



Hak Cipta :

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



B a d a k L N G
LNG ACADEMY
PNJ - PT BADAK LNG

**OPTIMASI SISTEM MONITORING
FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA BERBASIS
MIKROKONTROLER UNTUK MENDUKUNG
PENINGKATAN EFISIENSI FIKSASI CO₂ DARI VENT
STACK AMINE REGENERATOR PT BADAK NGL**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:
Shendy Luthfi Kurniawan
NIM. 2302319016

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
PROGRAM LNG ACADEMY
KERJASAMA PNJ – PT. BADAK NGL
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KONSENTRASI LISTRIK INSTRUMENTASI
BONTANG 2026**



Hak Cipta :

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



Badak LNG
LNG ACADEMY

PNJ - PT BADAK LNG

**OPTIMASI SISTEM MONITORING
FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA BERBASIS
MIKROKONTROLER UNTUK MENDUKUNG
PENINGKATAN EFISIENSI FIKSASI CO₂ DARI VENT
STACK AMINE REGENERATOR PT BADAK NGL**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Diploma III Program Studi D3 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Shendy Luthfi Kurniawan
NIM. 2302319016

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
PROGRAM *LNG ACADEMY*
KERJASAMA PNJ - PT BADAK LNG
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
KONSENTRASI LISTRIK INSTRUMENTASI
BONTANG 2026**



“Tugas akhir ini kupersembahkan untuk Papah, Mamah, Adik, dan Almamater”

Hak Cipta :

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



**HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**OPTIMASI SISTEM MONITORING FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA
BERBASIS MIKROKONTROLLER UNTUK MENDUKUNG
PENINGKATAN EFISIENSI FIKSASI CO₂ DARI VENT STACK AMINE
REGENERATOR PT BADAK NGL**

Oleh:
Shendy Luthfi Kurniawan
NIM. 2302319016
Program Studi D3 Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1



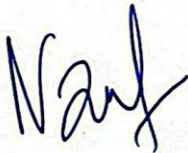
Dr., Sonki Prasetya, S.T., M.Sc.
NIP. 19752222008121003

Pembimbing 2



Ir. Atrios Martha MT, MBA, IPU
NIP.

Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin



Nabila Yudisha, S.T., M.T.
NIP. 199311302023212045

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**OPTIMASI SISTEM MONITORING FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA
BERBASIS MIKROKONTROLLER UNTUK Mendukung
Peningkatan Efisiensi Fiksasi CO₂ dari Vent Stack Amine
Regenerator PT Badak NGL**

Oleh:
Shendy Luthfi Kurniawan
NIM. 2302319016
Program Studi D3 Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal - dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar
Diploma III pada Program Studi D3 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Nabila Yudisha, S.T., M.T.	Penguji 1		07-Juli 2026
2	Ir. Rivon Tridesman, ST., IPM, ASEAN Eng	Penguji 2		07-Juli-2026
3	Dr., Sonki Prasetya, S.T.,M.Sc.	Ketua Penguji		07-juli 2026

Depok, - 2026
Disahkan oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zalnuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shendy Luthfi Kurniawan

NIM. : 2302319016

Program Studi : D3 Teknik Mesin

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 7 Juli 2026



Shendy Luthfi Kurniawan

2302319016



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

OPTIMASI SISTEM MONITORING FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK MENDUKUNG PENINGKATAN EFISIENSI FIKSASI CO₂ DARI VENT STACK AMINE REGENERATOR PT BADAK NGL

Shendy Luthfi Kurniawan¹⁾, Sonki Prasetya^{1*)}, Atrios Martha²⁾

¹⁾ Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾ PT Badak NGL, Plant Site Bontang, Kalimantan Timur, 75424

Email: shendyluthfi29@gmail.com

ABSTRAK

Tugas Akhir ini mengoptimasi sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga untuk mengamati kondisi operasi proses fiksasi CO₂ dari vent stack amine regenerator PT Badak NGL. Sistem mengintegrasikan suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran. Arduino Mega 2560 dipilih melalui matriks pembobotan dengan nilai 96%, sedangkan ESP8266 NodeMCU, LCD I2C 20×4, dan Blynk digunakan untuk komunikasi serta tampilan data. Pengujian menghasilkan R² 0,9994 pada DS18B20 dan 0,9564 pada sensor pH. Error rata-rata sensor EC sebesar 2,61% pada satu titik referensi dan water flow sensor sebesar 0,23%. Seluruh fungsi berhasil pada 10 dari 10 siklus atau 100%. Sistem belum menghitung efisiensi fiksasi CO₂ secara langsung karena konsentrasi CO₂ masuk dan keluar belum diukur.

Kata kunci: fotobioreaktor, mikroalga, sistem monitoring, Arduino Mega 2560, ESP8266 NodeMCU, Internet of Things

ABSTRACT

This final project optimizes a monitoring system for a microalgae photobioreactor at PT Badak NGL. The system integrates temperature, pH, turbidity, conductivity, light intensity, and flow rate. A weighted matrix selected the Arduino Mega 2560 with a score of 96%; the ESP8266 NodeMCU, 20×4 I2C LCD, and Blynk provide communication and data displays. Testing produced R² values of 0.9994 for the DS18B20 and 0.9564 for the pH sensor. Average errors were 2.61% for the EC sensor at one reference point and 0.23% for the flow sensor. All functions succeeded in 10 of 10 cycles, or 100%. The system does not directly calculate CO₂ fixation efficiency because inlet and outlet CO₂ concentrations were not measured.

Keywords: photobioreactor, microalgae, monitoring system, Arduino Mega 2560, ESP8266 NodeMCU, Internet of Things



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “OPTIMASI SISTEM MONITORING FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK Mendukung Peningkatan Efisiensi Fiksasi CO₂ dari Vent Stack Amine Regenerator PT Badak NGL”. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Diploma III Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Syamsurizal, S.E., M.M. selaku Direktur Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Ir. Anas Malik Abdillah, S.T., MBA, IPM. selaku Direktur LNG Academy.
3. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
4. Ibu Nabila Yudisha, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
5. Bapak Eko Wahyu Susilo selaku Ketua Peminatan Listrik dan Instrumentasi yang telah memberikan arahan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
6. Bapak Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing dari Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Bapak Ir. Atrios Martha, M.T., MBA, IPU selaku Pembimbing dari PT Badak NGL yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Abang dan Kakak Pengurus LNG Academy yang telah membantu memberikan kemudahan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.

9. Seluruh pekerja Electrical Section, MHE, Instrument Section, serta Lab & EC Section PT Badak NGL yang telah membantu selama proses observasi, perakitan, dan pengujian alat.

10. Rekan-rekan satu tim pembuatan alat fotobioreaktor mikroalga yang telah membantu dalam proses pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

11. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat selama proses penyusunan laporan ini.

12. Teman-teman LNG Academy angkatan XIII yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama penyelesaian Tugas Akhir.

13. Semua pihak dari Politeknik Negeri Jakarta dan PT Badak NGL yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan, baik dari segi isi, penyajian, maupun pembahasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi bahan pembelajaran dan referensi dalam pengembangan sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga berbasis mikrokontroler.

Bontang, 7 Juli 2026

Shendy Luthfi Kurniawan

NIM. 2302319016



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
RINGKASAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	4
1.3.1 Tujuan Umum.....	4
1.3.2 Tujuan Khusus.....	4
1.4 Manfaat Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	4
1.4.1 Bagi Penulis.....	4
1.4.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta.....	5
1.4.3 Bagi PT Badak NGL dan Dunia Industri.....	5
1.5 Batasan Masalah Tugas Akhir.....	5
1.6 Metode Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	6
1.7 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Tinjauan Teori.....	10
2.2 Tinjauan Karya Ilmiah.....	18
2.3 Kajian Komponen.....	20
2.4 Kerangka Pemikiran.....	36
2.5 Hipotesis.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	40



Hak Cipta :

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

3.1 Diagram Alir Pengerjaan	40
3.2 Penjelasan Langkah Kerja	42
3.3 Perancangan Proses Fotobioreaktor	44
3.4 Perancangan Sistem Monitoring.....	45
3.5 Perancangan Sistem Internet of Things	48
3.6 Perancangan Sistem Instrumentasi dan Kelistrikan.....	49
3.7 Pemilihan Komponen dengan Matriks Pembobotan	53
3.8 Prosedur Kalibrasi, Validasi, dan Pengambilan Data	55
3.9 Pengujian Sistem Monitoring Terintegrasi	56
3.10 Justifikasi Target Keberhasilan 90%	57
3.11 Metode Pengolahan dan Analisis Data	58
3.12 Metode Pemecahan Masalah	58
BAB IV PEMBAHASAN.....	59
4.1 Hasil Implementasi Sistem Monitoring Fotobioreaktor Mikroalga.....	59
4.2 Hasil Pemilihan Mikrokontroler melalui Matriks Pembobotan.....	61
4.3 Analisis Kalibrasi dan Validasi Sensor	63
4.3.1 Catatan Penggunaan Persamaan Koreksi dan Nilai R^2	64
4.3.2 Sensor Suhu DS18B20.....	64
4.3.3 Sensor pH.....	65
4.3.4 Sensor Turbidity.....	66
4.3.5 Sensor EC	67
4.3.6 Sensor Intensitas Cahaya BH1750.....	68
4.3.7 Water Flow Sensor.....	69
4.4 Implementasi dan Evaluasi Internet of Things	71
4.5 Pengujian Sistem Monitoring Terintegrasi	73
4.6 Kinerja Pembacaan Sistem Monitoring Terintegrasi	74
4.7 Evaluasi Pengembangan Sistem Monitoring	75
4.8 Keterbatasan Sistem	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	80



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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





Hak Cipta :

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fotobioreaktor Mikroalga	10
Gambar 2.2 Diagram Sistem Instrumentasi dan Komunikasi Data	14
Gambar 2.3 Arduino Mega 2560.....	21
Gambar 2.4 ESP8266 NodeMCU	22
Gambar 2.5 Sensor Suhu DS18B20	22
Gambar 2.6 Sensor pH	23
Gambar 2.7 Sensor Turbidity	24
Gambar 2.8 Sensor Konduktivitas	24
Gambar 2.9 Sensor Intensitas Cahaya BH1750	25
Gambar 2.10 Water Flow Sensor	26
Gambar 2.11 LCD I2C 20×4.....	27
Gambar 2.12 Tampilan Dashboard Blynk.....	27
Gambar 2.13 Tampilan Arduino IDE	28
Gambar 2.14 Power Supply 12 V	29
Gambar 2.15 Adaptor AC to DC 5 V	30
Gambar 2.16 Miniature Circuit Breaker	31
Gambar 2.17 Kontaktor.....	31
Gambar 2.18 Toggle Switch.....	32
Gambar 2.19 Lampu Indikator	33
Gambar 2.20 Pompa Air.....	33
Gambar 2.21 Pompa Peristaltik.....	34
Gambar 2.22 Solenoid Valve.....	35
Gambar 2.23 Lampu LED.....	35
Gambar 2.24 Kerangka Pemikiran	37
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan	41
Gambar 3.2 Process Flow Diagram	44
Gambar 3.3 Piping and Instrumentation Diagram	45



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Monitoring	46
Gambar 3.5 Alur Data Sistem Internet of Things	48
Gambar 3.6 Wiring Kelistrikan 220 VAC	49
Gambar 3.7 Wiring 5 VDC, Sensor, dan Perangkat Komunikasi	51
Gambar 4.1 Hasil Implementasi Sistem Monitoring Fotobioreaktor Mikroalga ...	59
Gambar 4.2 Hasil Implementasi Panel Kelistrikan	60
Gambar 4.3 Diagram Radar Pemilihan Mikrokontroler	63
Gambar 4.4 Kurva Koreksi Sensor Suhu DS18B20	65
Gambar 4.5 Kurva Koreksi Sensor pH	66
Gambar 4.6 Respons Relatif Sensor Turbidity terhadap Kondisi Sampel	67
Gambar 4.7 Repeatability Sensor EC pada Larutan Referensi	68
Gambar 4.8 Respons Sensor BH1750 terhadap Variasi Warna LED Strip	69
Gambar 4.9 Perbandingan Flow Aktual dan Flow Sensor	70
Gambar 4.10 Status Perangkat Blynk dalam Kondisi Online	72
Gambar 4.11 Tampilan Data pada Serial Monitor	72
Gambar 4.12 Tampilan Data pada LCD I2C 20×4	73
Gambar 4.13 Kinerja Pembacaan Suhu dan pH	74
Gambar 4.14 Kinerja Pembacaan Turbidity dan Konduktivitas	75
Gambar 4.15 Kinerja Pembacaan Intensitas Cahaya dan Laju Aliran	75



Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Sensor dan Komunikasi	46
Tabel 3.2 Kebutuhan Tegangan	51
Tabel 3.3 Alokasi Pin Arduino Mega 2560	52
Tabel 3.4 Matriks Pembobotan Pemilihan Mikrokontroler.....	54
Tabel 3.5 Prosedur Kalibrasi dan Validasi Sensor.....	55
Tabel 3.6 Format Pengujian Sistem Monitoring Terintegrasi	56
Tabel 4.1 Hasil Implementasi Sistem Kelistrikan dan Instrumentasi	60
Tabel 4.2 Hasil Matriks Pembobotan Pemilihan Mikrokontroler	61
Tabel 4.3 Ringkasan Analisis Sensor	70
Tabel 4.4 Rekap Keberhasilan Pengujian Sistem Monitoring Terintegrasi	73
Tabel 4.5 Perbandingan Sistem Sebelum dan Setelah Optimasi.....	75

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

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

RINGKASAN

Fotobioreaktor mikroalga merupakan sistem kultivasi tertutup yang dapat mendukung pemanfaatan CO₂ secara biologis. Tugas Akhir ini mengoptimasi sistem monitoring agar kondisi operasi fotobioreaktor dapat diamati secara lebih lengkap dan terintegrasi. Enam parameter yang dipantau meliputi suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran fluida. Pemilihan mikrokontroler menggunakan matriks pembobotan menghasilkan Arduino Mega 2560 sebagai alternatif dengan nilai tertinggi sebesar 96%. Data sensor diolah oleh Arduino Mega 2560, ditampilkan secara lokal melalui LCD I2C 20×4, dan dikirimkan melalui ESP8266 NodeMCU ke dashboard Blynk. Pengujian sensor menunjukkan R² sebesar 0,9994 pada DS18B20 dan 0,9564 pada sensor pH. Sensor EC divalidasi pada satu titik referensi dengan rata-rata error 2,61%, sedangkan water flow sensor memiliki rata-rata error 0,23% pada rentang sekitar 30 L/menit. Sensor turbidity dan BH1750 digunakan sebagai indikator respons relatif. Pengujian sistem terintegrasi dilakukan dalam 10 siklus pengamatan. Seluruh siklus berhasil membaca enam parameter, menampilkan data pada Serial Monitor dan LCD I2C, serta mengirimkan data ke Blynk, sehingga tingkat keberhasilan fungsi sistem mencapai 100%. Sistem belum menghitung efisiensi fiksasi CO₂ secara langsung karena belum dilengkapi pengukuran konsentrasi CO₂ pada sisi masuk dan keluar fotobioreaktor.

Kata kunci: fotobioreaktor, mikroalga, sistem monitoring, Arduino Mega 2560, ESP8266, Blynk

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon dioksida (CO_2) merupakan salah satu gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Aktivitas manusia, terutama melalui penggunaan energi dan kegiatan industri, menjadi salah satu penyebab peningkatan emisi gas rumah kaca [1]. Oleh karena itu, upaya pengurangan dan pemanfaatan emisi CO_2 menjadi bagian penting dalam mendukung program dekarbonisasi. Di Indonesia, arah pengendalian emisi tersebut diperkuat melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional [2].

PT Badak NGL sebagai perusahaan pengolahan Liquefied Natural Gas memiliki beberapa sumber emisi CO_2 dari kegiatan operasional, salah satunya berasal dari vent stack amine regenerator. Aliran gas tersebut memiliki potensi untuk dimanfaatkan melalui pendekatan biologis menggunakan mikroalga. Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetik yang mampu memanfaatkan cahaya dan CO_2 sebagai sumber karbon untuk menghasilkan biomassa. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa mikroalga dapat digunakan untuk mendukung proses biofiksasi CO_2 melalui sistem fotobioreaktor [3], [4].

Kultivasi mikroalga dapat dilakukan menggunakan fotobioreaktor, yaitu reaktor yang dirancang untuk menyediakan kondisi pertumbuhan mikroalga secara lebih terkendali dibandingkan sistem terbuka. Fotobioreaktor memungkinkan proses kultivasi diamati lebih baik karena kondisi seperti cahaya, suhu, pH, pencampuran, sirkulasi, dan suplai CO_2 dapat dipantau selama proses berlangsung [5]. Parameter tersebut berpengaruh terhadap kondisi medium, pertumbuhan mikroalga, serta kemampuan mikroalga dalam memanfaatkan CO_2 .

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengembangan fotobioreaktor mikroalga sebagai media fiksasi emisi CO₂ dari vent stack amine regenerator telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Penelitian tersebut membahas otomasi fotobioreaktor mikroalga berbasis mikrokontroler dengan parameter monitoring seperti pH, suhu, kekeruhan, dan intensitas cahaya [6]. Penelitian tersebut menjadi dasar pengembangan lanjutan pada Tugas Akhir ini, khususnya pada aspek optimasi sistem monitoring agar data kondisi operasi fotobioreaktor dapat diamati secara lebih lengkap dan terintegrasi.

Berdasarkan hasil identifikasi kondisi aktual alat, sistem fotobioreaktor mikroalga masih memerlukan pengembangan pada bagian monitoring. Sistem sebelumnya belum menyediakan pembacaan enam parameter secara terpadu dalam satu sistem. Parameter konduktivitas dan laju aliran belum menjadi bagian utama dalam sistem monitoring, padahal keduanya dapat memberikan informasi tambahan mengenai kondisi ion terlarut pada medium dan kestabilan sirkulasi fluida. Selain itu, data operasi belum sepenuhnya ditampilkan secara lokal dan daring dalam satu alur pemantauan yang sama.

Integrasi monitoring menjadi penting karena parameter operasi fotobioreaktor mikroalga saling berkaitan. Suhu memengaruhi aktivitas metabolisme mikroalga, pH berhubungan dengan kondisi medium dan ketersediaan karbon anorganik, kekeruhan dapat menunjukkan perubahan kondisi medium, konduktivitas menggambarkan perubahan jumlah ion terlarut, intensitas cahaya berperan dalam proses fotosintesis, dan laju aliran memengaruhi pencampuran serta distribusi CO₂ terlarut. Apabila parameter tersebut dipantau secara terpisah, kondisi operasi fotobioreaktor sulit diamati secara menyeluruh. Hal ini dapat menyebabkan proses evaluasi alat hanya didasarkan pada data yang terbatas.

Keterbatasan sistem monitoring dapat berdampak pada kurang lengkapnya informasi operasi fotobioreaktor. Tanpa pembacaan parameter yang terintegrasi, pengguna akan lebih sulit mengetahui perubahan kondisi medium, kestabilan aliran, intensitas cahaya, serta perubahan kualitas larutan selama proses pengujian berlangsung. Kondisi tersebut juga dapat menyulitkan proses evaluasi alat karena data yang tersedia belum cukup untuk menggambarkan kondisi operasi secara

Hak Cipta :

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

menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring terintegrasi yang mampu membaca, menampilkan, dan mengirimkan data enam parameter operasi secara bersamaan melalui tampilan lokal dan daring.

Pada Tugas Akhir ini, optimasi dilakukan melalui perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring enam parameter pada fotobioreaktor mikroalga. Parameter yang dipantau meliputi suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran fluida. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai mikrokontroler utama untuk membaca dan mengolah data sensor, sedangkan ESP8266 NodeMCU digunakan sebagai modul komunikasi WiFi untuk mengirimkan data ke platform Blynk. Data juga ditampilkan secara lokal melalui LCD I2C 20×4. Sistem yang dikembangkan tidak menghitung efisiensi fiksasi CO₂ secara langsung, tetapi menyediakan data parameter operasi sebagai pendukung pengamatan dan evaluasi proses fiksasi CO₂. Berdasarkan uraian tersebut, penulis mengajukan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Sistem Monitoring Fotobioreaktor Mikroalga Berbasis Mikrokontroler untuk Mendukung Peningkatan Efisiensi Fiksasi CO₂ dari Vent Stack Amine Regenerator PT Badak NGL.”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan utama pada Tugas Akhir ini adalah belum terintegrasinya sistem monitoring parameter operasi fotobioreaktor mikroalga. Sistem sebelumnya belum mampu menampilkan suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran fluida secara terpadu pada tampilan lokal dan tampilan daring. Kondisi tersebut menyebabkan proses pemantauan fotobioreaktor belum dapat dilakukan secara menyeluruh, sehingga data operasi yang diperlukan untuk mendukung evaluasi proses fiksasi CO₂ masih terbatas.

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Hak Cipta :

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

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga berbasis mikrokontroler yang mampu membaca enam parameter operasi secara terintegrasi?
2. Bagaimana menguji kinerja sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga berdasarkan keberhasilan pembacaan sensor, tampilan data lokal, dan pengiriman data daring?

1.3 Tujuan Penulisan Laporan Tugas Akhir

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari Tugas Akhir ini adalah mengoptimasi sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga berbasis mikrokontroler agar mampu membaca, menampilkan, dan mengirimkan data parameter operasi secara lokal maupun daring sebagai pendukung evaluasi kondisi operasi fotobioreaktor.

1.3.2 Tujuan khusus

Tujuan khusus dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga yang mengintegrasikan pembacaan suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran fluida serta menyediakan tampilan data secara lokal dan daring.
2. Menguji kinerja fungsional sistem monitoring berdasarkan keberhasilan pembacaan enam parameter, kesesuaian tampilan pada Serial Monitor dan LCD I2C, serta pengiriman data ke dashboard Blynk.

1.4 Manfaat Penulisan Laporan Tugas Akhir

Manfaat dari penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 Bagi Penulis

Manfaat bagi penulis adalah sebagai berikut:

1. Memenuhi salah satu persyaratan akademik dalam penyelesaian Program Diploma III Teknik Mesin Konsentrasi Listrik dan Instrumentasi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam perancangan sistem monitoring berbasis mikrokontroler.
3. Menambah pengalaman dalam integrasi sensor, mikrokontroler, perangkat tampilan, dan komunikasi data pada suatu sistem instrumentasi.
4. Melatih kemampuan analisis teknis dalam proses perancangan, perakitan, kalibrasi atau validasi sensor, dan pengujian sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga.

1.4.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta

Manfaat bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta adalah sebagai referensi pembelajaran dan pengembangan Tugas Akhir di bidang listrik dan instrumentasi, khususnya pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler. Selain itu, laporan ini dapat menjadi bahan rujukan bagi penelitian atau pengembangan alat selanjutnya yang berkaitan dengan fotobioreaktor mikroalga, sistem monitoring multi-parameter, dan penyimpanan data eksperimen.

1.4.3 Bagi PT Badak NGL dan Dunia Industri

Manfaat bagi PT Badak NGL dan dunia industri adalah menyediakan rancangan sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga yang dapat digunakan sebagai pendukung kajian pengelolaan CO₂ berbasis biologi. Sistem ini diharapkan dapat membantu proses pemantauan parameter fotobioreaktor secara lebih lengkap, menyediakan data historis untuk evaluasi, serta menjadi salah satu referensi penerapan teknologi instrumentasi dalam mendukung program dekarbonisasi industri.

1.5 Batasan Masalah Tugas Akhir

Agar pembahasan Tugas Akhir lebih terarah, maka batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- A. Tugas Akhir ini berfokus pada sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga, bukan pada sistem kontrol otomatis penuh.

Hak Cipta :

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

- B. Parameter yang dipantau meliputi suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran fluida sirkulasi.
- C. Mikrokontroler utama yang digunakan adalah Arduino Mega 2560, sedangkan ESP8266 NodeMCU digunakan sebagai modul komunikasi WiFi untuk pengiriman data ke platform Blynk.
- D. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan secara lokal menggunakan LCD I2C dan secara daring menggunakan platform Blynk.
- E. Water flow sensor digunakan sebagai parameter monitoring laju aliran dan tidak digunakan sebagai sistem proteksi otomatis untuk mematikan pompa.
- F. Sistem kelistrikan pompa, solenoid valve, kontaktor, toggle switch, dan lampu indikator digunakan sebagai bagian pendukung pengoperasian alat, namun tidak dikendalikan secara otomatis oleh Arduino pada Tugas Akhir ini.
- G. Pengujian berfokus pada keberhasilan pembacaan enam parameter, tampilan data pada Serial Monitor dan LCD I2C, pengiriman data ke Blynk, serta validasi atau evaluasi respons sensor sesuai ketersediaan alat referensi.

1.6 Metode Penulisan Laporan Tugas Akhir

Metode penelitian Tugas Akhir ini disusun untuk menjelaskan cara memperoleh data, merancang sistem, menguji alat, dan menganalisis hasil pengujian. Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut.

A. Sumber Data

Data yang digunakan pada Tugas Akhir ini diperoleh dari dua sumber, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer diperoleh dari hasil observasi kondisi alat fotobioreaktor mikroalga, hasil perancangan sistem monitoring, hasil perakitan, hasil kalibrasi sensor, hasil pengujian pembacaan sensor, hasil tampilan data pada LCD I2C, hasil pengiriman data ke Blynk, serta dokumentasi kondisi alat di lapangan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Data sekunder diperoleh dari studi literatur berupa jurnal ilmiah, buku, laporan tugas akhir sebelumnya, datasheet komponen, dokumentasi teknis Arduino Mega 2560, dokumentasi teknis ESP8266, dokumentasi platform Blynk, serta referensi lain yang berkaitan dengan fotobioreaktor mikroalga, fiksasi CO₂, sistem monitoring, mikrokontroler, sensor, dan Internet of Things.

B. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur, yaitu kegiatan mengumpulkan dan mempelajari referensi yang berkaitan dengan fotobioreaktor mikroalga, fiksasi CO₂, parameter operasi fotobioreaktor, sistem instrumentasi, sistem monitoring, mikrokontroler, sensor, dan IoT.
2. Observasi lapangan, yaitu kegiatan mengamati kondisi aktual alat fotobioreaktor mikroalga, kebutuhan parameter yang dipantau, posisi komponen, instalasi panel, serta kebutuhan pengoperasian alat.
3. Perancangan sistem, yaitu kegiatan menyusun rancangan sistem monitoring, rancangan instrumentasi, rancangan komunikasi data, rancangan kelistrikan, dan rancangan integrasi komponen pendukung alat.
4. Pengujian komponen, yaitu kegiatan menguji fungsi sensor, LCD I2C, ESP8266 NodeMCU, Blynk, serta komponen kelistrikan sebelum diintegrasikan ke sistem utama.
5. Kalibrasi dan penyesuaian pembacaan sensor, yaitu kegiatan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan nilai referensi atau alat ukur pembanding yang tersedia agar hasil pembacaan lebih sesuai dengan kondisi aktual.
6. Pengujian sistem monitoring, yaitu kegiatan menguji kemampuan sistem dalam membaca data sensor, menampilkan data pada LCD I2C, dan mengirimkan data ke platform Blynk.

Hak Cipta :

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

7. Dokumentasi, yaitu kegiatan mencatat data hasil pengujian, mengambil gambar alat, merekam kondisi wiring, serta menyimpan data pendukung yang diperlukan dalam penyusunan laporan.

C. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif sederhana. Analisis kuantitatif dilakukan melalui perhitungan selisih, persentase error, dan persentase keberhasilan fungsi sistem apabila data pembandingan tersedia. Analisis deskriptif dilakukan berdasarkan keberhasilan pembacaan sensor, kesesuaian tampilan data lokal dan daring, serta kestabilan sistem selama pengujian.

Data yang dianalisis meliputi keberhasilan pembacaan enam parameter, kesesuaian tampilan data pada Serial Monitor dan LCD I2C, keberhasilan pengiriman data ke Blynk, serta status integrasi sistem monitoring. Sistem dinyatakan berhasil apabila sensor dapat membaca parameter yang ditentukan, Serial Monitor dan LCD I2C dapat menampilkan data secara lokal, ESP8266 NodeMCU dapat mengirimkan data ke platform Blynk, dan data yang tampil sesuai dengan parameter yang dipantau.

Kriteria penerimaan internal minimal 90% digunakan untuk mengevaluasi keterulangan fungsi integrasi sistem, bukan untuk menyatakan akurasi metrologis sensor. Nilai tersebut merupakan tolok ukur pengujian prototipe dalam penelitian ini dan tidak diperlakukan sebagai standar universal.

$$\text{Keberhasilan Sistem} = \frac{\text{Jumlah Siklus Berhasil}}{\text{Jumlah Seluruh Siklus Pengujian}} \times 100\%$$

Satu siklus dinyatakan berhasil apabila enam parameter terbaca, data tampil pada Serial Monitor dan LCD I2C, data terkirim ke dashboard Blynk, dan status perangkat Blynk berada dalam kondisi Online pada pengujian

Hak Cipta :

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

daring. Persentase keberhasilan dihitung dari jumlah siklus berhasil dibandingkan dengan jumlah seluruh siklus pengujian.

1.7 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

A. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

B. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori pendukung yang berkaitan dengan fotobioreaktor mikroalga, fiksasi CO₂, sistem monitoring, sistem instrumentasi, mikrokontroler, Internet of Things, sensor, LCD I2C, ESP8266 NodeMCU, Blynk, serta komponen lain yang digunakan dalam perancangan alat.

C. BAB III METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir

Bab ini menjelaskan tahapan pengerjaan Tugas Akhir, mulai dari identifikasi kondisi awal, studi literatur, perancangan sistem monitoring, perancangan sistem instrumentasi dan kelistrikan, pengadaan material, pengujian komponen, perakitan sistem, pengujian sistem monitoring, pemecahan masalah, analisis data, hingga penyusunan laporan Tugas Akhir.

D. BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan dari sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga. Pembahasan mencakup hasil perancangan dan integrasi sistem monitoring, hasil tampilan data pada LCD I2C dan Blynk, serta hasil pengujian pembacaan sensor.

E. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil pengerjaan dan pengujian sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga serta saran untuk pengembangan sistem pada penelitian atau pengerjaan selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga yang telah dibahas pada Bab IV, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- A. Sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mengintegrasikan enam parameter operasi, yaitu suhu, pH, kekeruhan, konduktivitas, intensitas cahaya, dan laju aliran fluida. Matriks pembobotan menempatkan Arduino Mega 2560 sebagai alternatif tertinggi dengan nilai 96%. Arduino Mega 2560 mengolah data sensor, LCD I2C 20×4 menampilkan data secara lokal, dan ESP8266 NodeMCU mengirimkan data ke dashboard Blynk. Dengan demikian, rumusan masalah pertama mengenai perancangan sistem monitoring terintegrasi telah terjawab.
- B. Pengujian fungsional dalam 10 siklus pengamatan menunjukkan pembacaan enam parameter, tampilan pada Serial Monitor dan LCD I2C, serta pengiriman ke Blynk berhasil pada 10 dari 10 siklus atau 100%, sehingga memenuhi kriteria penerimaan internal minimal 90%. DS18B20 menunjukkan R^2 0,9994 dan sensor pH menunjukkan R^2 0,9564; sensor EC hanya divalidasi pada satu titik referensi, sedangkan turbidity dan BH1750 digunakan sebagai indikator relatif. Hasil tersebut menjawab rumusan masalah kedua mengenai kinerja fungsi sistem. Sistem belum dapat menghitung efisiensi fiksasi CO_2 secara langsung karena konsentrasi CO_2 pada sisi masuk dan keluar belum diukur.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem monitoring fotobioreaktor mikroalga pada penelitian atau rancang bangun berikutnya adalah sebagai berikut.

- A. Melakukan pengujian ulang seluruh sensor setelah integrasi sistem menggunakan alat atau larutan referensi untuk memverifikasi perubahan performa sensor pasca-pemasangan.
- B. Melakukan kalibrasi berkala pada sensor pH dan memberikan waktu stabilisasi probe sebelum pembacaan digunakan sebagai data monitoring. Memvalidasi persamaan koreksi suhu dan pH menggunakan kumpulan data referensi yang berbeda dari data pembentuk persamaan.
- C. Melakukan pengujian berdurasi lebih panjang dengan interval sampling dan pencatatan latensi yang terdefinisi untuk mengevaluasi kestabilan komunikasi serta reliabilitas sistem.
- D. Menambahkan penyimpanan data historis, misalnya menggunakan SD card atau basis data daring, agar perubahan parameter dapat dianalisis berdasarkan waktu operasi.
- E. Menambahkan sensor CO₂ pada jalur masuk dan keluar fotobioreaktor agar efisiensi fiksasi CO₂ dapat dihitung berdasarkan data aktual.
- F. Mengorelasikan nilai turbidity dengan konsentrasi biomassa mikroalga dan menggunakan sensor PAR atau PPFD apabila diperlukan evaluasi pencahayaan yang lebih spesifik terhadap fotosintesis mikroalga.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IPCC, “Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- [2] “Republik Indonesia, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional. Jakarta, Indonesia, 2025.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://peraturan.go.id/id/perpres-no-110-tahun-2025>
- [3] D. Ilmu *et al.*, “MICROALGAE FOR CO 2 REDUCTION AND WASTEWATER TREATMENT APPLICATION IN INDUSTRIAL AREA,” 2011. [Online]. Available: http://www.itk.fpik.ipb.ac.id/ej_itkt32
- [4] H. * Sumarno, R. N. Rostika, and N. A. Handayani, “Biofixation of Carbon dioxide by Chlamydomonas sp. in a Tubular Photobioreactor Article history,” 2012. [Online]. Available: www.ijred.com
- [5] H. Farida *et al.*, “Outdoor Closed System of Algal Mass Culture: In Sight of Comparison on Vertical and Horizontal Photobioreactor for Cultivating the Spirulina sp,” vol. 19, no. 2, pp. 54–61, doi: 10.14710/reaktor.19.02.54.
- [6] M. F. Ubaidillah, S. Prasetya, and A. F. Reviansyah, “Otomasi Fotobioreaktor Mikroalga Berbasis Mikrokontroler Untuk Fiksasi Emisi CO 2 Vent Stack Amine Regenerator,” 2025. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [7] H. Farida *et al.*, “Outdoor Closed System of Algal Mass Culture: In Sight of Comparison on Vertical and Horizontal Photobioreactor for Cultivating the Spirulina sp,” vol. 19, no. 2, pp. 54–61, doi: 10.14710/reaktor.19.02.54.
- [8] “Ugwu, C. U., Aoyagi, H., & Uchiyama, H. (2008). Photobioreactors for mass cultivation of algae. Bioresource Technology, 99(10), 4021–4028.”

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [9] “Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306.”.
- [10] “Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217–232.”.
- [11] “Razzak, S. A., Hossain, M. M., Lucky, R. A., Bassi, A. S., & de Lasa, H. (2013). Integrated CO₂ capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 622–653.”.
- [12] C. Posten, “Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae,” Jun. 2009. doi: 10.1002/elsc.200900003.
- [13] “Wang, B., Li, Y., Wu, N., & Lan, C. Q. (2008). CO₂ bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79, 707–718.”.
- [14] E. S. J. Thoré, F. Schoeters, J. Spit, and S. Van Miert, “Real-time monitoring of microalgal biomass in pilot-scale photobioreactors using nephelometry,” *Processes*, vol. 9, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.3390/pr9091530.
- [15] “Ahn, T. I., Shin, J. W., & Son, J. E. (2021). Theoretical and experimental analyses of nutrient control in EC-based nutrient recycling systems. *Frontiers in Plant Science*.”.
- [16] “Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI,” 2011. [Online]. Available: www.rohm.com
- [17] Arduino, “Mega 2560 Rev3.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>
- [18] Blynk, “Blynk Device Profile Documentation.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://docs.blynk.io/en/blynk.console/devices/device-profile>
- [19] “Bolton, W. (2021). *Instrumentation and Control Systems* (3rd ed.). Newnes/Elsevier.”.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [20] Espressif Systems, “ESP8266 ESP8266EX Datasheet,” 2024. Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: https://documentation.espressif.com/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [21] “Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.”.
- [22] Sutarsi Suhaeb; Yasser Abd Djawad; Hendra Jaya; Ridwansyah; Sabran; Ahmad Risal, *Suhaeb, S., Djawad, Y. A., Jaya, H., Ridwansyah, Sabran, & Risal, A. (2017). Mikrokontroler dan Interface. Universitas Negeri Makassar. Universitas Negeri Makassar, 2017.* Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://eprints.unm.ac.id/4523/1/Buku%20Ajar%20Mikrokontroler%20dan%20Interface.pdf>
- [23] “Analog Devices DS18B20”.
- [24] “Posten, C. (2009). Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Engineering in Life Sciences*, 9(3), 165–177.”.
- [25] DFRobot, “DFRobot pH Sensor, Analog pH Sensor V2.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://wiki.dfrobot.com/sen0161-v2/>
- [26] DFRobot, “DFRobot Turbidity Sensor, Analog Turbidity Sensor for Arduino.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://wiki.dfrobot.com/sen0189/>
- [27] DFRobot, “DFRobot EC Sensor, Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor (K=1).” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://wiki.dfrobot.com/dfr0300/>
- [28] “Seeed Studio, ‘Water flow sensor,’ Seeed Studio Wiki.” Seeed Studio. Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://wiki.seeedstudio.com/Water-Flow-Sensor/>
- [29] MEAN WELL, “MEAN WELL LRS-350 Series Datasheet,” 2026. Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://www.meanwell.com/upload/pdf/LRS-350/LRS-350-SPEC.PDF>

Hak Cipta :

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

- [30] Schneider Electric, “Schneider Electric untuk MCB/Kontaktor/Solenoid Contactors and Protection Relays,” Schneider Electric. Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://www.se.com/id/en/product-category/1500-contactors-and-protection-relays/>
- [31] DFRobot, “DFRobot Peristaltic Pump, Gravity: Digital Peristaltic Pump.” Accessed: Jun. 26, 2026. [Online]. Available: <https://wiki.dfrobot.com/dfr0523/>
- [32] ISO/IEC/IEEE, “ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering,” International Organization for Standardization, 2018.
- [33] National Aeronautics and Space Administration, “NASA Systems Engineering Handbook,” NASA/SP-2016-6105 Rev. 2, Washington, DC, USA, 2016.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

