung Perforasi ketika Suhu Udara di dalam <i>Greenhouse</i> 25°C	23
7	<i>Boundary Layer</i>	32
8	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 09:00	33
9	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 10:00	34
10	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 11:00	35
11	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 12:00	36
12	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 13:00	37
13	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 14:00	38
14	Pengamatan Cuaca Cerah dan Mendung Jam 15:00	39
15	Data RMSE Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi	41
16	Data Hasil Simulasi Sudut 0°	47
17	Data Hasil Simulasi Sudut 15°	50
18	Data Hasil Simulasi Sudut 30°	53
19	Data Hasil Simulasi Sudut 45°	56
20	Data Gabungan Hasil Simulasi Setiap Sudut	58
21	Data Sebaran Suhu Zona Tanaman pada Suhu di dalam greenhouse 45°C	61
22	Data Sebaran Suhu Zona Tanaman pada Suhu di dalam greenhouse 40°C	62
23	Data Sebaran Suhu Zona Tanaman pada Suhu di dalam greenhouse 35°C	63
24	Data Sebaran Suhu Zona Tanaman pada Suhu di dalam greenhouse 30°C	64
25	Data Sebaran Suhu Zona Tanaman pada Suhu di dalam greenhouse 25°C	65

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 mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1	Lokasi penelitian <i>smart greenhouse</i> korea	5
2	Diagram alir prosedur penelitian	7
3	Skema Tata Letak Sistem Pendinginan <i>Smart Greenhouse</i>	8
4	Ilustrasi variasi sudut penempatan lubang perforasi	9
5	Perbandingan pola distribusi suhu sudut $45^\circ$ dan $60^\circ$	9
6	Visualisasi titik pengukuran pengambilan data suhu	10
7	Grafik <i>boundary layer</i>	10
8	Ilustrasi variasi zona tanaman <i>greenhouse</i>	12
9	Grafik perbandingan data suhu udara hasil pengukuran dan hasil simulasi	15
10	Hasil simulasi peta kontur sebaran pada suhu di dalam <i>greenhouse</i> $45^\circ\text{C}$	23
11	Hasil simulasi peta kontur sebaran pada suhu di dalam <i>greenhouse</i> $40^\circ\text{C}$	24
12	Hasil simulasi peta kontur sebaran pada suhu di dalam <i>greenhouse</i> $35^\circ\text{C}$	24
13	Hasil simulasi peta kontur sebaran pada suhu di dalam <i>greenhouse</i> $30^\circ\text{C}$	25
14	Hasil simulasi peta kontur sebaran pada suhu di dalam <i>greenhouse</i> $25^\circ\text{C}$	25
15	Hasil simulasi peta kontur sebaran suhu pada Setiap Sudut	26
16	Model <i>greenhouse</i>	70
17	Model tabung perforasi	70
18	Tampilan diperbesar: detail tampak depan tabung perforasi	71
19	Tampilan diperbesar: detail tampak samping tabung perforasi	71

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Tabel Data Hasil Pengukuran Suhu Aktual dan Simulasi	32
2	Lampiran 2 Contoh Perhitungan Penelitian	67
3	Lampiran 3 Gambar-gambar Model Simulasi	70