

- 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.

PENGARUH REKAYASA SPEKTRUM PENCAHAYAAN LED TERHADAP PERTUMBUHAN *CHLORELLA VULGARIS* PADA *PLANT FACTORY*

DUANTI MILTA DUARI



**PROGRAM STUDI MAGISTER 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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Rekayasa Spektrum Pencahayaan LED terhadap Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada *Plant Factory*” 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 tesis ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Duanti Milta Duari
F1501231004



RINGKASAN

DUANTI MILTA DUARI. Pengaruh Rekayasa Spektrum Pencahayaan LED terhadap Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada *Plant Factory*. Dibimbing oleh SUPRIYANTO, DYAH WULANDANI dan DEVITRA SAKA RANI.

Mikroalga merupakan biomassa fotosintetik yang memiliki potensi besar untuk produksi pangan, bioenergi, farmasi, dan oleokimia. Budidaya mikroalga secara konvensional umumnya dilakukan dalam sistem terbuka seperti *open raceway ponds*, memiliki keterbatasan termasuk fluktuasi suhu musiman, kualitas udara, dan kontaminasi oleh spesies yang tidak diinginkan. Penelitian ini mengusulkan model budidaya terkontrol untuk mikroalga menggunakan sistem *plant factory* yang dilengkapi dengan pencahayaan LED buatan. *C. vulgaris* dipilih dalam penelitian ini karena memiliki kandungan lipid dan protein yang tinggi serta laju pertumbuhan yang cepat, sehingga berpotensi menjadi sumber bioenergi yang menjanjikan. Tahapan penelitian meliputi budidaya mikroalga, pengukuran berat sel kering, dan evaluasi pertumbuhan mikroalga. Eksperimen dilakukan menggunakan dua perlakuan pencahayaan yaitu LED *grow light* merah-biru (daya lampu 20 W, PPFD 51 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dan intensitas cahaya 2.897 lux) serta LED putih (daya lampu 24 W, PPFD 96 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dan intensitas cahaya 4.845 lux) dengan fotoperiode 12:12 jam (terang:gelap) dan jarak pencahayaan ± 30 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroalga tertinggi dicapai di bawah pencahayaan LED kombinasi merah-biru dibandingkan putih. Kultur yang diberi pencahayaan LED merah-biru mengalami perubahan warna menjadi kuning lebih cepat dibandingkan dengan kultur yang diberi pencahayaan LED putih, yang disebabkan oleh penurunan laju fotosintesis. Kurva pertumbuhan menunjukkan tiga fase yang berbeda: fase lag, eksponensial, dan stasioner, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,96, menunjukkan kecocokan model yang kuat. Suhu di dalam *plant factory* diatur pada 24°C dan dikendalikan secara otomatis, menghasilkan rata-rata suhu harian $\pm 19^\circ\text{C}$, sementara pH kultur berkisar antara 7,7 hingga 8,6. Kepadatan sel dan berat sel kering meningkat seiring waktu selama fase pertumbuhan, tetapi menurun selama fase stasioner, menyebabkan penurunan biomassa total. Selain itu, konsentrasi nitrat dalam medium kultur menurun sepanjang periode budidaya, mencerminkan penyerapan nutrisi oleh mikroalga. Temuan ini menunjukkan bahwa pencahayaan dan kondisi lingkungan yang terkontrol secara signifikan mempengaruhi akumulasi biomassa dan status fisiologis *C. vulgaris*.

Kata kunci: berat sel kering, budidaya mikroalga, konsumsi nitrat, *optical density*, spektrum pencahayaan



SUMMARY

DUANTI MILTA DUARI. The Effect of LED Lighting Spectrum Engineering on the Growth of *Chlorella vulgaris* in a *Plant Factory*. Supervised by SUPRIYANTO, DYAH WULANDANI and DEVITRA SAKA RANI.

Microalgae are photosynthetic biomass with significant potential for food, bioenergy, pharmaceutical, and oleochemical production. Conventional microalgae cultivation is commonly conducted in open systems such as open raceway ponds, which face limitations including seasonal temperature fluctuations, air quality, and contamination by undesirable species. This study proposed a controlled cultivation model for microalgae using a *plant factory* system equipped with artificial LED lighting. *C. vulgaris* was selected for this study because it has a high lipid and protein content and a rapid growth rate, making it a promising source of bioenergy. The research consisted of microalgae cultivation, dry cell weight measurement, and evaluation of microalgal growth. The experiment was conducted using two lighting treatments: red-blue LED grow lights (20 W lamp power, PPFD of $51 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and a light intensity of 2,897 lux) and white LED lights (24 W lamp power, PPFD of $96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and a light intensity of 4,845 lux). The experiment was performed under a 12:12 h light-dark photoperiod with a lighting distance of approximately 30 cm. The results showed that the highest microalgal growth was achieved under red-blue LED lighting compared with white LED lighting. The cultures exposed to red-blue LED lighting turned yellow more rapidly than those exposed to white LED lighting, which was caused by a reduction in the photosynthetic rate. The growth curve exhibited three distinct phases: lag, exponential, and stationary, with a coefficient of determination (R^2) of 0.96, indicating a strong model fit. The temperature inside the plant factory was set at 24°C and automatically controlled, resulting in an average daily temperature of approximately 19°C , while culture pH ranges from 7.7 to 8.6. Cell density and dry cell weight increased over time during the growth phase but decreased during the stationary phase, resulting in a reduction in total biomass. Additionally, nitrate concentrations in the culture medium decreased throughout the cultivation period, reflecting nutrient uptake by the microalgae. These findings indicated that controlled lighting and environmental conditions significantly influenced biomass accumulation and the physiological status of *C. vulgaris*.

Keywords: *dry cell weight, lighting spectrum, microalgae cultivation, nitrate consumption, optical density*



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.

PENGARUH REKAYASA SPEKTRUM PENCAHAYAAN LED TERHADAP PERTUMBUHAN *CHLORELLA VULGARIS* PADA *PLANT FACTORY*

DUANTI MILTA DUARI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

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



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Perpustakaan 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 Tesis:
1 Dr. Eng. Obie Farobie, M.Si.



Judul Tesis : Pengaruh Rekayasa Spektrum Pencahayaan LED terhadap
Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada *Plant Factory*
Nama : Duanti Milta Duari
NIM : F1501231004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Ir. Supriyanto, S.TP., M.Kom., Ph.D.

Pembimbing 2:

Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si.

Pembimbing 3:

Devitra Saka Rani, S.Si., MBioResEng, Ph.D.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr.
NIP 19620803 198703 1002

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budjianto, M. Agr.
NIP 19610502 198603 1002

Tanggal Ujian:
17 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret sampai bulan Agustus 2025 ini ialah model budidaya terkontrol dan rekayasa spektrum pencahayaan untuk mikroalga pada sistem tertutup, dengan judul “Pengaruh Rekayasa Spektrum Pencahayaan LED terhadap Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada *Plant Factory*”. Thesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

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

1. Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kekuatan, kelancaran dan kemudahan dalam menjalankan dan menyelesaikan tesis ini,
2. Orang tua dan keluarga yang selalu memotivasi, mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis,
3. Bapak Supriyanto, S.TP., M.Kom., Ph.D, Ibu Dr. Ir. Dyah Wulandani., M.Si, dan Ibu Devitra Saka Rani, S.Si., MBioResEng, Ph.D, selaku dosen komisi pembimbing yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dukungan, nasehat, arahan, serta selalu sabar dan percaya kepada penulis,
4. Agribusiness Technology Park (ATP), Laboratorium Lapang Siswadhi Soepardjo (Leuwikopo), Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor, serta Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas semua fasilitasnya,
5. Staf dan Teknisi ATP dan Leuwikopo IPB yang telah memberikan izin, arahan dan bimbingan selama pelaksanaan penelitian,
6. Jasmine, Eka, Bang Dedi Apriyanto, Adinda, Rafli, Arham, Tegar, Bang Anan, Reni, dan Yuri yang telah membantu dan menyemangati selama penulis menempuh pendidikan dan penelitian,
7. Teman-teman seperjuangan program studi magister Teknik Pertanian dan Biosistem angkatan 2022 dan 2023 atas semua bantuan, dukungan, kebersamaan, dan semangatnya selama penulis menempuh pendidikan,
8. Tim Humas IMPASSEL dan seluruh anggota IMPASSEL yang telah membersamai, membantu, dan mendukung penulis,
9. Seluruh pihak yang turut berpartisipasi memberikan waktu dan bantuannya untuk membantu penyusunan tesis ini,

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

Bogor, Agustus 2026

Duanti Milta Duari



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Mikroalga	4
2.2 Budidaya Mikroalga Skala Industri	4
2.3 Sistem Budidaya Mikroalga Terkontrol	9
2.4 <i>C. vulgaris</i>	12
METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian	15
HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pertumbuhan <i>C. vulgaris</i>	21
4.2 Jumlah Sel dan Berat Sel Kering terhadap OD	23
4.3 Pengendalian dan Pemantauan Lingkungan	25
PENUTUP	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
5.3 Sistem Budidaya <i>C. vulgaris</i> Masa Depan	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	35
RIWAYAT HIDUP	41



DAFTAR TABEL

1	Perbandingan metode produksi biomassa menggunakan PBR dan ORP	9
2	Perangkat keras dan lunak beserta fungsinya	14
3	Alat dan bahan budidaya	14
4	Data yang diperlukan beserta fungsinya	15
5	Suhu yang tercatat selama budidaya <i>C. vulgaris</i>	26
6	Nilai pH yang tercatat selama budidaya <i>C. vulgaris</i>	26

DAFTAR GAMBAR

1	Keanekaragaman fenotipik mikroalga (Thoré <i>et al.</i> 2023)	4
2	Siklus lengkap budidaya mikroalga skala industri	5
3	Budidaya mikroalga pada ORP (Sharma <i>et al.</i> 2025)	7
4	Budidaya mikroalga pada PBR (Sharma <i>et al.</i> 2025)	7
5	<i>Plant factory</i> (dokumentasi pribadi)	10
6	Budidaya mikroalga terkontrol di dalam <i>plant factory</i> (dokumentasi pribadi)	11
7	Bentuk <i>C. vulgaris</i> (Hadiyanto dan Azim 2012; Coronado-reyes <i>et al.</i> 2020)	12
8	Lokasi pelaksanaan penelitian (dokumentasi pribadi)	14
9	Diagram alir penelitian yang terdiri dari penentuan ruang lingkup hingga visualisasi model	16
10	Diagram alir desain percobaan penelitian	17
11	Budidaya <i>C. vulgaris</i> menggunakan dua jenis LED: (A) merah-biru; (B) putih	18
12	Fase pertumbuhan kultur <i>C. vulgaris</i> di bawah dua jenis LED (merah-biru dan putih) pada panjang gelombang 680 nm (A) dan 750 nm (B)	21
13	Hubungan nonlinier antara absorbansi dan kepadatan sel untuk <i>C. vulgaris</i> dengan panjang gelombang 680 pada LED merah-biru (A) dan LED putih (B)	22
14	Hubungan nonlinier antara absorbansi dan kepadatan sel untuk <i>C. vulgaris</i> dengan panjang gelombang 750 pada LED merah-biru (A) dan LED putih (B)	23
15	Hubungan nonlinier antara jumlah sel dan OD pada 750 nm pada LED merah-biru (A) dan LED putih (B)	24
16	Hubungan nonlinier antara berat sel kering dan OD pada LED merah-biru (A) dan LED putih (B)	25
17	Grafik konsentrasi nitrat selama pertumbuhan <i>C. vulgaris</i> pada LED merah-biru (A) dan LED putih (B)	27



DAFTAR LAMPIRAN

1	Peralatan dan bahan penelitian	36
2	Medium walne	39
3	Dashboard kondisi lingkungan <i>plant factory</i>	40

- 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.