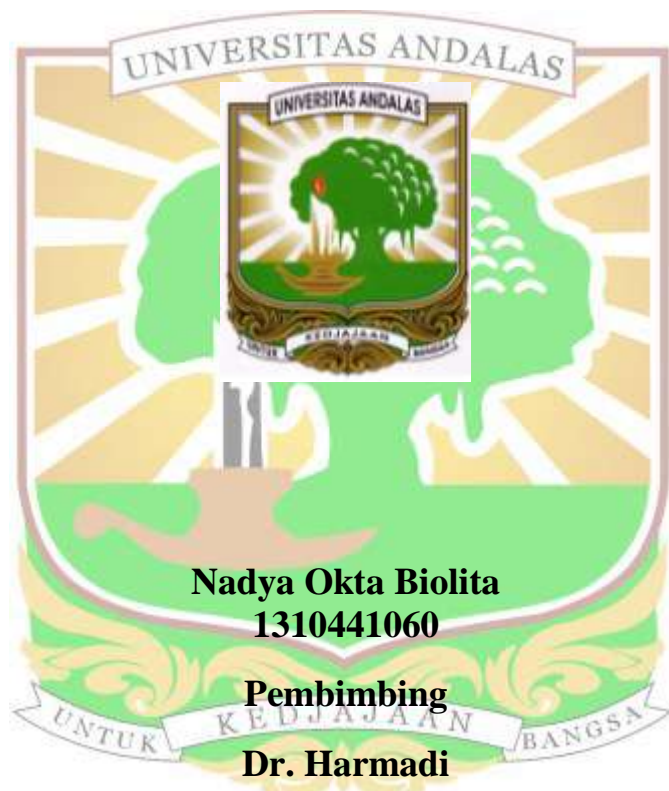


**PERANCANGAN FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA
CHLORELLA VULGARIS UNTUK MENGOPTIMALKAN
KONSENTRASI OKSIGEN (O₂)**

SKRIPSI



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

Juli, 2017

SKRIPSI

PERANCANGAN FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA *CHLORELLA VULGARIS* UNTUK MENGOPTIMALKAN KOSENTRASI OKSIGEN (O₂)

dissusun oleh:

Nadya Okta Biolita
1310441060

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 15 Juni 2017

Tim Penguji

Pembimbing Utama,



Dr. Harmodi
NIP.197112221999031001

Penguji I



Dr. Wildian, M.Si
NIP: 196108121994031001

Penguji II



Dr. Retnat Muldasinar
NIP: 198103292008011014

Penguji III



Nini Firmawati, Mag
NIP: 198805062015042003

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Saya mahasiswa Universitas Andalas yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nadya Okta Biolita
No.Bp : 1310441060
Program Studi : S1 Fisika
Fakultas : MIPA
Jenis Tugas Akhir : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Andalas hak atas publikasi *online* Tugas Akhir saya yang berjudul:

Perancangan Fotobioreaktor Mikroalga *Chlorella vulgaris* Untuk Mengoptimalkan Konsentrasi Oksigen (O₂)

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Universitas Andalas juga berhak untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengclota, merawat, dan mempublikasikan karya saya tersebut di atas selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dibuat di Padang
Pada tanggal, Juli 2017
Yang menyatakan,

(Nadya Okta Biolita)

PERANCANGAN FOTOBIOREAKTOR MIKROALGA *CHLORELLA VULGARIS* UNTUK MENGOPTIMALKAN KOSENTRASI OKSIGEN (O₂)

ABSTRAK

Telah dilakukan perancangan fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk mengoptimalkan konsentrasi Oksigen (O₂) menggunakan sumber cahaya dari lampu halogen dan LED biru. Cahaya matahari digunakan sebagai pembanding sumber cahaya buatan dan cahaya dengan intensitas 0 lux dilakukan sebagai kontrol perlakuan pada ruangan gelap. Sistem dilengkapi dengan alat kontrol temperatur menggunakan dua sensor LM35. Fotobioreaktor memiliki dua tabung, masing-masing tabung berisi 1250 ml mikroalga *Chlorella vulgaris*. Tabung pertama disuplai gas CO₂ dengan kecepatan alir 0,5 L/min dan tabung kedua tidak disuplai gas CO₂. Intensitas sumber cahaya lampu halogen divariasikan pada 1000, 3000 dan 5000 lux. Intensitas LED biru yang digunakan adalah 1065 lux. Pengontrolan temperatur berhasil mempertahankan temperatur fotobioreaktor pada rentang 25 – 35 °C. Konsentrasi maksimum gas O₂ yang dihasilkan yaitu 21,7 % pada fotobioreaktor yang menggunakan lampu halogen 1000 lux dengan suplai gas CO₂ pada lama penyinaran 7 jam. Hasil ini sesuai dengan fotobioreaktor sumber cahaya matahari dengan suplai gas CO₂ pada jam 15.00 WIB.

Kata kunci: fotobioreaktor, lampu halogen, LED biru, LM35, mikroalga *Chlorella vulgaris*.

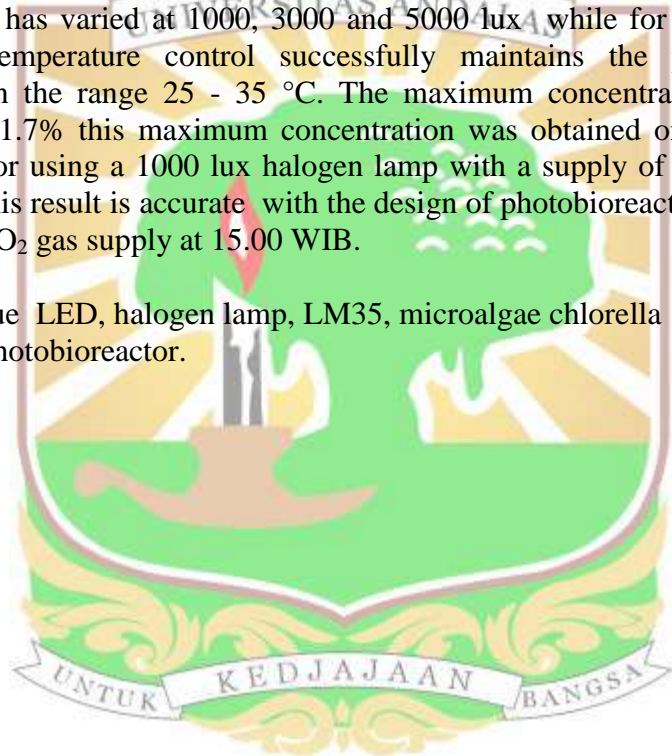


DESIGN OF MICROALGAE *CHLORELLA VULGARIS* PHOTOBIOREACTOR TO OPTIMIZE THE CONCENTRATION OF OXYGEN (O₂)

ABSTRACT

Microalgae *Chlorella vulgaris* photobioreactor to optimize the concentration of Oxygen (O₂) using halogen lamp, blue LED has been designed, sunlight used as comparison between unnatural light source and 0 lux intensity light for control in the dark room. The design is equipped with a temperature controller using two LM35 sensors. Fotobioreaktor has two tubes containing 1250 mL microalgae *Chlorella vulgaris*. The first tube is supplied CO₂ gas with flow rate 0.5 L / min and the second tube is not supplied with CO₂ gas. The intensity of halogen lamp has varied at 1000, 3000 and 5000 lux while for Blue LED was 1065 lux. Temperature control successfully maintains the photobioreactor temperature in the range 25 - 35 °C. The maximum concentration of gas O₂ produced is 21.7% this maximum concentration was obtained on the design of photobioreactor using a 1000 lux halogen lamp with a supply of CO₂ at 7 hours irradiation. This result is accurate with the design of photobioreactor of solar light source with CO₂ gas supply at 15.00 WIB.

Keywords: blue LED, halogen lamp, LM35, microalgae *chlorella vulgaris*, photobioreactor.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umatnya dari zaman kebodohan menuju zaman yang berilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini.

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Selesaiannya penulis skripsi ini tidak terlepas oleh bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Harmadi selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Mora, M.Si selaku penasehat akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dibangku perkuliahan ini.
3. Bapak Wildian, M.Si, Ibu Nini Firmawati, M.Sc, Bapak Dr rer.nat Muldalisnur. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan dan saran sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. techn. Marzuki selaku ketua Jurusan Fisika, seluruh staf pengajar dan seluruh staf pegawai Jurusan Fisika.

5. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dorongan dan motivasi yang luar biasa kepada penulis.
6. Rekan-rekan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika Universitas Andalas yang selalu memberikan dukungan dan masukan kepada penulis.
7. Teman-teman Fisika angkatan 13 yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi pembaca.



Padang, Juni 2017

Nadya Okta Biolita

DAFTAR ISI

halaman

| | |
|---|-------------|
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.3 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Ruang Lingkup Batasan Masalah..... | 5 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 6 |
| 2.1 Fotobioreaktor..... | 6 |
| 2.2 Fotobioreaktor Tertutup..... | 7 |
| 2.3 Pemanasan Global..... | 7 |
| 2.4 Konsentrasi Oksigen..... | 8 |
| 2.5 Cahaya..... | 8 |
| 2.6 Mikroalga..... | 9 |
| 2.7 Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> | 9 |
| 2.8 Interaksi Cahaya dengan Mikroalga..... | 100 |
| 2.9 Intensitas Cahaya..... | 12 |
| 2.10 Iluminasi (Kuat Penerangan)..... | 12 |
| 2.11 Luminasi..... | 13 |
| 2.12 Pengaruh Temperatur pada Mikroalga..... | 12 |
| 2.13 Lampu Halogen..... | 14 |
| 2.14 LED Biru..... | 15 |
| 2.15 Sistem Kontrol..... | 16 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 2.15.1 | Sistem Loop Terbuka | 16 |
| 2.15.2 | Sistem Loop Tertutup..... | 16 |
| 2.16 | Relai | 17 |
| 2.17 | Sensor suhu LM35 | 17 |
| 2.18 | Mikrokontroler Atmega328 | 19 |
| 2.19 | <i>O₂ gas Analyzer</i> | 20 |
| 2.20 | Lux meter..... | 21 |
| 2.21 | LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>) | 22 |
| BAB III | METODE PENELITIAN..... | 23 |
| 3.1 | Waktu dan Lokasi Penelitian | 23 |
| 3.2 | Alat dan Bahan Penelitian..... | 23 |
| 3.2.1 | Alat Penelitian..... | 23 |
| 3.2.2 | Bahan dan Komponen Penelitian | 23 |
| 3.3 | Teknik Penelitian | 24 |
| 3.4 | Penelitian Pendahuluan..... | 25 |
| 3.4.1 | Pembuatan nutrisi pada mikroalga..... | 25 |
| 3.4.2 | Pengujian respon konsentrasi <i>O₂</i> pada sampel mikroalga 250 mL..... | 26 |
| 3.4.3 | Pengkulturan awal mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> 250 ml..... | 27 |
| 3.4.4 | Pengujian absorpsi cahaya mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> menggunakan spektrometer UV-Vis..... | 27 |
| 3.5 | Perancangan Alat Kontrol Temperatur | 28 |
| 3.5.1 | Karakterisasi Sensor LM35..... | 29 |
| 3.5.2 | Perancangan Diagram Blok Sistem..... | 29 |
| 3.5.3 | Perancangan Rangkaian Penampil LCD | 30 |
| 3.5.4 | Perancangan Program..... | 30 |
| 3.6 | Perancangan Fotobioreaktor Sumber cahaya Lampu Halogen..... | 32 |
| 3.7 | Perancangan Fotobioreaktor Sumber cahaya LED Biru..... | 33 |
| 3.8 | Perancangan Fotobioreaktor Sumber cahaya Matahari | 34 |
| 3.9 | Pengumpulan Data..... | 35 |
| 3.10 | Analisis Data..... | 36 |

| | | |
|----------------------------|--|-----------|
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 36 |
| 4.1 | Karakterisasi Sensor LM35 | 38 |
| 4.2 | Pengujian tampilan LCD | 40 |
| 4.3 | Perancangan alat ukur kontrol temperatur | 41 |
| 4.4 | Perancangan Fotobioreaktor Sumber Cahaya Lampu Halogen | 42 |
| 4.4.1 | Halogen 1000 lux | 42 |
| 4.4.2 | Halogen 3000 lux | 42 |
| 4.4.3 | Halogen 5000 lux | 43 |
| 4.5 | Perancangan Fotobioreaktor Sumber Cahaya LED | 46 |
| 4.6 | Perancangan Fotobioreaktor Sumber Cahaya Matahari | 47 |
| 4.6 | Keadaan Tanpa Cahaya (0 lux)..... | 49 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN..... | 52 |
| 5.1 | Kesimpulan | 52 |
| 5.2 | Saran | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 54 |



DAFTAR GAMBAR

Halaman

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Jenis-jenis Fotobioreaktor tertutup..... | 7 |
| Gambar 2.2 Spektrum Elektromagnetik..... | 9 |
| Gambar 2.3 <i>Chlorella vulgaris</i> | 10 |
| Gambar 2.4 Skema Proses Fotosintesis | 11 |
| Gambar 2.5 Struktur lampu halogen- tungsten | 14 |
| Gambar 2.6 LED Biru | 15 |
| Gambar 2.7 Diagram blok sistem pengendalian loop terbuka | 16 |
| Gambar 2.8 Diagram blok sistem pengendalian loop tertutup..... | 17 |
| Gambar 2.9 Konstruksi Relai | 17 |
| Gambar 2.10 Bentuk fisis LM35..... | 18 |
| Gambar 2. 11 Arduino Uno <i>Board</i> | 19 |
| Gambar 2. 12 Gas alert microclip | 20 |
| Gambar 2. 13 Bentuk fisis lux meter | 21 |
| Gambar 2. 14 Bentuk fisik dan rangkaian <i>display</i> LCD 16 x 2 | 22 |
| Gambar 3.1 Diagram alir tahap penelitian | 24 |
| Gambar 3.2 Respon O ₂ | 26 |
| Gambar 3.3 Pengkulturan mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> 250 ml..... | 27 |
| Gambar 3.4 Grafik Spektrometer Uv-Vis untuk mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> .. | 28 |
| Gambar 3.5 Diagram blok sistem | 29 |
| Gambar 3.6 Diagram alir program | 31 |
| Gambar 3.7 Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen | 32 |
| Gambar 3.8 Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya LED Biru..... | 33 |
| Gambar 3.9 Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya Matahari | 34 |
| Gambar 4.1 Hasil Rancangan Fotobioreaktor | 37 |
| Gambar 4.2 Grafik hasil karakterisasi sensor LM35 ke-1. | 38 |
| Gambar 4.3 Grafik hasil karakterisasi sensor LM35 ke-2 | 39 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.4 Pengujian Rangkaian LCD..... | 40 |
| Gambar 4.5 Hasil pengujian kontrol temperatur..... | 41 |
| Gambar 4.6 Grafik konsentrasi gas O ₂ yang dihasilkan pada halogen 1000 lux. . | 42 |
| Gambar 4.7 Grafik konsentrasi gas O ₂ yang dihasilkan pada halogen 3000 lux. . | 44 |
| Gambar 4.8 Grafik konsentrasi gas O ₂ yang dihasilkan pada halogen 5000 lux... | 45 |
| Gambar 4.9 Grafik konsentrasi gas O ₂ yang dihasilkan pada LED Biru | 46 |
| Gambar 4.10 Grafik konsentrasi gas O ₂ yang dihasilkan pada Cahaya Matahari..... | 48 |
| Gambar 4.11 Grafik konsentrasi gas O ₂ yang dihasilkan pada Intensitas 0 lux.... | 50 |



DAFTAR LAMPIRAN

halaman

| | |
|--|----|
| Lampiran 1: List Program | 58 |
| 1.1 List Program Pengujian LCD | 58 |
| 1.2 List Program Pengontrolan Tempetarur | 58 |
| Lampiran 2: Data Pengukuran | 62 |
| 2.1 Data Pengukuran Karakterisasi LM35 ke-1..... | 62 |
| 2.2 Data Pengukuran Karakterisasi LM35 ke-2..... | 62 |
| 2.3 Data Pengujian Sistem Kontrol Temperatur | 63 |
| 2.4 Data Pengukuran Konsentrasi O ₂ pada lampu halogen1000 lux | 64 |
| 2.5 Data Pengukuran Konsentrasi O ₂ pada lampu halogen 3000 lux | 64 |
| 2.6 Data Pengukuran Konsentrasi O ₂ pada lampu halogen 5000 lux | 65 |
| 2.7 Data Pengukuran Konsentrasi O ₂ pada LED Biru | 65 |
| 2.8 Data Pengukuran Konsentrasi O ₂ pada Cahaya Matahari | 66 |
| 2.9 Data Pengukuran Konsentrasi O ₂ pada Intensitas (0 lux)..... | 66 |
| Lampiran 3: Data Sheet..... | 67 |
| 3.1 Data Sheet LM35 | 67 |
| 3.2 Data Sheet Arduino Uno | 69 |
| Lampiran 4: Dokumentasi..... | 73 |
| 4.1 Pengujian Alat kontrol temperatur..... | 73 |
| 4.2 Perancangan alat keseluruhan | 73 |
| 4.3 Perancangan Fotobioreaktor | 74 |
| 4.4 Pengukuran Konsentrasi Gas O ₂ | 75 |
| 4.5 Pengukuran Intensitas Cahaya | 77 |

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

| SINGKATAN | Nama | Pemakaian pertama kali pada halaman |
|------------------|---|-------------------------------------|
| CFCs | <i>Clorofluorocarbons</i> | 1 |
| CH ₄ | <i>Metana</i> | 1 |
| O ₃ | <i>Ozone</i> | 1 |
| NO | <i>Nitrogen monoxide</i> | 1 |
| CO ₂ | <i>Carbon dioxide</i> | 1 |
| O ₂ | <i>Oksigen</i> | 2 |
| LED | <i>Light Emitting Diode</i> | 2 |
| EM | <i>Electromagnetic</i> | 8 |
| ppm | <i>part per million</i> | 8 |
| nm | <i>nanometer</i> | 8 |
| µm | <i>mikrometer</i> | 9 |
| ZnSe | <i>Zinc selenide</i> | 14 |
| InGaN | <i>Indium gallium nitride</i> | 14 |
| mV | <i>millivolt</i> | 17 |
| ADC | <i>Analog Digital Converter</i> | 17 |
| GND | <i>Ground</i> | 18 |
| V _{out} | <i>Voltage Output</i> | 18 |
| V _{in} | <i>Voltage Input</i> | 18 |
| KHz | <i>Kilohertz</i> | 18 |
| Mhz | <i>Megahertz</i> | 18 |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i> | 18 |
| H ₂ S | <i>Hydrogen Sulfide</i> | 19 |
| CO | <i>Carbon monoxide</i> | 19 |
| LEL | <i>Lower Explosive Limit</i> | 19 |
| LCD | <i>Liquid Crystal Display</i> | 21 |
| ASCII | <i>American Standard Code for Information Interchange</i> | 21 |



| | | |
|-----|---|----|
| RAM | <i>Random Access Memory</i> | 21 |
| ROM | <i>Read Only Memory</i> | 21 |
| VCC | <i>Voltage Collector</i> | 22 |
| RS | <i>Register Select</i> | 22 |
| R/W | <i>Read/Write</i> | 22 |
| EN | <i>Enable Signal</i> | 22 |
| PCB | <i>Printed Circuit Board</i> | 23 |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> | 31 |
| SDA | <i>Serial Data</i> | 31 |
| SCL | <i>Serial Clock</i> | 31 |



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Global warming (pemanasan global) merupakan permasalahan yang penting dalam kehidupan saat ini. Pemanasan global dapat menyebabkan meningkatnya temperatur di permukaan bumi, sehingga berpotensi menimbulkan bencana alam. Salah satu penyebab dari pemanasan global adalah bertambahnya emisi gas CO₂ (Karbon dioksida).

Gas CO₂ merupakan gas yang paling berkontribusi dalam pemanasan global yaitu sekitar 50%. Gas CFC_s (Klorofluorokarbon), CH₄ (Metana), O₃ (dinitrooksida) dan NO (Nitrogenmonoksida) masing-masing berkontribusi lebih kurang 20%, 15%, 8%, dan 7% (Hidayati, 2001). Pembakaran bahan bakar fosil secara global menghasilkan miliaran ton gas CO₂ setiap tahunnya, sehingga sinar matahari yang diterima di permukaan bumi tidak leluasa dipantulkan kembali ke atmosfer (Cahyono, 2006). Gas CO₂ merupakan emisi terbesar yang dilepaskan ke udara pada kasus pembakaran hutan, konsentrasi gas CO₂ mencapai 90% dari emisi keseluruhan pembakaran (Nurhayati dkk., 2010). Pertambahan emisi gas CO₂ sangat mempengaruhi kualitas udara.

Usaha untuk mengurangi konsentrasi gas CO₂ telah banyak dilakukan, salah satunya dengan menggunakan mikroalga. Mikroalga memiliki jumlah yang berlimpah dan berkembang biaknya cukup mudah untuk dilakukan sehingga mikroalga mampu menjadi sumber daya yang terbaharukan (Danisyati dkk., 2012). Mikroalga juga memiliki potensi yang lebih besar untuk mengatasi pemanasan global dibandingkan dengan cara reboisasi hutan (Bioshop dkk.,

2000). Mikroalga banyak diteliti pada beberapa tahun terakhir sebagai mitigasi emisi gas CO₂ (Melis, 2002). Mikroalga menangkap konsentrasi CO₂ bersama cahaya untuk proses fotosintesis sehingga menghasilkan O₂. (Pujiono, 2013). Mikroalga terbagi menjadi 8 filum yaitu *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *chrysophyta*, *Phaeophyta*, *Rhodophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta*, *Phyrophyta* (Kawaroe dkk., 2010). Salah satu jenis mikroalga yang paling banyak dimanfaatkan untuk mitigasi emisi gas CO₂ adalah *Chlorella vulgaris*. *Chlorella vulgaris* mudah ditemukan hampir di seluruh wilayah Indonesia, *Chlorella vulgaris* mampu berfotosintesis dengan menggunakan sumber cahaya buatan (Bernard dkk., 2016) memiliki umur sel yang lebih lama dibandingkan dengan mikroalga lainnya yaitu mencapai 60 hari (Kurnia, 2015).

Pengoptimalan kemampuan dari mikroalga dapat diperoleh melalui perancangan suatu fotobioreaktor. Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang menggunakan sumber cahaya. Bioreaktor adalah tempat terjadinya konversi yang melibatkan organisme tertentu menjadi suatu hasil yang dikehendaki (Jordening dan Winter, 2005). Fotobioreaktor terbagi menjadi dua jenis yaitu fotobioreaktor tertutup dan fotobireaktor terbuka. Kondisi pada fotobiorekator tertutup lebih mudah untuk dikontrol dan kemungkinan terkontaminasinya mikroalga lebih kecil dibandingkan dengan fotobioreaktor terbuka. Salah satu jenis fotobioreaktor tertutup adalah fotobioreaktor *tubullar* yang memiliki efisiensi fotosintesis tertinggi dibandingkan dengan jenis fotobioreaktor tertutup lainnya (Hadiyanto dkk., 2012).

Penggunaan fotobioreaktor pada mikroalga untuk pengoptimalan konsentrasi oksigen (O_2) dan mitigasi emisi gas CO_2 telah dikembangkan oleh Santoso dkk. (2011), Daniyati dkk. (2012) dan Yuliandri dkk. (2013). Santoso dkk. (2011) merancang fotobioreaktor *tubular* dengan skala industri menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* Santoso dkk. (2011) menghitung konsentrasi CO_2 yang berhasil diserap sebesar $2,3 \pm 0,91\%$ pada kecepatan alir CO_2 1,5 L/min dan $1,5 \pm 0,47\%$ pada kecepatan alir CO_2 2 L/min. Daniyati dkk. (2012) merancang fotobioreaktor jenis *flat-plate* menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* yang disuplai gas CO_2 dan menghitung konsentrasi gas O_2 yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah bertambahnya konsentrasi O_2 sebesar 0,54% pada satu jam pertama. Penelitian ini tidak dilakukan variasi sumber cahaya pada fotobioreaktor. Yuliandri dkk. (2013) merancang fotobioreaktor *tubular* menggunakan mikroalga *Spirulina sp.* Penyerapan gas CO_2 tertinggi yang dihasilkan adalah 0,47%. Fotobioreaktor yang dirancang oleh Santoso dkk. (2011) dan Yuliandri dkk. (2013) tidak mengukur konsentrasi gas oksigen (O_2) dan tidak memvariasikan sumber cahaya.

Berdasarkan permasalahan dan hasil penelitian yang telah diuraikan maka dilakukan penelitian perancangan fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk mengoptimalkan konsentrasi oksigen (O_2). Fotobioreaktor yang dirancang adalah fotobioreaktor *tubular* dengan variasi pemberian konsentrasi gas CO_2 sebesar 0,5 L/min dan tanpa pemberian konsentrasi gas CO_2 . Fotobioreaktor ini menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan sumber cahaya berasal dari LED Biru dan lampu halogen. Sumber cahaya buatan digunakan karena dapat

diaplikasikan pada ruangan tertutup, terutama pada ruangan yang tidak terkena sinar matahari. Konsentrasi O_2 yang dihasilkan menggunakan sumber cahaya LED Biru dan lampu halogen dibandingkan dengan yang dihasilkan sumber cahaya matahari dan kontrol perlakuan pada keadaan tanpa cahaya. Suhu fotobioreaktor dikontrol dengan alat kontrol temperatur. Pengontrolan suhu dilakukan karena mikroalga mampu hidup secara maksimal pada rentang suhu 25 °C sampai 35 °C (Chrismada dkk., 2007).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan suatu rancangan fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* yang mampu mengoptimalkan konsentrasi O_2 dengan menggunakan sumber cahaya lampu halogen dan LED Biru
2. Merancang bangun suatu alat yang mampu mengontrol temperatur pada rentang 25 °C-35 °C.
3. Mengukur dan menganalisis hasil rancangan fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* menggunakan lampu halogen dan LED Biru dibandingkan dengan yang dihasilkan sumber cahaya matahari dan kontrol perlakuan pada keadaan tanpa cahaya

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

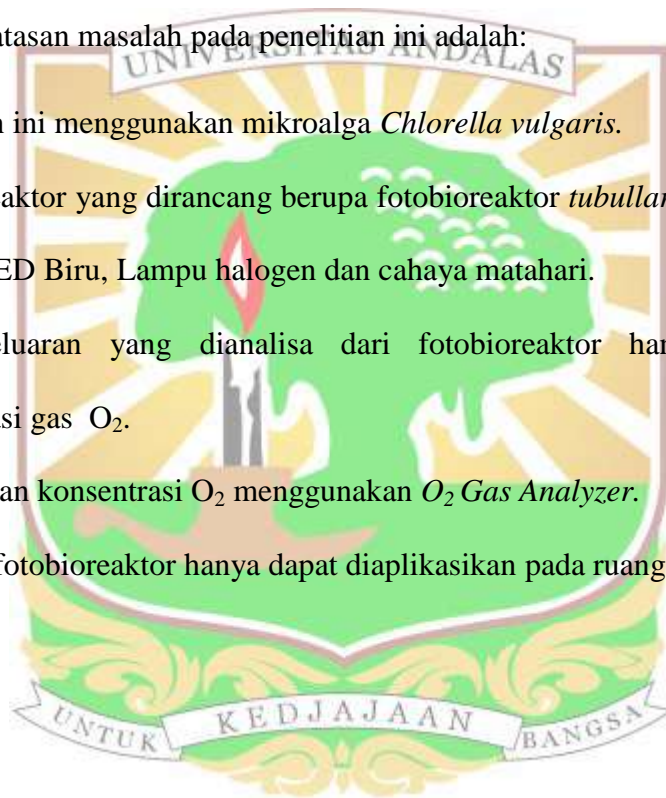
1. Fotobioreaktor ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi polusi dan mengurangi efek dari pemanasan global.

2. Mengetahui potensi mikroalga *Chlorella vulgaris* dalam menghasilkan O_2 dengan cara merancang fotobioreaktor.
3. Rancangan fotobioreaktor ini dapat diaplikasikan lebih lanjut dalam bidang industri maupun rumah tangga, karena memiliki sistem tertutup sehingga mudah untuk dikontrol.

1.4 Ruang Lingkup Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris*.
2. Fotobioreaktor yang dirancang berupa fotobioreaktor *tubular* dengan sumber cahaya LED Biru, Lampu halogen dan cahaya matahari.
3. Hasil keluaran yang dianalisa dari fotobioreaktor hanya merupakan konsentrasi gas O_2 .
4. Pengukuran konsentrasi O_2 menggunakan *O_2 Gas Analyzer*.
5. Aplikasi fotobioreaktor hanya dapat diaplikasikan pada ruangan tertutup.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Pemanasan Global

Pemanasan global (*global warming*) adalah suatu bentuk ketidak seimbangan ekosistem di bumi akibat terjadinya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan di bumi. Pemanasan global berhubungan dengan proses meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi. Peningkatan suhu permukaan bumi ini dihasilkan oleh adanya radiasi sinar matahari menuju ke atmosfer bumi, kemudian sebagian sinar ini berubah menjadi energi panas dalam bentuk sinar infra merah diserap oleh udara dan permukaan bumi. Sebagian sinar infra merah dipantulkan kembali ke atmosfer dan ditangkap oleh gas-gas rumah kaca terutama berupa CO₂, CH₄ dan NO (Gleason dkk., 2007).

2.2 Konsentrasi Oksigen

Oksigen atau (O₂) merupakan salah satu komponen gas yang paling penting dalam proses pernafasan manusia. Bukan hanya pada pernafasan, Oksigen juga memiliki peranan yang penting pada semua proses tubuh manusia, kebutuhan oksigen juga merupakan kebutuhan yang paling utama dan sangat vital bagi tubuh manusia. Kekurangan oksigen dapat menyebabkan berbagai penyakit pada tubuh manusia. Oksigen merupakan komponen gas utama penyusun air dan batuan di bumi sehingga oksigen merupakan unsur yang paling melimpah di alam. Oksigen memiliki konsentrasi di udara sekitar 19% - 20% atau 190.000 ppm - 200.000 ppm. Oksigen dapat dihasilkan dari proses fotosintesis dengan bantuan dari CO₂ (Kusminingrum, 2008).

2.3 Fotobioreaktor

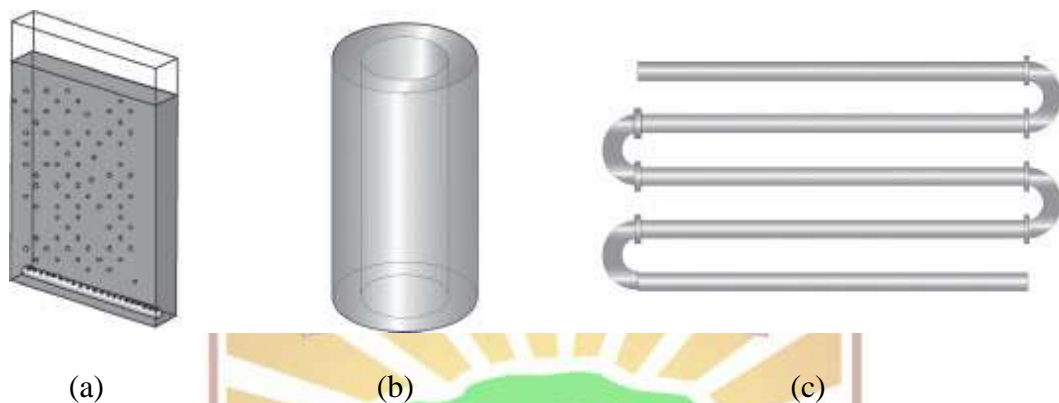
Fotobioreaktor merupakan bioreaktor yang menggunakan sumber cahaya (matahari, lampu halogen, LED) yang digabungkan kedalam sistem bioreaktor. Fotobioreaktor dirakit dari bahan yang tembus pandang seperti (gelas, akrilik dan plastik) dan dilengkapi dengan suplai media tertentu dan emisi gas. Salah satu faktor utama yang dipertimbangkan dalam perancangan fotobioreaktor yaitu efektifitas biaya dalam perancangan. Fotobioreaktor awalnya digunakan untuk memproduksi biomassa namun seiring berkembangnya zaman fotobioreaktor mampu dikembangkan untuk berbagai penelitian termasuk untuk memitigasi emisi gas CO₂ (Santoso dkk., 2011).

2.4 Fotobioreaktor Tertutup

Fotobioreaktor terdiri atas fotobioreaktor tertutup dan terbuka. Fotobioreaktor tertutup memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan fotobioreaktor terbuka. Kondisi pada fotobioreaktor tertutup lebih mudah dikontrol dibandingkan dengan fotobioreaktor terbuka. Kemungkinan terkontaminasinya mikroalga pada sistem terbuka lebih besar dibandingkan dengan sistem tertutup. Berikut beberapa karakteristik dari fotobioreaktor tertutup.

1. *Grow rate* pada fotobioreaktor tertutup berkisar antara 1-500 g/m² per hari.
2. Kebutuhan tempat untuk fotobioreaktor tertutup lebih kecil dibandingkan dengan fotobioreaktor terbuka.
3. Pada fotobioreaktor tertutup hampir tidak ada kehilangan CO₂ ke atmosfer.
4. Kedalaman air pada fotobioreaktor tertutup 0,1 m (Hadiyanto dkk., 2012)

Fotobioreaktor tertutup terdiri dari tiga jenis yaitu fotobioreaktor *flat-plate*, Fotobioreaktor tipe *annular* dan fotobioreaktor *tubular*. Jenis-jenis fotobioreaktor tertutup dapat dilihat pada Gambar 2.1.

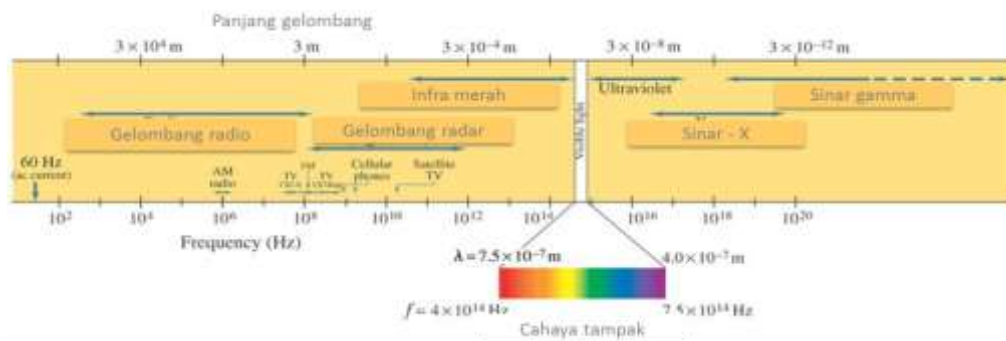


Gambar 2.1 Jenis-jenis Fotobioreaktor tertutup a. fotobioreaktor *flat-plate*, b. fotobioreaktor *annular*, c. fotobioreaktor *tubular*
(Sumber:Posten, 2009)

Fotobioreaktor jenis *flat plate* berbentuk seperti lempengan tipis. Fotobioreaktor jenis *annular* berbentuk toroid (seperti donat atau cincin) dan fotobioreaktor jenis *tubular* berbentuk seperti silinder. Dari ketiga jenis fotobioreaktor tersebut, efisiensi fotosintesis tertinggi terjadi pada fotobioreaktor jenis *tubular* (Hadiyanto dkk., 2012).

2.5 Cahaya

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat merambat tanpa medium. Maxwell berpendapat bahwa cahaya memiliki gejala kelistrikan dan kemagnetan sehingga cahaya tergolong gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik atau radiasi EM telah terdeteksi dengan interval yang lebar dan dikelompokkan dalam spektrum elektromagnetik (Tipler, 1998). Spektrum elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.2..



Gambar 2.2 Spektrum Elektromagnetik
(Sumber: Giancoli, 1991)

Panjang gelombang cahaya tampak berkisar antara 400 nanometer (nm) hingga 750 nanometer (nm), dimana jika diuraikan cahaya ini akan terdiri atas beberapa daerah warna seperti yang terlihat pada gambar 2.2 (Giancoli, 1991). Sumber cahaya memancarkan energi, sebagian dari energi ini diubah menjadi cahaya tampak (*visible light*). Perambatan cahaya dilakukan oleh gelombang elektromagnetik (Pamungkas dkk., 2015).

2.6 Mikroalga

Mikroalga adalah kelompok tumbuhan berukuran mikroskopis yang termasuk dalam kelas alga. Mikroalga sering disebut dengan fitoplankton. Mikroalga ada yang hidup di daerah air tawar dan adapula yang hidup di daerah air laut. Diameter dari mikroalga berkisar antara (3-30) μm baik sel tunggal maupun sel yang koloni. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler namun belum ada fungsi yang jelas pada masing - masing sel-sel penyusun komponen dari mikroalga, hal itu yang membedakan mikroalga dengan tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004).

2.7 Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris merupakan mikroorganisme yang termasuk dalam

devisi *Chlorophyta*. Mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* berwarna hijau, pergerakannya tidak *motil* dan struktur tubuhnya tidak memiliki *flagel*. Selnya berbentuk bola berukuran sedang dengan diameter (2-10) μm , bergantung pada spesiesnya, kloroplas berbentuk seperti cangkir (Abdurachman dkk., 2013). Bentuk sel dari mikroalga *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

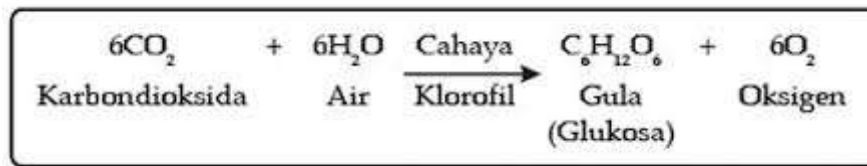


Gambar 2.3 *Chlorella vulgaris*
(Sumber: Dewi, 2015)

Chlorella dikategorikan ke dalam kelompok alga hijau karena kandungan zat hijau yang dimilikinya sangat tinggi, bahkan melebihi jumlah yang dimiliki oleh beberapa tumbuhan tingkat tinggi. Berwarna hijau karena pigmen yang mendominasi adalah klorofil. *Chlorella* merupakan organisme eukariotik (memiliki inti sel) (Kurnia, 2015).

2.8 Interaksi Cahaya dengan Mikroalga

Pemberian cahaya sangat mempengaruhi proses fotosintesis tumbuhan salah satunya adalah mikroalga. Fotosintesis menghasilkan glukosa dan oksigen proses fotosintesis dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema proses fotosintesis
(Yudiarti dkk., 2004)

Pada proses fotosintesis cahaya yang digunakan adalah spektrum cahaya tampak. Oksigen merupakan hasil sampingan dari fotosintesis dimana volumenya dapat diukur. Oleh sebab itu maka untuk mengetahui tingkat produksi fotosintesis adalah dengan mengukur volume oksigen yang dikeluarkan dari tumbuhan (Kurnia, 2015).

Mikroalga merupakan organisme fotosintetik. Mikroalga menyerap cahaya dalam bentuk foton. Energi dari foton tersebut akan digunakan oleh klorofil untuk memecah ikatan hidrogen pada air yang nantinya bersama CO_2 dalam fotosintesis akan digunakan untuk menghasilkan O_2 (Pujiono, 2013).

Sebuah foton merupakan sebuah kuantum energi elektromagnet yang diserap atau dipancarkan. Menurut Planck setiap foton dari radiasi berfrekuensi ν memiliki energi (Krane, 2006). Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1.

$$E_f = h \cdot \nu \tag{2.1}$$

h merupakan konstanta planck yang bernilai $6,63 \times 10^{-34}$ J.s dan ν merupakan frekuensi dari sumber cahaya yang diberikan pada mikroalga dalam proses fotosintesis. Persamaan lain juga dapat ditunjukkan pada persamaan 2.2.

$$E_f = h \frac{c}{\lambda} \tag{2.2}$$

Persamaan 2.2 menunjukkan bahwa besar energi foton yang diserap pada proses fotosintesis bergantung pada panjang gelombang cahaya yang diberikan.

Pada proses fotosintesis, cahaya yang digunakan adalah spektrum cahaya tampak. Proses fotosintesis menghasilkan karbohidrat dan oksigen. Oksigen merupakan hasil sampingan dari fotosintesis dimana volumenya dapat diukur. Oleh sebab itu maka untuk mengetahui tingkat produksi fotosintesis adalah dengan mengukur volume oksigen yang dikeluarkan dari tumbuhan (Kurnia, 2015).

2.9 Intensitas Cahaya

Cahaya menjadi faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga karena dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Intensitas cahaya sering disebutkan dalam satuan candela (Cd) atau lux. Intensitas cahaya adalah arus cahaya dalam lumen yang diemisikan setiap sudut ruang (pada arah tertentu) oleh sebuah sumber cahaya. Secara matematis, intensitas cahaya dapat ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (2.3)$$

Pada persamaan (2.3), dapat diketahui bahwa Intensitas cahaya (I) sebanding dengan fluks cahaya (Φ) dan berbanding terbalik dengan sudut ruang (ω). Choochote dkk. (2010) melaporkan bahwa *Chlorella sp* dapat tumbuh dalam keadaan maksimum pada kondisi intensitas cahaya 1000 lux - 5000 lux.

2.10 Iluminasi (Kuat Penerangan)

Iluminasi atau kuat penerangan adalah nilai kepadatan arus cahaya yang jatuh pada permukaan seluas satu satuan luas, jika permukaan tersebut

mendapatkan penerangan secara seragam (Pringatun dkk., 2011). Seperti pada persamaan 2.4.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.4)$$

Iuminasi atau kuat penerangan memiliki satuan lux (lm/m^2) Iuminasi sebanding dengan Φ Fluks Cahaya (lm) dan berbanding terbalik dengan A luas bidang (m^2).

2.11 Luminasi

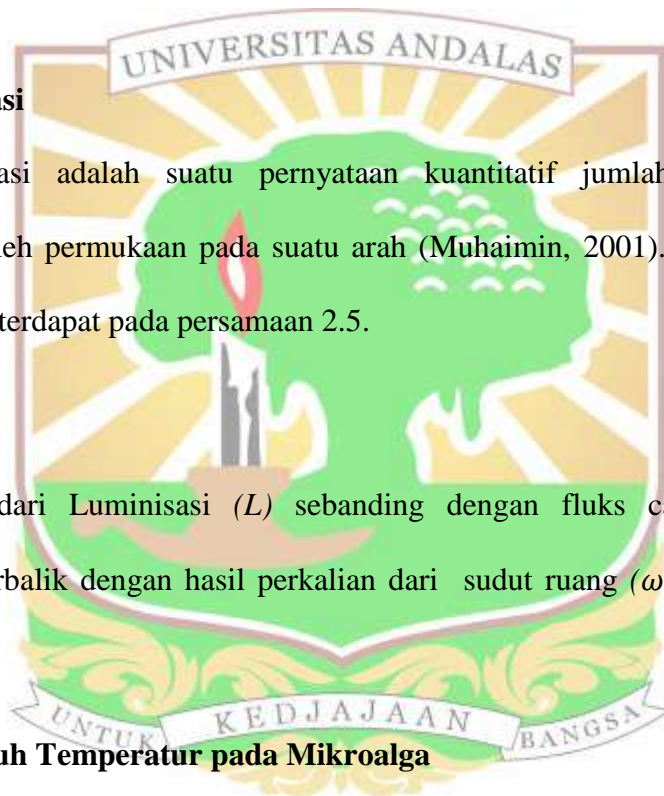
Luminasi adalah suatu pernyataan kuantitatif jumlah cahaya yang dipantulkan oleh permukaan pada suatu arah (Muhaimin, 2001). Untuk mencari nilai luminasi terdapat pada persamaan 2.5.

$$L = \frac{\Phi}{\omega R} \quad (2.5)$$

Nilai dari Luminisasi (L) sebanding dengan fluks cahaya (Φ) dan berbanding terbalik dengan hasil perkalian dari sudut ruang (ω) dan titik jarak (R).

2.12 Pengaruh Temperatur pada Mikroalga

Temperatur menjadi parameter pertumbuhan mikroalga yang cukup penting karena didasarkan pada tempat tumbuhnya, baik dalam iklim tropis maupun sub tropis. Sebagian besar alga dapat tumbuh pada suhu antara $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beberapa mikroalga dapat tumbuh subur pada kondisi suhu kisaran $25\text{ }^{\circ}\text{C} - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada suhu di bawah $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, mikroalga masih dapat tumbuh dalam



keadaan lambat. Namun pada suhu di atas $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, beberapa mikroalga dapat mati atau *lysis* (pecah) (Chrismadha dkk., 2007).

2.13 Lampu Halogen

Lampu halogen merupakan lampu pijar yang memiliki filamen tungsten yang disegel oleh bola kaca dan diisi dengan gas dan zat halogen seperti iodin atau bromin. Tungsten memiliki titik leleh yang paling tinggi diantara logam – logam lainnya yaitu $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $3400\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan memiliki tekanan uap yang paling rendah. Lampu halogen memiliki lapisan dalam yang dapat memantulkan panas kembali kedalam bohlam untuk meminimalisir panas lampu halogen (Bagher, 2016). Struktur lampu halogen dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur lampu halogen- tungsten
(Sumber: NEMA, 2003)

Uap Iodium bereaksi dengan atom-atom tungsten yang menguap di bawah permukaan dan berubah menjadi tungsten iodida. Molekul-molekul senyawa iodida selanjutnya melayang-layang dalam bola lampu sampai bertemu dengan filamen yang sedang berpijar.

2.14 LED Biru

Light Emitting Diodes (LED) merupakan semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik atau dioda yang memancarkan cahaya bila dialirkan arus listrik. LED memancarkan cahaya dikarenakan pergerakan elektron pada material. LED terdiri dari bahan semikonduktor yang memancarkan gelombang cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dan memancarkannya dalam jumlah besar (Kurniawati, 2008). Jenis LED Biru merupakan LED yang terbaik untuk digunakan pada fotosintesis. Bentuk Fisis dari LED Biru dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 LED Biru

(Sumber: Nugraha, 2014)

LED Biru terdiri dari dua material yaitu *Zinc selenide* (ZnSe) dan *Indium gallium nitride* (InGaN) dengan panjang gelombang 450 – 500 nm. LED warna biru baik untuk pertumbuhan tanaman karena klorofil banyak menyerap cahaya biru sehingga fotosintesis berlangsung optimal (Syafriyudin dkk., 2015).

2.15 Sistem Kontrol

sistem kontrol merupakan suatu sistem dengan masukan tertentu untuk mendapatkan keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, sistem kontrol disebut juga dengan istilah lainnya seperti teknik pengendalian, sistem pengendalian atau disebut juga sistem pengontrolan. Banyak parameter yang dapat bisa di kontrol atau dikendalikan diantaranya adalah temperatur, level, laju, tekanan.

2.15.1 Sistem Loop Terbuka

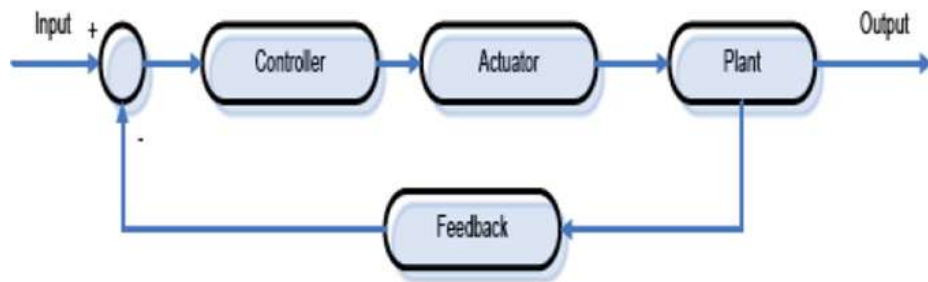
Sistem loop terbuka adalah suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengontrolan. Dengan demikian pada sistem kontrol ini, nilai keluaran tidak di umpan-balikkan ke parameter pengendalian seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram blok sistem pengendalian loop terbuka
(Sumber: Erinofiardi dkk., 2012)

2.15.2 Sistem Loop Tertutup

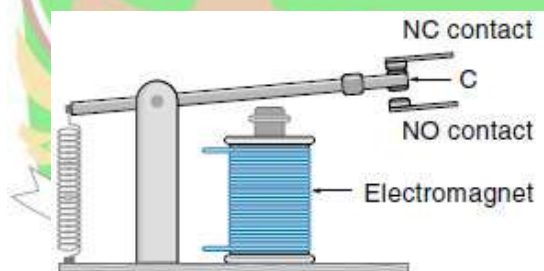
Sistem loop tertutup adalah suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya berpengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (*feedback*), lalu diumpankan pada komponen pengendalian (*controller*) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran sistem semakin mendekati harga yang diinginkan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Diagram blok sistem pengendalian loop tertutup
(Sumber: Erinofiardi dkk., 2012)

2.16 Relai

Relai merupakan saklar elektromagnetik yang dapat membuka dan menutup untuk mengendalikan suatu peralatan listrik. Prinsip kerja relai adalah merubah arus listrik yang mengalir dalam kumparan menjadi medan magnet sehingga inti yang berada ditengah kumparan berubah menjadi magnet dan mampu menarik pelat logam, karenanya terminal-terminal saklar yang semula bersifat *normally open* akan menutup dan sebaliknya terminal-terminal yang semula bersifat *normally close* juga akan membuka.



Gambar 2.9 Kontruksi Relai
(Sumber: Siraiul, 2013)

2.17 Sensor suhu LM35

Sensor suhu LM35 merupakan komponen elektronika yang mampu mengubah besaran termal menjadi besaran listrik. LM35 memiliki tingkat linearitas dan keakuratan yang tinggi. Selain itu LM35 bisa digunakan pada rangkaian yang lebih sederhana dibandingkan dengan sensor suhu lainnya namun

2.18 Mikrokontroler Atmega328

Atmega328 sebagai mikrokontroler dari *board* Arduino Uno memiliki *clock frequency* sebesar 16 MHz. ADC dari Atmega 328 memiliki *clock frequency* dalam rentang 50 hingga 200 kHz. Arduino Uno memiliki beberapa fasilitas untuk komunikasi dengan computer atau mikrokontroler lain. Atmega328 mendukung komunikasi serial UART TTL (5V), yang tersedia pada pin digital 0 (receive-RX) dan 1 (transfer-TX) *software* Arduino memiliki serial monitor yang dapat menampilkan data tekstual sederhana yang dikirim ke *board* Arduino. Tampilan board Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.11 Arduino Uno Board
(Sumber : Arduino Uno, 2014)

Board ini memiliki 14 digital *input/output* pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM). Enam *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB dan tombol *reset*. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB

atau sumber tekanan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya (Smith, 2011).

2.19 O₂ Gas Analyzer

O₂ Gas Analyzer adalah suatu instrumen untuk mengukur konsentrasi gas oksigen. Konsentrasi gas oksigen yang terukur pada O₂ gas Analyzer menggunakan satuan % (persen). Pengukuran gas O₂ terdiri dari 2 jenis, yaitu untuk mengukur konsentrasi oksigen di dalam cairan dan untuk mengukur konsentrasi oksigen di udara. Penelitian ini menggunakan alat ukur konsentrasi gas oksigen di udara. Alat ukur yang digunakan merupakan *multi gas detector* yang bernama gas alert microclip. Alat ukur ini mampu mengukur 4 macam konsentrasi gas yaitu H₂S, CO, LEL (gas yang mudah terbakar) dan O₂. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Gas alert microclip
(Sumber: BW Technologies, 2015)

Gas alert microclip dilengkapi dengan LCD yang mampu menampilkan 4 macam gas secara *real-time*. Alat ini Menggunakan baterai *lithium polymer*, sehingga penggunaan baterai bisa di isi ulang.

2.20 Lux meter

Lux meter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur besarnya intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan di suatu tempat. Untuk mengukur tingkat pencahayaan dibutuhkan sebuah alat yang bisa bekerja secara otomatis dan mampu mengukur intensitas cahaya. Intensitas cahaya pada setiap ruangan berbeda-beda, maka diperlukan sebuah sensor yang cukup peka dan linier terhadap intensitas cahaya. Cahaya yang diterima oleh sensor dapat diukur dan ditampilkan pada sebuah tampilan digital. Bentuk fisis dari lux meter dapat dilihat pada Gambar 2.12.

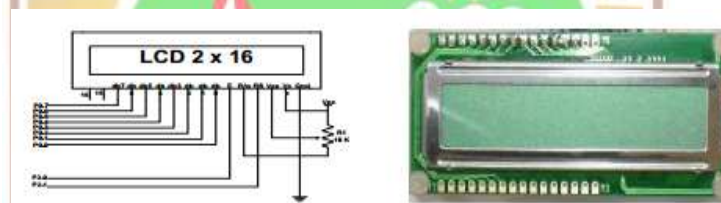


Gambar 2.13 Bentuk fisis lux meter
(Sumber: Sanwa, 2016)

Prinsip kerja dari Lux meter ialah berdasarkan sensor yang diletakkan pada sumber cahaya. Cahaya tersebut menyinari *sel foto* sebagai energi dan diteruskan oleh sel foto menjadi arus listrik. Semakin banyak cahaya yang diserap oleh *sel foto* maka arus yang dihasilkan semakin besar. Pembacaan sel foto berdasarkan dari panjang gelombang cahaya yang dideteksi (Gunadhi, 2002).

2.21 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan salah satu perangkat penampil yang dapat menampilkan karakter ASCII. LCD memanfaatkan silicon atau gallium dalam bentuk kristal cair sebagai pemendar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi partikel yang dibagi dalam baris dan kolom. LCD mempunyai tampilan *dot matrix* yang sudah dilengkapi dengan panel dan rangkaian *driver*. LCD ini bisa menampilkan 1 baris dan 2 baris dan tiap baris memiliki 16 karakter. LCD biasanya mempunyai rangkaian pengontrol, data RAM, dan ROM pembangkit karakter yang digunakan untuk keperluan. Bentuk LCD dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.14 Bentuk fisik dan rangkaian display LCD 16 x 2
(Sumber: Wahyudin, 2006)

LCD 16×2 karakter memiliki 16 buah kaki yang memiliki fungsi masing-masing. Fungsi semua kaki LCD dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pin simbol dan fungsi LCD 16 x 2

| PIN | Simbol | Fungsi |
|------|---------|---------------------|
| 1 | GND | Ground |
| 2 | VCC | +3V atau +5V |
| 3 | VEE | Contras Adjustment |
| 4 | RS | Register Select |
| 5 | R/W | Read/Write Signal |
| 6 | EN | Enable Signal |
| 7-14 | DB0-DB7 | Data Bus Line |
| 15 | LED + | Backlight V+ Anoda |
| 16 | LED - | Backlight V- Katoda |

(Sumber: Wahyudin, 2006)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika Universitas Andalas dan Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia Universitas Andalas, pada bulan Oktober 2016 sampai dengan April 2017.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

1. Solder dan pencabut timah, untuk menyolder timah ke PCB dan menyedot timah jika terjadi kesalahan dalam proses penyolderan
2. Lampu Halogen, untuk sumber penerangan pada fotobioreaktor.
3. Tabung CO₂, sebagai sumber CO₂.
4. *Dimmer Lamp*, untuk mengatur intensitas dari cahaya halogen
5. *O₂ Gas analyzer*, untuk mendeteksi gas O₂.
6. Lux meter, digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dari LED dan halogen.

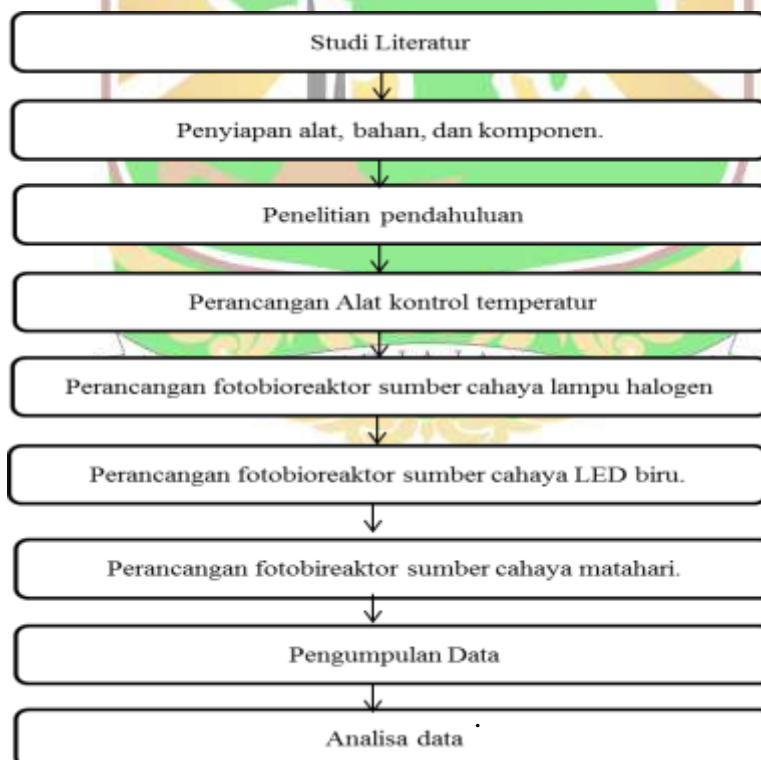
3.2.2 Bahan dan Komponen Penelitian

1. Mikroalga *Chlorella vulgaris*, sebagai objek penelitian.
2. *Aluminium Foil*, untuk pelapis dari chamber cahaya.
3. PCB polos, sebagai tempat rangkaian.
4. Timah, untuk penghubung antar rangkaian.
5. Arduino Uno R3, Sebagai pengontrol sistem rangkaian kontrol temperatur.
6. Sensor LM35, digunakan untuk mendeteksi temperatur mikroalga.

7. Pompa udara, untuk memompa udara ke dalam mikroalga.
8. Selang, untuk menghubungkan CO₂ ke Fotobioreaktor.
9. Plastik Mika, sebagai material dari pembuatan fotobioreaktor dan *chamber* cahaya.
10. BBM (*Bold Bassal Medium*) sebagai sebagai nutrisi yang digunakan untuk pada pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan 15 jenis zat (K₂HPO₄, KH₂PO₄, MgSO₄·7H₂O, NaNO₃, CaCl₂·2H₂O, NaCl, EDTA, KOH, FeSO₄·7H₂O, H₂SO₄, H₂BO₃, ZnSO₄·7H₂O, MnCl₂·4H₂O, CuSO₄·5H₂O, Co(NO₃)₂·6H₂O) dan Aquades.

3.3 Teknik Penelitian

Urutan teknik penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



.Gambar 3.1 Diagram alir tahap penelitian

Langkah awal penelitian ini adalah studi literatur yang diperoleh dari berbagai sumber, studi literatur dilakukan agar mempelajari lebih mendalam tentang penelitian yang akan dilakukan, langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan alat dan bahan, melakukan penelitian pendahuluan, perancangan alat kontrol temperatur, perancangan fotobioreaktor, perancangan fotobioreaktor dilakukan dengan tiga sumber cahaya, yaitu lampu halogen, lampu LED Biru dan cahaya matahari. Langkah terakhir adalah pengumpulan dan analisa data.

3.4 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan sebelum memulai penelitian. Penelitian pendahuluan yang dilakukan meliputi pembuatan nutrisi pada mikroalga, pengujian respon konsentrasi O_2 pada mikroalga, pengkulturan awal mikroalga *Chlorella vulgaris* sebanyak 250 mL dan pengujian absorpsi cahaya mikroalga *Chlorella vulgaris* menggunakan spektrometer UV-Vis.

3.4.1 Pembuatan nutrisi pada mikroalga

Pembuatan nutrisi ini menggunakan metode *Bold Bassal Medium* (BBM). Metode ini menggunakan 15 jenis nutrisi, 11 nutrisi (K_2HPO_4 (Kalium fosfat), KH_2PO_4 (Kalium dihidrogen fosfat), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Garam Inggris), $NaNO_3$ (Natrium nitrat), $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (Kalsium klorida), $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (Manganese (II) klorida tetrahidrat), H_2SO_4 (Asam sulfat), $NaCl$ (Natrium klorida)) masing-masing diberi volume 10 mL. 3 nutrisi ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$, KOH , $EDTA$) bervolume 1 mL dan H_2BO_3 bervolume 0,7mL. Masing-masing nutrisi dari dilarutkan dengan aquades hingga 1000 mL.

Setelah nutrien-nutrien tersebut berhasil dibuat maka langkah selanjutnya adalah disterilisasi dengan *autoklaf* dan kemudian didinginkan. Pembuatan *Bold Basal Medium* (BBM) cukup mudah untuk dilakukan karena nutrien-nutrien yang digunakan mudah untuk ditemukan.

3.4.2 Pengujian respon konsentrasi O_2 pada sampel mikroalga 250 mL

Pengujian sampel mikroalga 250 ml dilakukan untuk menentukan respon O_2 yang terkandung. Penelitian dilakukan dengan cara pendeteksian O_2 pada botol kultur mikroalga dan pada udara bebas seperti pada Gambar 3.2.



(a)

(b)

Gambar 3.2 Respon O_2 pada (a) udara bebas dan (b) pada botol kultur mikroalga

Dari gambar 3.2 dapat diketahui bahwa pada udara bebas konsentrasi O_2 sebesar 19% dan pada botol kultur mikroalga konsentrasi O_2 19,1%. Konsentrasi bertambah sebesar 0,1 %.

3.4.3 Pengkulturan awal mikroalga *Chlorella vulgaris* 250 ml

Pengkulturan mikroalga *Chlorella vulgaris* dilakukan dengan menggunakan nutrisi BBM yang telah dibuat. Pengkulturan awal ini akan diperbanyak untuk persediaan mikroalga yang akan digunakan pada fotobioreaktor. Masing-masing nutrisi dari BBM dilarutkan dengan aquades, kemudian disterilisasikan menggunakan autoklaf dan didinginkan. Pengkulturan awal mikroalga *Chlorella vulgaris* 250 mL dapat dilihat pada Gambar 3.3.



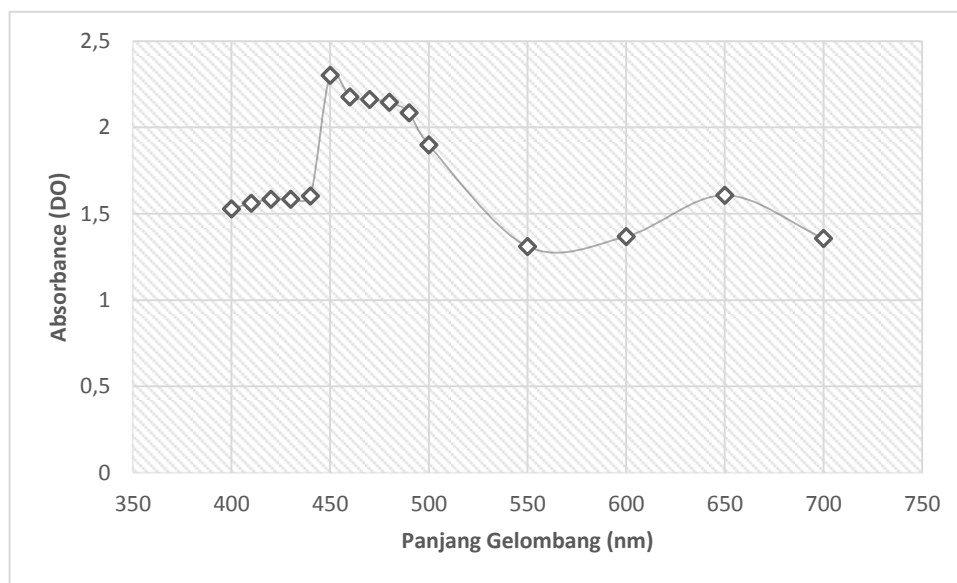
Gambar 3.3 Pengkulturan mikroalga *Chlorella vulgaris* 250 ml

Pengkulturan mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan pemberian nutrisi sebanyak 250 mL dan pemberian awal mikroalga sebanyak 17 mL. Mikroalga dapat tumbuh secara maksimal selama 10 hari. Selama masa pertumbuhan mikroalga diaerasi dengan pompa udara.

3.4.4 Pengujian absorpsi cahaya mikroalga *Chlorella vulgaris* menggunakan spektrometer UV-Vis

Pengujian absorpsi cahaya dilakukan untuk mengetahui panjang gelombang yang mampu diserap oleh mikroalga. Penyinaran maksimal yang

digunakan oleh mikroalga untuk berfotosintesis adalah 400 nm – 680 nm. Oleh karena itu dilakukan pengujian absorpsi cahaya mikroalga *Chlorella vulgaris* menggunakan Spektrometer UV-Vis, dari pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik Spektrometer UV-Vis untuk mikroalga *Chlorella vulgaris*

Hasil pengujian didapatkan bahwa panjang gelombang tertinggi yang diserap oleh mikroalga adalah 450 nm. Hal ini menunjukkan bahwa panjang gelombang yang mampu di serap oleh mikroalga berada pada spektrum cahaya tampak. Hal ini menjadi alasan dari pemilihan LED Biru yang memiliki panjang gelombang 450 nm -500 nm.

3.5 Perancangan Alat Kontrol Temperatur

Perancangan alat kontrol temperatur dilakukan untuk menjaga temperatur pada mikroalga yang berada pada rentang 25 – 35 °C. Kontrol temperatur

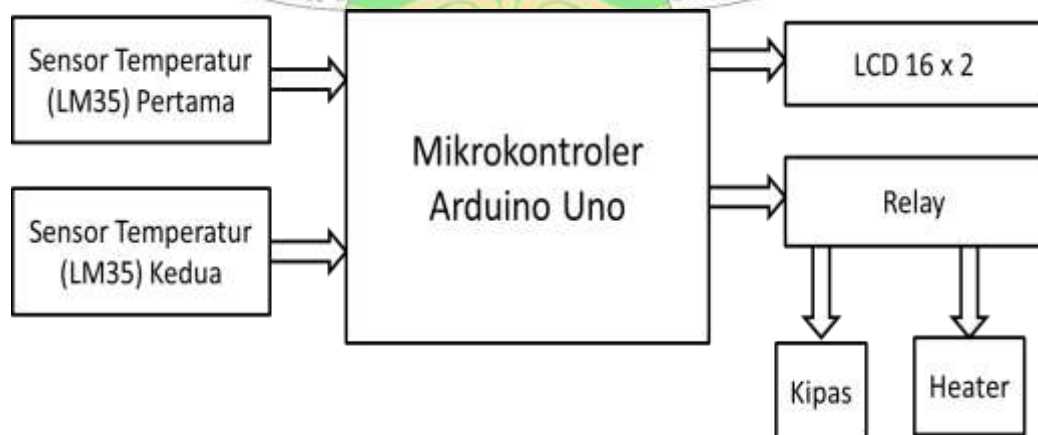
menggunakan dua buah sensor LM35, dimana sensor pertama (T1) digunakan pada fotobioreaktor yang di suplai gas CO₂ dan dan sensor kedua (T2) digunakan pada fotobioreaktor tanpa suplai gas CO₂. Kontrol temperatur ini menggunakan kipas dan *heater* untuk menjaga temperatur pada mikroalga. Hasil keluaran pada kontrol temperatur ini ditampilkan pada LCD 16 x 2 dan menggunakan Arduino Uno sebagai pengolah data.

3.5.1 Karakterisasi Sensor LM35

Karakterisasi sensor LM35 dilakukan untuk mengetahui fungsi kerja dari sensor tersebut yang selanjutnya dikembangkan menjadi alat kontrol temperatur. Sensor yang dikarakterisasi terdiri dari dua buah sensor LM35 dan diukur tegangan keluaran dari masing-masing sensor LM35.

3.5.2 Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan sistem kontrol temperatur pada fotobioreaktor terdiri dari 2 rangkaian sensor tempertur (LM35), rangkaian sistem minimum mikrokontroller Arduino Uno, rangkaian LCD dan relai Diagram blok dari perancangan sistem tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram blok sistem

Prinsip kerja dari pengontrolan temperatur pada penelitian ini yaitu diawali oleh masukan temperatur yang terbaca atau terdeteksi pada 2 rangkaian sensor LM35, selanjutnya mikrokontroler memproses nilai temperatur yang terdeteksi tersebut. Apabila salah satu temperatur yang terdeteksi lebih besar dari batas temperatur yang ditentukan ($T > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$), maka mikrokontroler mengaktifkan relai pada kipas dan menonaktifkan relai pada *heater* sehingga kipas menyala dan *heater* mati. Apabila salah satu temperatur yang terdeteksi lebih kecil dari batas temperatur yang ditentukan ($T < 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) maka mikrokontroler menonaktifkan relai pada kipas dan mengaktifkan relai pada *heater* sehingga kipas mati *heater* menyala.

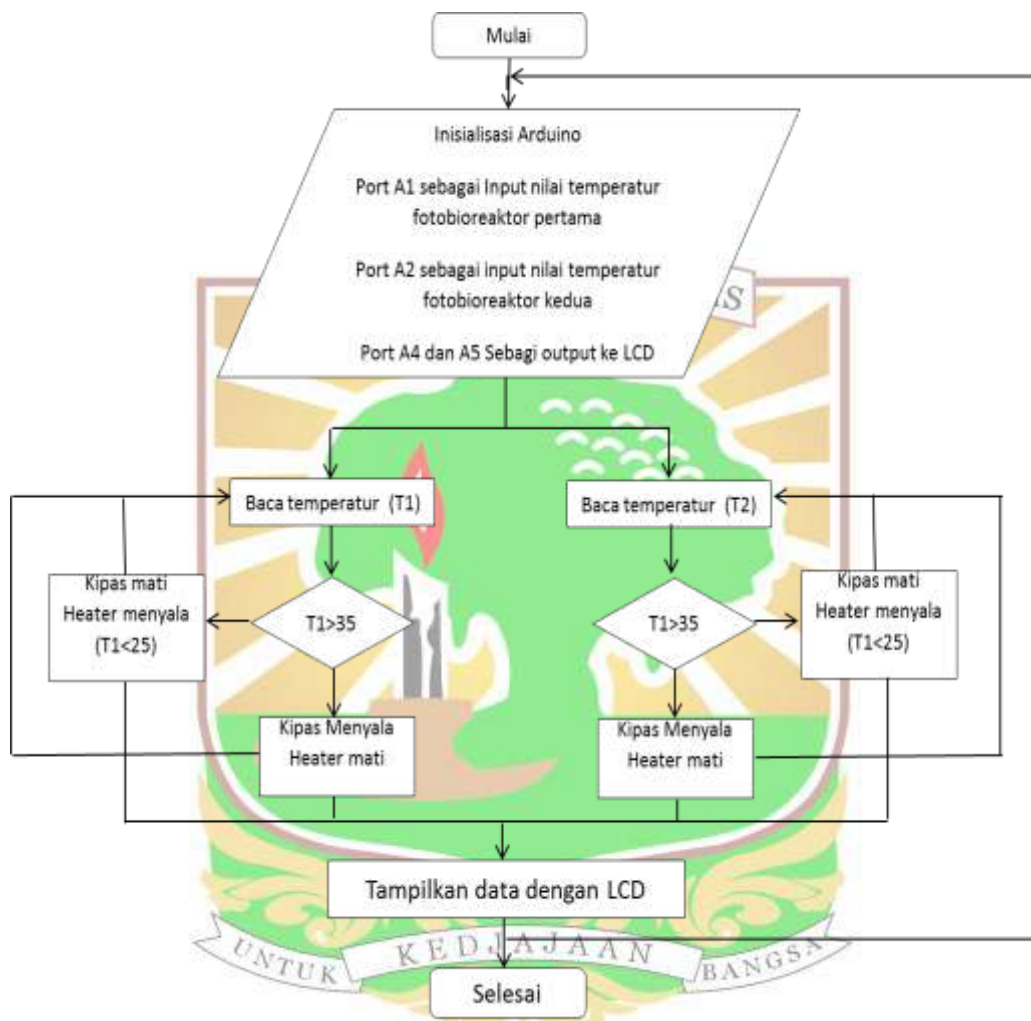
3.5.3 Perancangan Rangkaian Penampil LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) digunakan sebagai penampil nilai dari 2 temperatur yang terukur. LCD yang digunakan adalah LCD 2x16 karakter yang dapat menampilkan karakter 2 baris dan 16 kolom. Perancangan rangkaian penampil LCD ini menggunakan *breadboard*, LCD 16x2 karakter dan LCD *backpack*. Penggunaan LCD *backpack* menghemat penggunaan kabel penghubung antara LCD dan Arduino Uno. Pada penggunaan LCD *backpack* terdapat 4 buah kaki yang dihubungkan ke Arduino Uno yaitu SDA, SCL, VCC dan GND.

3.5.4 Perancangan Program

Kontrol temperatur menggunakan 2 sensor LM35 dimana (T1) sebagai temperatur yang terukur pada fotobioreaktor yang di suplai gas CO₂ dan (T2) sebagai temperatur yang terukur pada fotobioreaktor tanpa suplai gas CO₂. Program yang dirancang berdasarkan pada diagram alir seperti pada Gambar 3.6.

Program yang dirancang menggunakan *software* Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Program dimulai dengan inisialisasi 2 sensor LM35 dan LCD. Diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 3.6.

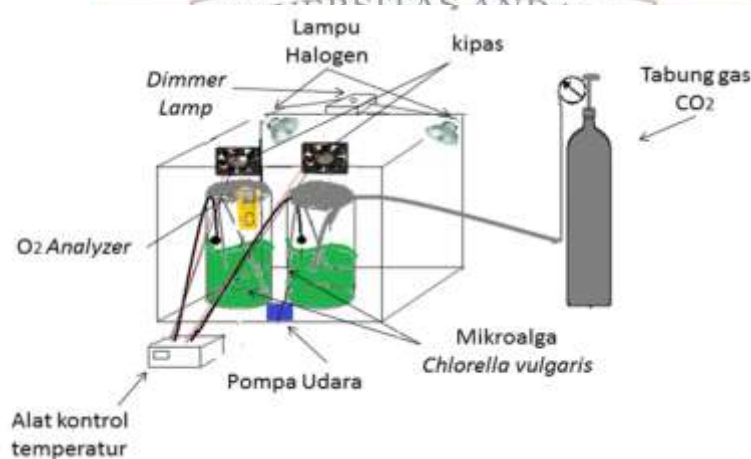


Gambar 3.6 Diagram alir program

Pada awal program diberi input dari 2 sensor temperatur kemudian program membaca nilai temperatur yang terbaca pada 2 sensor LM35. Nilai input temperatur yang terdeteksi dibandingkan, *Heater* akan menyala jika temperature yang terukur dibawah 25 - 35 °C. Jika temperatur 25°C hingga diatas 35 °C kipas menyala. Nilai temperatur di tampilkan pada LCD.

3.6 Perancangan Fotobioreaktor Sumber cahaya Lampu Halogen

Intensitas cahaya pada perancangan fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen divariasikan yaitu 1000 , 3000 dan 5000 lux. Variasi ini dilakukan untuk melihat konsentrasi maksimal oksigen yang dihasilkan oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* berdasarkan pada rentang nilai optimum pertumbuhan mikroalga yaitu 1000 – 5000 lux (Daniyati dkk., 2012). Perancangan fotobioreaktor untuk lampu halogen dapat dilihat pada Gambar 3.7.



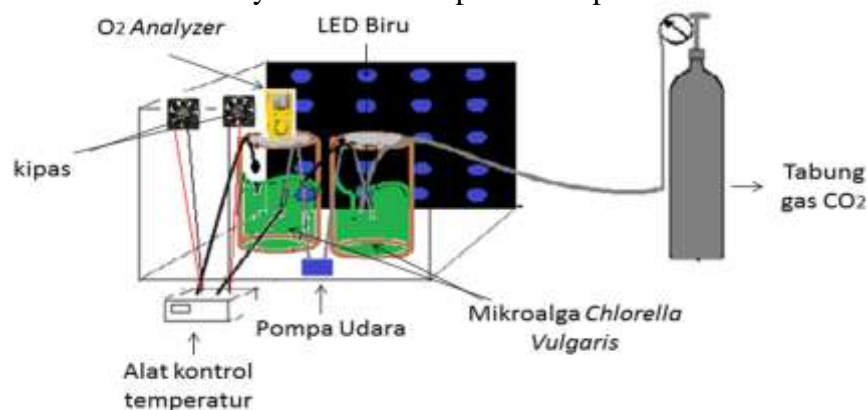
Gambar 3.7 Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen

Pada gambar 3.7 menunjukkan fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen menggunakan dua buah fotobioreaktor yang memiliki tinggi 50 cm dan berdiameter 10 cm yang diletakkan di dalam *chamber cahaya* berukuran 40 cm x 50 cm x 60 cm yang dilapisi dengan *aluminium foil* agar fotobioreaktor tidak terpengaruh cahaya dari luar *chamber* sehingga fotobioreaktor mendapatkan penyinaran secara maksimal. Masing – masing fotobioreaktor berisi 1250 mL mikroalga dengan pemberian mikroalga awal yaitu 250 mL dan pemberian nutrisi sebanyak 1000 mL, pada sumber cahaya lampu halogen digunakan *dimmer lamp* untuk mengontrol intensitas dari lampu halogen tungsten.

Salah satu fotobioreaktor disuplai dengan gas CO₂ dengan kecepatan alir 0,5 L/min sementara fotobioreaktor yang lain tidak disuplai dengan CO₂. Variasi pemberian CO₂ ini dilakukan untuk mengetahui jenis fotobioreaktor yang paling baik dalam menghasilkan gas O₂. Fotobioreaktor dilengkapi dengan alat kontrol temperatur, alat kontrol ini mengatur temperatur fotobioreaktor agar tetap terjaga pada rentang 25 – 35 °C. Keluaran gas O₂ yang dihasilkan dari fotobioreaktor diukur menggunakan *O₂ gas analyzer*.

3.7 Perancangan Fotobioreaktor Sumber cahaya LED Biru

Fotobioreaktor dengan sumber cahaya LED Biru dilakukan karena mikroalga *Chlorella vulgaris* memiliki panjang gelombang tertinggi yaitu 450 nm, hasil ini didapatkan berdasarkan pengujian menggunakan spektrometer UV-Vis. Dari hasil tersebut maka digunakan LED Biru sebagai salah satu sumber cahaya dari fotobioreaktor dimana LED Biru memiliki panjang gelombang 450 nm – 500 nm. Selain itu LED Biru juga baik digunakan untuk fotosintesis. Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya LED Biru dapat dilihat pada Gambar 3.8.



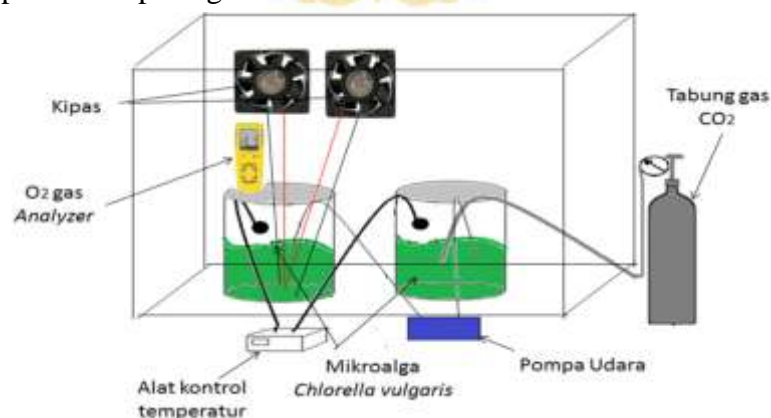
Gambar 3.8 Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya LED Biru

Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya LED Biru menggunakan dua buah fotobioreaktor yang memiliki tinggi 50 cm dan berdiameter 10 cm yang

diletakkan didalam *chamber* cahaya berukuran 40 cm x 50 cm x 60 cm dan dilapisi dengan *aluminium foil* agar fotobioreaktor tidak terpengaruh cahaya dari luar *chamber* sehingga fotobioreaktor mendapatkan penyinaran secara maksimal. Masing – masing fotobioreaktor berisi 1250 mL mikroalga dengan pemberian mikroalga awal yaitu 250 mL dan pemberian nutrisi sebanyak 1000 mL. Salah satu fotobioreaktor disuplai dengan gas CO₂ dengan kecepatan alir 0,5 L/min sementara fotobioreaktor yang lain tidak disuplai dengan CO₂. Variasi pemberian CO₂ ini dilakukan untuk mengetahui jenis fotobioreaktor yang paling baik dalam menghasilkan O₂. Fotobioreaktor dilengkapi dengan alat kontrol temperatur, alat kontrol ini mengatur temperatur fotobioreaktor agar tetap terjaga pada rentang 25 – 35 °C. Keluaran O₂ yang dihasilkan dari fotobioreaktor diukur menggunakan *O₂ gas analyzer*.

3.8 Perancangan Fotobioreaktor Sumber cahaya Matahari

Perancangan fotobioreaktor menggunakan sumber cahaya matahari dilakukan sebagai pembandingan dari fotobioreaktor sumber cahaya LED dan sumber cahaya lampu halogen. Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya matahari dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Perancangan fotobioreaktor sumber cahaya matahari

Fotobioreaktor sumber cahaya matahari menggunakan dua fotobioreaktor yang memiliki tinggi 50 cm dan berdiameter 10 cm, masing – masing fotobioreaktor berisi 1250 mL mikroalga dengan pemberian mikroalga awal yaitu 250 mL dan pemberian nutrien sebanyak 1000 mL. Salah satu fotobioreaktor disuplai dengan gas CO₂ sementara fotobioreaktor yang lain tidak disuplai dengan CO₂. Variasi pemberian CO₂ ini dilakukan untuk mengetahui jenis fotobireaktor yang paling baik dalam menghasilkan O₂. Fotobioreaktor dilengkapi dengan alat kontrol temperatur, alat kontrol ini mengatur tempetur fotobioreaktor agar tetap terjaga pada rentang 25 – 35 °C. Keluaran O₂ yang dihasilkan dari fotobioreaktor diukur menggunakan *O₂ gas analyzer*.

Selain ketiga perancangan diatas, dilakukan pengambilan data pada fotobioreaktor keadaan tanpa cahaya (0 lux). Perancangan fotobioreaktor yang digunakan sama seperti perancangan fotobioreaktor sumber cahaya matahari. Tujuan dari pengambilan data untuk keadaan tanpa cahaya (0 lux) adalah untuk mengetahui kemampuan mikroalga *Chlorella vulgaris* dalam menghasilkan konsentrasi O₂ pada keadaan gelap.

3.9 Pengumpulan Data

Pengambilan data fotobioreaktor sumber cahaya halogen, sumber cahaya LED Biru dan tanpa cahaya (0 lux) dilakukan variasi lama penyinaran yaitu selama 7 jam. Hal ini dilakukan untuk mengetahui optimasi proses fotosintesis terhadap lamanya penyinaran pada sumber cahaya buatan (Daniyati dkk., 2012). Pengambilan data dilakukan pada waktu yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan keterbatasan penggunaan alat ukur konsentrasi O₂. Pada sumber cahaya matahari

dilakukan 10 kali yang dilakukan setiap 1 jam. Pengambilan data fotobiorektor sumber cahaya matahari dilakukan dari jam 11.00 WIB – 20.00 WIB.

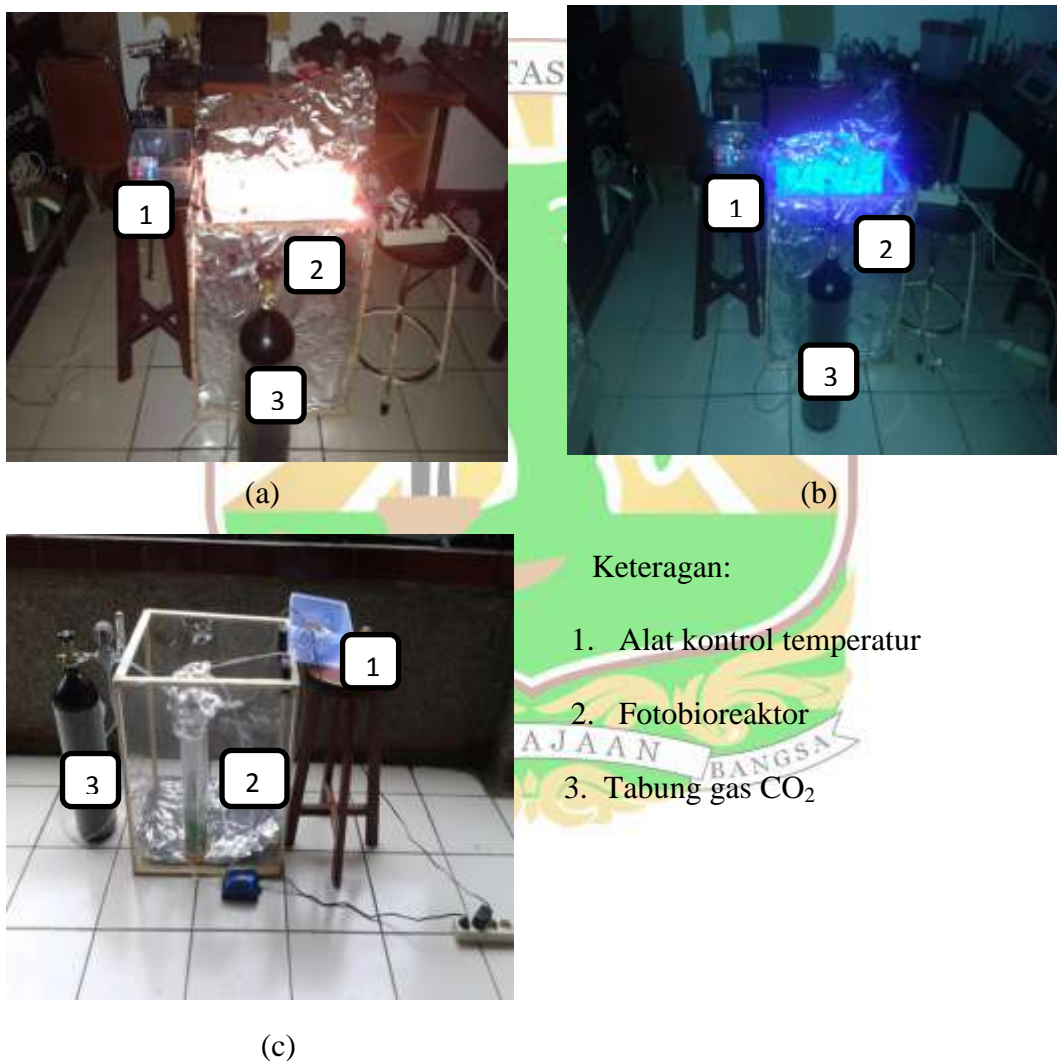
3.10 Analisis Data

Teknik analisa data yang dilakukan adalah secara grafik. Analisa secara grafik dilakukan agar memberikan hasil secara visual hubungan antara variabel yang diperoleh dengan pengukuran. Pada teknik grafik dilakukan plot data yang bertujuan untuk menentukan hubungan antara variabel-variabel yang diukur. Analisa data dilakukan agar dapat mengetahui tingkat ketepatan dan ketelitian dari penelitian yang telah dilakukan.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data untuk fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen, LED Biru dan cahaya matahari dilakukan secara bertahap. Masing-masing fotobioreaktor dikontrol temperaturnya dengan alat kontrol temperatur yang telah dirancang. Alat ini mengukur dan mengontrol temperatur pada 3 jenis perancangan fotobioreaktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

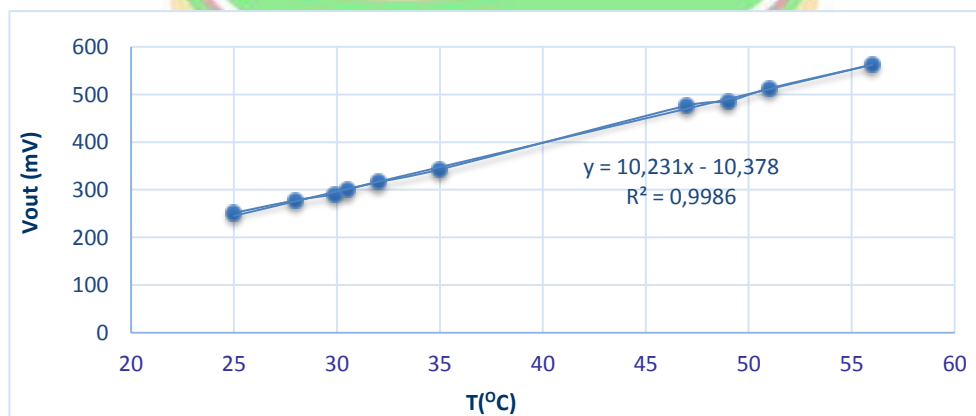


Gambar 4.1 Hasil rancangan fotobioreaktor (a) Sumber cahaya lampu halogen (b) Sumber cahaya LED Biru (c) Sumber cahaya matahari.

Perancangan ketiga jenis fotobioreaktor secara keseluruhan telah dilakukan melalui 2 tahapan. Tahap yang pertama adalah perancangan sistem kontrol dan tahap yang kedua adalah perancangan ketiga fotobioreaktor. Hasil dari penelitian ini adalah karakterisasi sensor LM35, pengujian tampilan LCD, hasil pengujian alat kontrol temperatur, pengambilan data pada fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen, pengambilan data pada fotobioreaktor sumber cahaya LED Biru, pengambilan data pada fotobioreaktor sumber cahaya matahari, hasil pengambilan data pada fotobioreaktor tanpa cahaya (0 lux).

4.1 Karakterisasi Sensor LM35

Karakterisasi dilakukan pada 2 sensor LM35. Hal ini dikarenakan alat kontrol temperatur digunakan untuk mengontrol temperatur pada 2 tabung Sensor LM35 ke-1 digunakan pada fotobioreaktor yang disuplai gas CO₂ dan sensor LM35 ke-2 digunakan pada fotobioreaktor tanpa suplai gas CO₂. Hasil karakterisasi sensor LM35 ke-1 dapat dilihat pada Gambar 4.2.

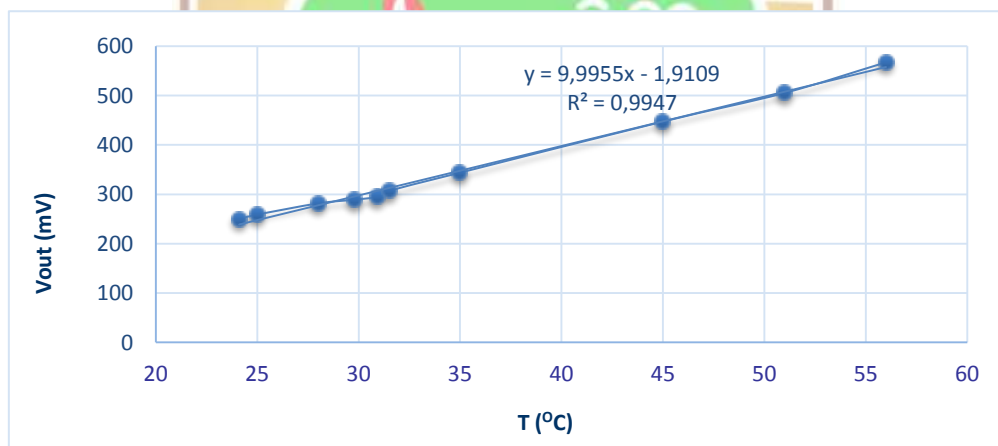


Gambar 4.2 Grafik hasil karakterisasi sensor LM35 ke-1

Karakterisasi sensor LM35 ke-1 dilakukan pada rentang suhu minimum 25 °C. Hal ini dilakukan karena suhu minimum untuk perancangan kontrol

temperatur adalah 25 °C. Pada Gambar 4.2 didapatkan fungsi transfer dari hasil perbandingan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai temperatur yaitu $y = 10,231x - 10,378$. Fungsi transfer ini menunjukkan bahwa setiap perubahan temperatur sebesar 1 °C menghasilkan perubahan tegangan keluaran sebesar 10,231 mV dan memiliki tegangan *offset* sebesar -10,378 mV. Nilai tegangan *offset* ini merupakan nilai tegangan awal sensor pada temperatur 0 °C.

Nilai regresi yang dihasilkan mendekati 1 yaitu sebesar 0,9986. Nilai regresi ini menunjukkan bahwa tingkat kelinieran sensor sangat baik, sehingga dapat digunakan sebagai alat ukur temperatur. Karakterisasi sensor LM35 ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hasil karakterisasi sensor LM35 ke-2

Karakterisasi sensor LM35 ke-2 menunjukkan bahwa fungsi transfer dari hasil perbandingan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai temperatur yaitu $y = 9,9955x - 1,9109$. Fungsi transfer ini menunjukkan bahwa setiap perubahan temperatur sebesar 1 °C menghasilkan perubahan tegangan keluaran sebesar 9.9955 mV dan memiliki tegangan *offset* sebesar -1,9109 mV. Nilai tegangan *offset* ini merupakan nilai tegangan awal sensor pada temperatur 0 °C bernilai

-1,9109 mV.

Nilai regresi yang dihasilkan mendekati 1 yaitu sebesar 0,9947. Nilai regresi ini menunjukkan bahwa tingkat kelinieran sensor sangat baik, sehingga dapat digunakan sebagai alat ukur temperatur.

4.2 Pengujian tampilan LCD

LCD digunakan sebagai penampil hasil pengukuran dari temperatur pada fotobioreaktor. Perancangan LCD ini menggunakan LCD *backpack* untuk menghemat penggunaan kabel. Hasil pengujian rangkaian LCD menampilkan karakter huruf dan angka seperti pada Gambar 4.4.

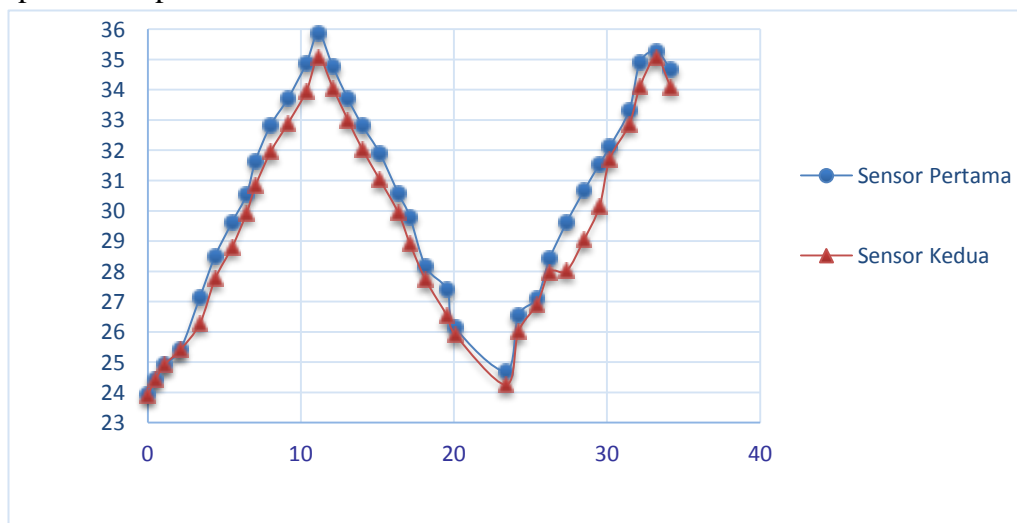


Gambar 4.4 Pengujian Rangkaian LCD

Pengujian LCD menggunakan program sederhana seperti pada lampiran 1.1. LCD dihubungkan ke LCD backpack dimana dua buah kaki LCD backpack dihubungkan ke sumber tegangan lalu dua buah kaki yang lain dihubungkan ke arduino. Pengaturan baris dan kolom pada penampil LCD dapat ditulis seperti (0,1) dimana angka nol merupakan letak baris dan angka satu merupakan pengaturan letak kolom yang diinginkan.

4.3 Pengukuran alat kontrol temperatur

Sistem kontrol pada penelitian ini merupakan sistem kontrol otomatis. Sistem kontrol ini menggunakan rangkaian *relay* sebagai saklar. Sistem kontrol ini menjaga temperatur agar selalu pada rentang (25 -35) °C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil pengujian kontrol temperatur

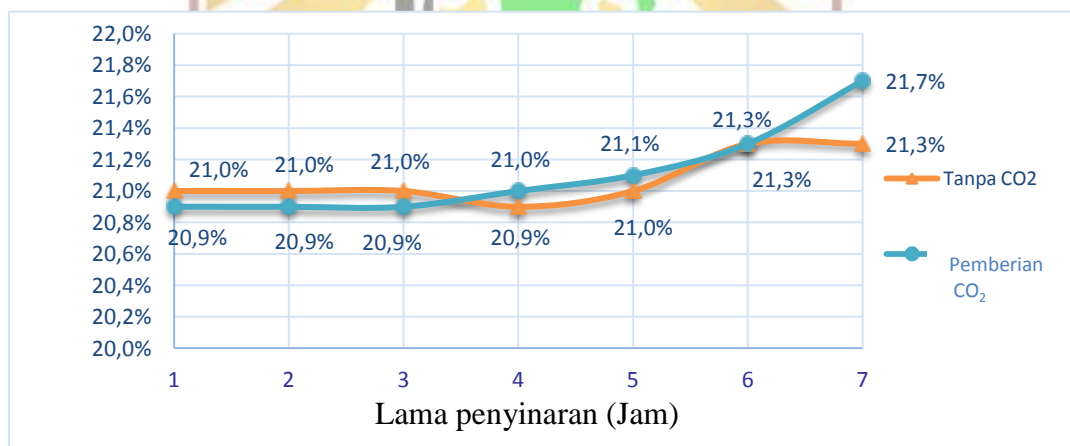
Berdasarkan Gambar 4.5 pengujian temperatur dilakukan pada 2 sensor LM35. Saat sistem kontrol aktif maka sensor akan mendeteksi kenaikan temperatur hingga 35 °C. Jika temperatur yang terdeteksi diatas 35 °C maka kipas aktif dan *heater* mati dan jika temperatur yang terdeteksi dibawah 25 °C maka *heater* akan menyala dan kipas mati. Sensor pertama, sistem kontrol ini dapat menjaga temperatur tertinggi 35,86 °C dan temperatur terendah yaitu 24,71 °C. Sedangkan pada sensor kedua sistem kontrol ini dapat menjaga temperatur tertinggi sebesar 35,07 °C dan temperatur terendah yaitu 24,26 °C. Perbedaan nilai temperatur yang terdeteksi oleh kedua sensor disebabkan oleh perbedaan nilai derajat kolerasi linier pada kedua sensor sehingga terjadinya perbedaan galat.

4.4 Perancangan Fotobioreaktor Sumber Cahaya Lampu Halogen

Pengambilan data pada fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen dilakukan secara kontinyu pada intensitas cahaya 1000 lux, 3000 lux dan 5000 lux sehingga terjadinya perbedaan waktu pada saat pengambilan data. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu peminjaman alat ukur gas O_2 gas analyzer. Sebelum pengambilan data, dilakukan pengukuran intensitas cahaya lampu halogen menggunakan lux meter dan intensitas cahaya diatur menjadi 1000 lux, 3000 lux dan 5000 lux menggunakan *dimmer lamp*.

4.4.1 Halogen 1000 lux

Waktu pengambilan data pada fotobioreaktor lampu halogen intensitas 1000 lux dilakukan dari jam 09.00 WIB – 16.00 WIB. Hasil konsentrasi gas O_2 yang didapatkan pada lampu halogen 1000 lux dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik konsentrasi gas O_2 yang dihasilkan pada halogen 1000 lux

Gambar 4.6 menunjukkan konsentrasi O_2 yang dihasilkan pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO_2 sebesar 0,5 L/min dan tanpa disuplai gas CO_2 menggunakan lampu halogen dengan intensitas 1000 lux. Pada fotobioreaktor tanpa suplai gas CO_2 terjadi penurunan konsentrasi gas O_2 pada

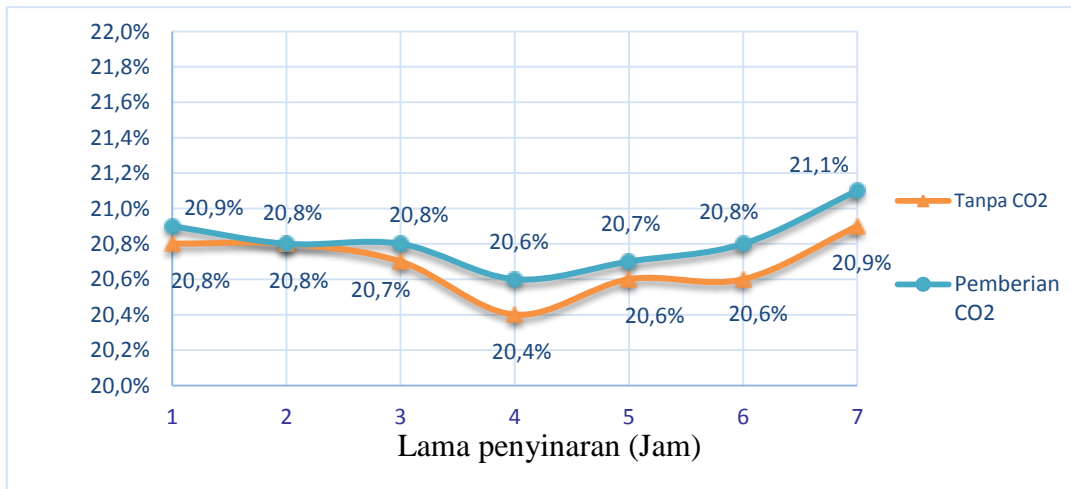
jam ke-4. Hal ini membuktikan bahwa pada saat lama penyinaran 4 jam proses fotosintesis tidak berjalan dengan lancar dikarenakan terjadinya pengurangan energi yang dibutuhkan pada saat proses fotosintesis pada lama penyinaran tersebut. Andriyono (2001) menjelaskan bahwa periode penyinaran dapat berpengaruh dalam proses sintesis bahan organik pada fotosintesis karena hanya dengan energi yang cukup proses tersebut dapat berjalan dengan lancar.

Fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ mengalami kenaikan konsentrasi gas O₂ dari jam ke-1 hingga jam ke-7. Hal ini membuktikan bahwa energi yang dibutuhkan pada fotobioreaktor yang disuplai gas CO₂ untuk proses fotosintesis telah cukup sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung dengan baik. Pada kedua fotobioreaktor ini konsentrasi gas O₂ paling banyak dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan suplai gas CO₂. Hal ini membuktikan bahwa proses fotosintesis dengan penambahan gas CO₂ lebih optimum karena suplai gas CO₂ dibutuhkan dalam proses fotosintesis.

Pada perlakuan lampu halogen intensitas 1000 lux konsentrasi O₂ yang dihasilkan sudah di atas 20%. Konsentrasi O₂ maksimum terjadi pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ saat jam ke-7 yaitu sebesar 21,7% dan konsentrasi O₂ minimum yang dihasilkan yaitu sebesar 20,9%.

4.4.2 Halogen 3000 lux

Waktu pengambilan data pada fotobioreaktor lampu halogen intensitas 3000 lux dilakukan dari jam 16.00 WIB – 23.00 WIB. Hasil konsentrasi gas O₂ yang di dapatkan pada lampu halogen 3000 lux dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada halogen 3000 lux

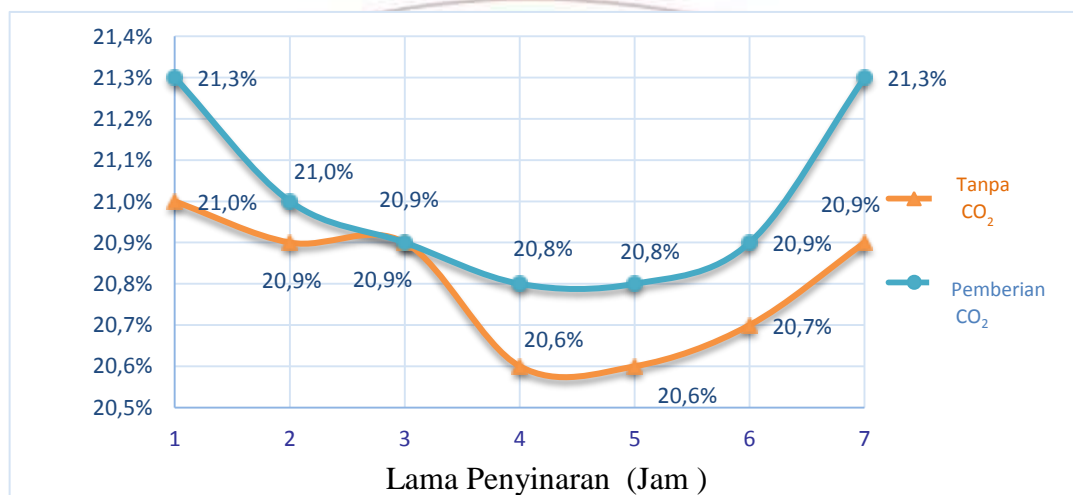
Gambar 4.7 menunjukkan konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ sebesar 0,5 L/min dan tanpa disuplai gas CO₂ menggunakan lampu halogen dengan intensitas 3000 lux. Pada kedua jenis fotobioreaktor ini terjadi penurunan konsentrasi gas O₂ pada lama penyinaran 4 jam. Hal ini membuktikan bahwa pada lama penyinaran 4 jam fotosintesis kedua fotobioreaktor tidak berjalan dengan lancar dikarenakan terjadinya pengurangan energi yang dibutuhkan pada saat proses fotosintesis pada lama penyinaran tersebut. Pada kedua fotobioreaktor ini konsentrasi gas O₂ paling banyak dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan suplai gas CO₂. Hal ini membuktikan bahwa proses fotosintesis dengan penambahan gas CO₂ lebih optimum karena suplai gas CO₂ di butuhkan dalam proses fotosintesis.

Pada perlakuan lampu halogen intensitas 3000 lux konsentrasi O₂ yang dihasilkan sudah diatas 20%. Konsentrasi O₂ maksimum terjadi pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ saat jam ke-7 yaitu sebesar 21,1%

dan konsentrasi O_2 minimum yang dihasilkan yaitu sebesar 20,4% pada Fotobioreaktor tanpa suplai CO_2 saat jam ke -4.

4.4.3 Halogen 5000 lux

Waktu pengambilan data pada fotobioreaktor lampu halogen 5000 lux dilakukan dari jam 23.00 WIB – 06.00 WIB. Hasil konsentrasi gas O_2 yang di dapatkan pada lampu halogen 5000 lux dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik konsentrasi gas O_2 yang dihasilkan pada halogen 5000 lux

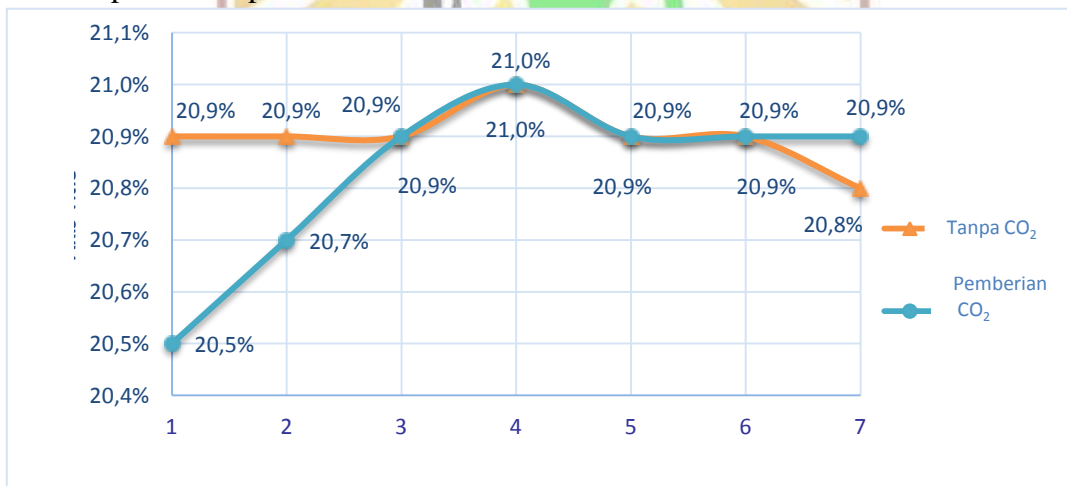
Gambar 4.8 menunjukkan grafik konsentrasi O_2 yang dihasilkan pada fotobioreaktor sumber cahaya lampu halogen dengan intensitas 5000 lux. Terjadi penurunan konsentrasi gas O_2 pada jam ke -2 hingga ke-4 pada kedua fotobioreaktor. Hal ini membuktikan bahwa pada saat lama penyinaran tersebut proses fotosintesis tidak berjalan dengan lancar dikarenakan terjadinya pengurangan energi yang dibutuhkan pada saat proses fotosintesis, namun pada fotobioreaktor yang tidak disuplai gas CO_2 terjadi kenaikan pada jam ke -3. Konsentrasi gas O_2 paling banyak dihasilkan oleh fotobioreaktor dengan suplai

gas CO₂. Hal ini membuktikan bahwa proses fotosintesis dengan penambahan gas CO₂ lebih optimum karena suplai gas CO₂ dibutuhkan dalam proses fotosintesis.

Pada perlakuan lampu halogen intensitas 5000 lux konsentrasi O₂ yang dihasilkan diatas 20 %. Konsentrasi gas O₂ maksimum terjadi pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ saat jam ke-1 dan jam ke – 7 yaitu sebesar 21,3% dan konsentrasi O₂ minimum yang dihasilkan yaitu sebesar 20,6% pada Fotobioreaktor tanpa suplai CO₂ saat jam ke -4.

4.5 Perancangan Fotobioreaktor Sumber Cahaya LED Biru

Intensitas yang terukur pada fotobioreaktor LED Biru yaitu 1065 lux. Waktu pengambilan data dilakukan dari jam 13.00 WIB – 20.00 WIB. Hasil konsentrasi gas O₂ yang di dapatkan pada fotobioreaktor sumber cahaya LED Biru dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada LED Biru

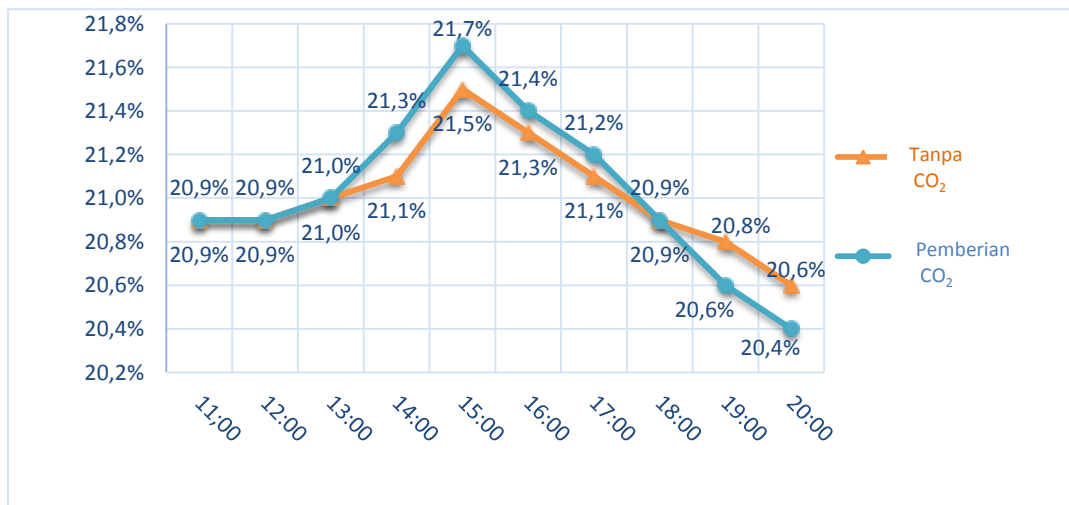
Gambar 4.9 menunjukkan konsentrasi O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ dan tanpa suplai gas CO₂ menggunakan LED Biru. Pada kedua jenis fotobioreaktor ini terjadi kenaikan

konsentrasi gas O₂ pada jam ke – 4. Pada jam ke-5 hingga jam ke-7 konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan mikroalga *Chlorella vulgaris* mengalami penurunan. Pada jam ke -1 konsentrasi gas O₂ pada fotobioreaktor dengan suplai gas CO₂ lebih sedikit jika dibandingkan dengan fotobioreaktor tanpa suplai gas CO₂. Konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan jam ke-4 sama besarnya pada kedua jenis fotobioreaktor. Pada jam ke -7 konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan fotobioreaktor dengan suplai gas O₂ lebih tinggi.

Pada perlakuan LED Biru konsentrasi O₂ yang dihasilkan di atas 20%. Konsentrasi O₂ maksimum terjadi pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas dan tanpa suplai gas CO₂ saat jam ke-4 yaitu sebesar 21.0% dan konsentrasi minimum terjadi saat jam ke-1 pada fotobioreaktor yang disuplai gas CO₂ yaitu sebesar 20,5%.

4.6 Perancangan Fotobioreaktor Sumber Cahaya Matahari

Pengambilan data konsentrasi gas O₂ pada perancangan fotobioreaktor menggunakan sumber cahaya matahari dilakukan dari jam 11.00 WIB – 20.00 WIB. Intensitas cahaya yang terukur pada masing – masing jam berbeda – beda. Hasil konsentrasi gas O₂ yang didapatkan pada fotobioreaktor sumber cahaya matahari dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor sumber cahaya matahari

Gambar 4.10 menunjukkan konsentrasi O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ dan tanpa disuplai gas CO₂ dengan sumber cahaya matahari. Pada kedua jenis fotobioreaktor ini terjadi kenaikan konsentrasi gas O₂ dari jam 11.00 WIB hingga jam 15.00 WIB dan mengalami penurunan setelah jam 15.00 WIB – 20.00 WIB. Hal ini terjadi karena fotosintesis berlangsung optimal pada siang hari dan kemampuan mikroalga untuk melakukan fotosintesis akan berkurang dari sore hari hingga malam hari.

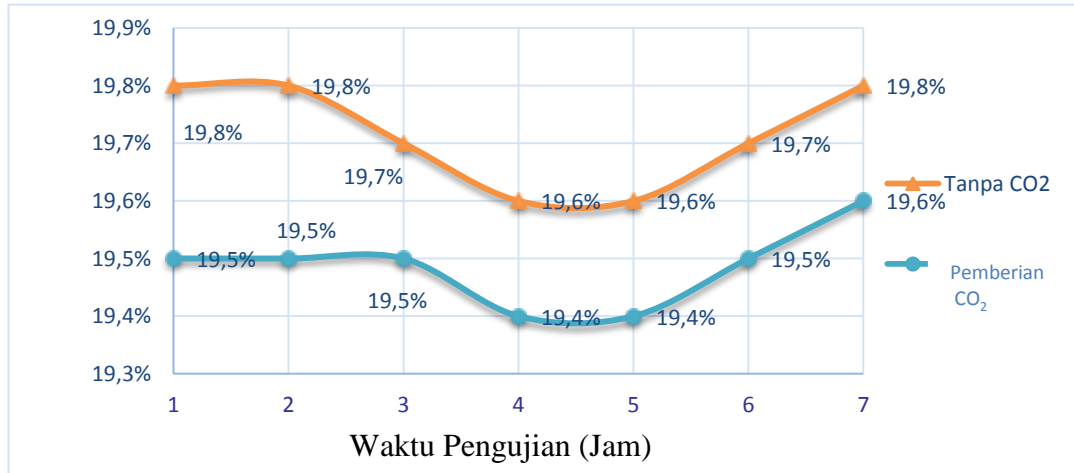
Pada jam 14.00 WIB – 16.00 WIB fotobioreaktor dengan suplai CO₂ menghasilkan konsentrasi O₂ lebih banyak jika dibandingkan dengan fotobioreaktor yang tidak disuplai dengan gas CO₂. Hal ini membuktikan bahwa pada rentang waktu tersebut mikroalga *Chlorella vulgaris* dapat menyerap gas CO₂ dengan sangat baik sehingga konsentrasi O₂ pada fotobioreaktor dengan suplai CO₂ menghasilkan konsentrasi gas O₂ yang lebih banyak, sedangkan pada malam hari 19.00 WIB – 20.00 WIB konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor tanpa suplai gas CO₂ lebih banyak jika dibandingkan dengan

fotobioreaktor yang diberikan suplai gas CO₂. Hal ini dikarenakan kurangnya mikroalga dalam menyerap gas CO₂ pada malam hari sehingga proses fotosintesis tidak berlangsung secara optimal dan menyebabkan terjadi emisi pada fotobioreaktor yang disuplai gas CO₂ sehingga menyebabkan fotobioreaktor yang disuplai gas CO₂ menghasilkan lebih sedikit konsentrasi gas oksigen (O₂).

Hasil konsentrasi gas O₂ minimum yang diperoleh pada fotobioreaktor sumber cahaya matahari ini adalah 20,4% saat jam 20.00 WIB pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ sedangkan hasil konsentrasi gas O₂ maksimum terjadi saat pukul 15.00 WIB pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas O₂. Intensitas cahaya yang terukur pada perancangan fotobioreaktor ini memiliki intensitas yang berbeda-beda. Intensitas tertinggi adalah pada jam 14.00 WIB yaitu 53700 lux namun proses fotosintesis tidak berlangsung maksimal pada pada jam 14.00 WIB hal ini dikarenakan intensitas cahaya yang sangat tinggi dapat menjadikan terhambatnya proses fotosintesis (*fotoinhibisi*) (Widyaningrum dkk., 2013). Intensitas terendah yang terukur adalah 83 lux pada jam 20.00 WIB.

4.7 Keadaan Tanpa Cahaya (0 lux)

Waktu pengambilan data dilakukan dari jam 08.00 WIB – 15.00 WIB. Hasil konsentrasi gas O₂ yang di dapatkan pada lampu halogen 0 lux dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada intensitas 0 lux

Gambar 4.11 menunjukkan konsentrasi O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor yang disuplai dengan gas CO₂ dan tanpa disuplai gas CO₂ dengan intensitas 0 lux. Pada kedua jenis fotobioreaktor ini terjadi penurunan konsentrasi gas O₂ pada jam ke-3 dan jam ke-4. Hal ini membuktikan bahwa pada saat lama penyinaran tersebut proses fotosintesis tidak berjalan dengan lancar dikarenakan terjadinya pengurangan energi yang dibutuhkan pada saat proses fotosintesis pada lama penyinaran tersebut.

Konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan pada fotobioreaktor yang disuplai gas CO₂ lebih rendah dibandingkan dengan tanpa pemberian gas CO₂. Hal ini disebabkan karena pada keadaan gelap mikroalga tidak mampu melakukan proses fotosintesis secara maksimal sehingga pemberian gas CO₂ pada mikroalga tidak mampu diserap oleh mikroalga untuk diproses menjadi O₂. Hal ini menyebabkan pemberian gas CO₂ menjadi emisi yang dapat mengurangi konsentrasi gas O₂. Pada fotobioreaktor tanpa suplai gas CO₂ tidak terjadi penambahan gas CO₂ sehingga menyebabkan lebih banyak konsentrasi gas O₂.

Perlakuan keadaan tanpa cahaya 0 lux ini menghasilkan konsentrasi gas O_2 tidak mencapai 20%. Konsentrasi O_2 maksimum terjadi pada fotobioreaktor yang tidak disuplai dengan gas CO_2 saat jam ke-7 yaitu sebesar 19,8% dan konsentrasi O_2 minimum yang dihasilkan yaitu sebesar 19,4% pada Fotobioreaktor suplai gas CO_2 saat jam ke -4.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Rancangan fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan lampu halogen dan LED Biru telah berhasil mengoptimalkan konsentrasi O₂ dengan persentase di atas 20%.
2. Penggunaan kedua sensor LM35 yang digunakan untuk kontrol temperatur pada fotobioreaktor telah berfungsi dengan baik dengan nilai regresi sebesar 0,9986 untuk sensor LM35 ke-1 dan 0,9947 untuk sensor LM35 ke-2.
3. Perancangan alat kontrol temperatur telah berhasil mengontrol temperatur pada fotobioreaktor agar tetap pada rentang suhu 25 °C - 35 °C.
4. Hasil konsentrasi gas O₂ tertinggi adalah 21,7% yang diperoleh dari fotobioreaktor lampu halogen 1000 lux dengan suplai gas CO₂ pada jam ke-7 dan pada perancangan fotobioreaktor sumber cahaya matahari dengan suplai gas CO₂ saat jam 15.00 WIB.
5. Hasil konsentrasi gas O₂ pada lampu halogen 0 lux tidak sampai 20%. Hasil konsentrasi gas O₂ yang didapatkan berada pada rentang 19,4% - 19,8%.

5.2 Saran

Perancangan fotobioreaktor pada penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan, maka perlu dilakukan beberapa perbaikan untuk memaksimalkan perancangan fotobioreaktor ini. Penulis memberikan beberapa saran diantaranya:

1. Menambah kontrol pH pada fotobioreaktor yang dirancang, karena besarnya nilai pH dapat mempengaruhi konsentrasi gas O_2 yang dihasilkan oleh mikroalga.
2. Melakukan pengukuran gas CO_2 yang berhasil diserap dan pengukuran gas O_2 yang mampu dihasilkan dari fotobioreaktor yang dirancang.
3. Memperhitungkan jumlah sel mikroalga pada fotobioreaktor yang dirancang.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, O., Mutiara, M., Buchori, L., 2013, Peningkatan Karbondioksida dengan mikroalga (*Chlorella vulgaris*, *Clamidomonas sp.*, *Spirullina sp.*) dalam Upaya Meningkatkan Kemurnian Gas, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. 2, No.4, Jur. Teknik Kimia UNDIP, Hal. 212-216.
- Andriyono, S., 2001, Pengaruh Periode Penyinaran Terhadap Pertumbuhan *Isochrysis Galbana* Klon Tahiti, *Skripsi*, IPB, Bogor. Hal 14 – 22.
- Bagher, A.M., 2016, A Detailed Review on Types of lamps and their applications, *Journal Of Physical And Chemical Sciences*, Vol. 4, No1 Department of Physics, Payame Noor University, Hal. 1-7.
- Bernard, O., Goncalves, A., Bensalleem, S., Lopes, F., Maia, S.R, 2016, Influence of Temperature On *Chlorella Vulgaris* Growth And mortality Rates In A Photobioreactor, *Journal of Alga Research*, Department of Geosciences, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA, Hal. 352-359.
- Bioshop, J.K.B., dan R.E. Davis, 2000, Autonomous Observing Strategies for the Ocean Carbon Cycle, Paper LBNL-46860, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- BW Technologies, 2015, Gas Alert Microclip, Toronto, Canada.
- Cahyono, W.E., 2006, Pengaruh Pemanasan Global Terhadap Lingkungan Bumi, *Majalah Ilmiah Semi Populer*, No. 2, Vol. 8, Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional, Hal. 28 – 31.
- Choochote, W., Paiboonsin, K., Ruangpan, S., 2010, Effects of Urea and Light Intensity on the Growth of *Chlorella sp.*, The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology, Department of Applied Biology, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Hal. 127-134.
- Chrimadha, T., Suryatini, D., Mardiaty, Y., 2007, Respon Kultur Mikroalga Dalam Fotoreaktor Tegak Berpenyekat Terhadap Variasi Intensitas Cahaya, *Jurnal Oseonologi dan Lirnnologi*, Hal.245-256.
- Daniyati, R., Yudoyono, G., Rubiyanto, A., 2012, Desain Closed Photobioreaktor *Chlorella Vulgaris* Sebagai Mitigasi CO₂, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol.1, Jur.Fisika ITS, Hal 1-5.
- Dewi, E.S.R., 2015, Respon Penurunan Konsentrasi Logam Berat Kromium (Cr) dan Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* pada Media Kultur, *Prosiding Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*, Semarang.

- Erinofiardi, Supardi,N., Redi, 2012, Penggunaan PLC Dalam Temperatur Simulasi pada Prototype Ruang, *Jurnal Mekanikal*, Vol.3 No.2, Jur.Teknik Mesin Universitas Bengkulu.
- Gleason, Karen K., Simon K., Rafael R, 2007, *Climate Classroom; What's up with global warming*, National Wildlife Federation, California.
- Giancoli, D, 1991, *Fisika Dasar*, Edisi Ketiga, Prentice Hall., New Jersey..
- Gunadhi A., 2002, Perancangan dan Alat Ukur Cahaya Sederhana, *Prosiding Komputer dan Sistem Intelijen*, Jakarta
- Hadiyanto, Samidjan, I., Kumoro, A.C., Silviana, 2012, Produksi Mikroalga Berbiomasa Tinggi dalam Bioreaktor Open Pond, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*,Yogyakarta.
- Hidayati, R., 2001, Masalah Perubahan Iklim di Indonesia Beberapa Contoh Kasus ,Laporan Falsafah Sains, Program Doktor, IPB, Bogor.
- Jordening, H.J., dan Winter, J., 2005, *Environmental Biotechnology*, KGaA Weinheim, Co., Jerman.
- Kawaroe, M., Prtaton, T., Sanuddin, A., Wulansari, D., Augustine, D., 2010, Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya Untuk Produksi Bio Bahan Bakar, IPB PRESS, Bogor.
- Krane, K., 2006, *Fisika Modern*, (diterjemahkan oleh: Hans, J.), Universitas Indonesia, Depok.
- Kurnia, I., 2015, Optimasi Pertumbuhan Dan Hidrolisis Lignoselulosa Dari Mikroalga *Chlorella vulgaris* Untuk Meningkatkan Kadar Glukosa Sebagai Bahan Baku Bioetanol, *Skripsi*, Unand, Padang.
- Kurniawati, L., 2008, Pengaruh Pencahayaan LED terhadap Suasana Ruang Café dan Restoran,UI, Jakarta.
- Kusminingrum, N., 2008, Potensi Tanaman Dalam Menyerap CO₂ Dan CO Untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global, *Jurnal Permukiman*, Vol. 3 No. 2, Hal.96 -105.
- Melis, A., 2002, Green alga hydrogen production: progress, challenges and prospects, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 27, Original Research Article, Hal. 1217-1228.
- Muhaimin, 2001, *Teknologi Pencahayaan*, RefikaAditama,Bandung.

- Nurhayati, A.D., Aryanti, E., Saharjo, B.H., 2010, Kandungan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Kebakaran Hutan Rawa Gambut Di Pelalawan Riau, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Vol. 15 No.2 , hal 78-82.
- NEMA, 2003, *Tungsten Haloen Lamp (Bulbs): Ultraviolet, Rupture and Ultraviolet Risk*, A NEMA Lighting System Document, Rosslyn, Virginia, USA.
- Pamungkas, M., Hafiddudin, Rohmah, S.Y., 2015, Perancangan dan Realisasi Alat Pengukur Intensitas Cahaya, *Jurnal ELKOMIKA*, Vol. 3 No.2, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom, Hal. 120-132.
- Posten, C, 2009, Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae, *Inter Science Journal*, Vol.9 No. 3, Institute of Life Science Engineering University of Karlsruhe, Hal.165-177.
- Pringatun, S., Karnoto, Prasetyo, T.M., 2011, Analisis Komparasi Pemilihan Lampu Penerangan Jalan Tol, *Jurnal Media ElektriKA*, Vol. 4 No.1, Jur. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Hal. 18-31
- Pujiono, E.A., 2013, Pertumbuhan Tetraselmis Chuii Pada Medium Air Laut Dengan Intensitas Cahaya, Lama Penyinaran Dan Jumlah Inokulan Yang Berbeda Pada Skala Laboratorium, *Skripsi*, Universitas Jember, Jember.
- Romimohtarto, K. 2004, *Meroplankton Laut : Larva Hewan Laut yang Menjadi Plankton*, Djambatan, Jakarta.
- Santoso, Dwi Arif, A. Rahmania, Darmawan, Joko P, 2011, Mikroalga untuk Penyerapan Emisi CO₂ dan Pengolahan Limbah Cair di Lokasi Industri, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol.3, hal 62-70.
- Sanwa, 2016, *Digital lux meter*. Tokyo, Jepang.
- Smith A.G., 2011, *Introduction to Arduino*, O reilly, New York.
- Syafriyudin, Priyambodo, S., Saudah, S., Ledhe, N.T., 2015, Pengaruh Variabel Warna Lampu Led Terhadap Pertumbuhan Tanaman Krisan, *Proseding Seminar Nasional Teknik Industri*, Yogyakarta.
- Texas Instruments, 2013, *LM35*, Dallas, Texas.
- Tipler, P.A., 1998, *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1*, Edisi Ketiga, Cetakan Pertama, (diterjemahkan Lea Prasetio, R. W. Adi), Erlangga, Jakarta.
- Wahyudin, D., 2006, *Belajar Mudah Mikrokontroler AT89S52 dengan Bahasa BASIC Menggunakan BASCOM-8051*, Andi, Yogyakarta.

Widyaningrum, N.F., Susilo, B., Hermanto, B.M., 2013, Studi Eksperimental Fotobioreaktor *Photovoltaic* Untuk Produksi Mikroalga (*Nannochloropsis Oculata*), *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, Vol.1 No. 2, Jurusan Keteknikan Universitas Brawijaya, Hal 30-38.

Yudiarti, T., Widiastuti, E., Pratikno, H., 2004, *Buku Ajar Biologi*, UNDIP, Semarang.

Yuliandri, F., Utama, Y.D., Buchori, L., 2013, Biofiksasi CO₂ Oleh mikroalga *Spirullina Sp.* Dalam Upaya Pemurnian Biogas, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol.2 No.4, Jur. Teknik Kimia UNDIP, Hal. 125-131.

Arduino Uno, 2014, Arduino Uno, [http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno.html](http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno), diakses 15 maret 2017.

Innovativetom, 2014, LM35 Temperature Sensor, <http://www.instructables.com>, diakses tanggal 23 Maret 2017.

Nugraha, R.H., 2014, LED Biru: Batu Bata Terakhir Sumber Cahaya Putih Berbasis LED, www.nugraharidwan.com, diakses November 2016.

Sirajul, 2013, Basic of Relay – defination, configuration and symbols, www.eblogbd.com/basic-of-relay, diakses Juli 2011.



LAMPIRAN

Lampiran 1:List Program

Lampiran 1.1 List Program Pengujian LCD

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // 0x27 is the
I2C bus address for an unmodified backpack
```

```
void setup()
{
  // activate LCD module
  lcd.begin (16,2); // for 16 x 2 LCD module
  //lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
}
void loop()
{
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.setCursor(0,0); // set cursor to 0,0
  lcd.print("Nadya Okta B");
  lcd.setCursor (0,1); // go to start of 2nd line
  lcd.print("1310441060");
  lcd.setBacklight(HIGH);
  delay(1000);
}
```

Lampiran 1.2 List Program Pengontrolan Temperatur

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```



```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // 0x27 is the I2C bus address for an unmodified backpack
```

```
int pinKipas =9;  
int kipasPin = 10;  
int pinHeater = 13;
```

```
void setup()
```

```
{  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(9, OUTPUT);  
  pinMode(10, OUTPUT);  
  pinMode(13, OUTPUT);  
  digitalWrite(9,HIGH);  
  digitalWrite(10,HIGH);  
  digitalWrite(13,HIGH);  
  
  lcd.begin (16,2); // for 16 x 2 LCD module  
  
  lcd.setBacklight(HIGH);  
}
```

```
void loop()
```

```
{  
  float vout = analogRead(A1);  
  delay(10);  
  vout = analogRead(A1);  
  delay(10);  
  float tempc =(vout*500)/1023;  
  
  float vout2 = analogRead(A2);
```



```

delay(10);
vout2 = analogRead(A2);
delay(10);
float tempc2 =(vout2*500)/1023;

lcd.setCursor (0,0);    // go to start of 2nd line
lcd.print(tempc);
lcd.print("C(T1)    ");
Serial.print(tempc);
Serial.print("    ");
Serial.println(tempc2);

lcd.setCursor (0,1);    // go to start of 2nd line
lcd.print(tempc2);
lcd.print("C(T2)    ");
Serial.print(tempc2);
Serial.print("    ");
Serial.println(tempc);

if(int(tempc)<=25){
digitalWrite(9,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("(R)");
}

else if(int 25<(tempc)<35){
    digitalWrite(9,HIGH);
    digitalWrite(13,HIGH);
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("(R)");
}

```



```

else if(int(tempc)>=35){
    digitalWrite(9,LOW);
digitalWrite(pinKipas,HIGH);
    digitalWrite(13,LOW);
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("(T)");}

```

```

if(int(tempc2)<=25){
digitalWrite(9,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("(R)");
}

```

```

elseif(int25<(tempc2)<35){
digitalWrite(10,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print("(R)");
}

```

```

else if(int(tempc2)>=35){
    digitalWrite(10,LOW);
digitalWrite(pinKipas,HIGH);
    digitalWrite(13,HIGH);
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print("(T)");}

```

```

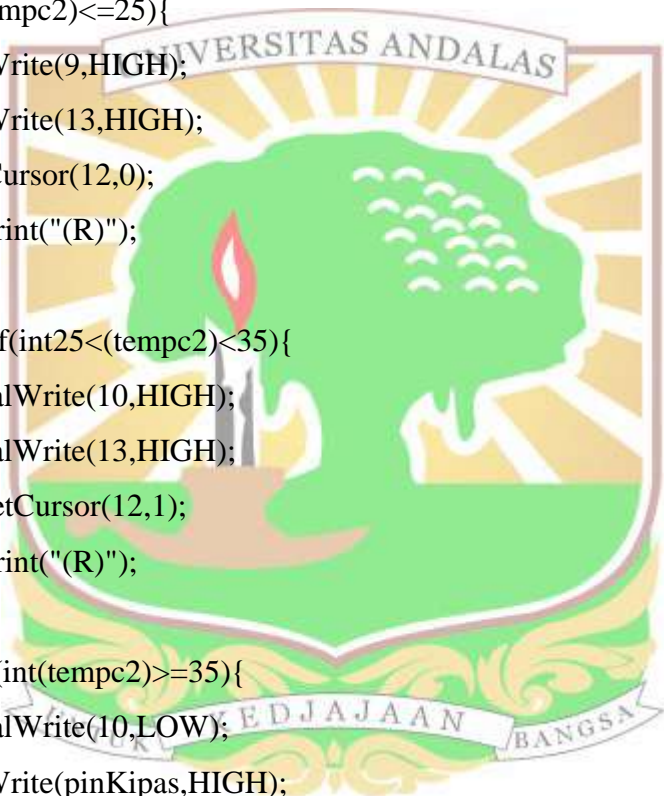
delay(500);

```

```

}

```



Lampiran 2: Data Pengukuran

Lampiran 2.1 Data Pengukuran Karakterisasi LM35 ke-1

| No | Temperatur(⁰ C) | Tegangan Keluaran (mV) |
|----|-----------------------------|------------------------|
| 1 | 25 | 251.5 |
| 2 | 28 | 278.2 |
| 3 | 29.9 | 290.7 |
| 4 | 30.5 | 300.5 |
| 5 | 32 | 316.1 |
| 6 | 35 | 342.9 |
| 7 | 47 | 477 |
| 8 | 49 | 486 |
| 9 | 51 | 513 |
| 10 | 56 | 563 |

Lampiran 2.2 Data Pengukuran Karakterisasi LM35 ke-2

| No | Temperatur (⁰ C) | Vout (mV) |
|----|------------------------------|-----------|
| 1 | 24.1 | 249.8 |
| 2 | 25 | 258.6 |
| 3 | 28 | 281.3 |
| 4 | 29.8 | 288.8 |
| 5 | 30.9 | 294.5 |
| 6 | 31.5 | 306.8 |
| 7 | 35 | 343.5 |
| 8 | 45 | 447 |
| 9 | 51 | 505 |
| 10 | 56 | 567 |

Lampiran 2.3 Data Pengujian Sistem Kontrol Temperatur

| No | Waktu (menit) | T1 (°C) | T2 (°C) | No | Waktu (menit) | T1 (°C) | T2 (°C) |
|----|---------------|---------|---------|----|---------------|---------|---------|
| 1 | 0 | 23.95 | 23.93 | 18 | 16.38 | 30.58 | 29.94 |
| 2 | 0.52 | 24.44 | 24.44 | 19 | 17.13 | 29.81 | 28.93 |
| 3 | 1.12 | 24.93 | 24.93 | 20 | 18.16 | 28.17 | 27.73 |
| 4 | 2.14 | 25.42 | 25.42 | 21 | 19.56 | 27.41 | 26.54 |
| 5 | 3.42 | 27.16 | 26.29 | 22 | 20.1 | 26.16 | 25.91 |
| 6 | 4.41 | 28.51 | 27.76 | 23 | 23.4 | 24.71 | 24.26 |
| 7 | 5.52 | 29.63 | 28.81 | 24 | 24.22 | 26.54 | 26.01 |
| 8 | 6.46 | 30.54 | 29.93 | 25 | 25.44 | 27.13 | 26.93 |
| 9 | 7.05 | 31.66 | 30.84 | 26 | 26.26 | 28.42 | 27.98 |
| 10 | 8.04 | 32.84 | 31.96 | 27 | 27.38 | 29.63 | 28.03 |
| 11 | 9.16 | 33.71 | 32.89 | 28 | 28.5 | 30.67 | 29.05 |
| 12 | 10.37 | 34.88 | 33.96 | 39 | 29.52 | 31.55 | 30.15 |
| 13 | 11.16 | 35.86 | 35.07 | 30 | 30.19 | 32.13 | 31.72 |
| 14 | 12.11 | 34.76 | 34.06 | 31 | 31.47 | 33.34 | 32.87 |
| 15 | 13.08 | 33.71 | 33.01 | 32 | 32.16 | 34.91 | 34.11 |
| 16 | 14.03 | 32.82 | 32.04 | 33 | 33.23 | 35.28 | 35.06 |
| 17 | 15.16 | 31.91 | 31.04 | 34 | 34.17 | 34.67 | 34.09 |

Lampiran 2.4 Data Pengukuran Konsentrasi O₂ pada lampu halogen 1000 lux

| No | Waktu (Jam) | Konsentrasi O ₂ | |
|----|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Tanpa CO ₂ (%) | Pemberian CO ₂ (%) |
| 1 | 1 | 21,0 | 20,9 |
| 2 | 2 | 21,0 | 20,9 |
| 3 | 3 | 21,0 | 20,9 |
| 4 | 4 | 20,9 | 21,0 |
| 5 | 5 | 21,0 | 21,1 |
| 6 | 6 | 21,3 | 21,2 |
| 7 | 7 | 21,3 | 21,7 |

Lampiran 2.5 Data Pengukuran Konsentrasi O₂ pada lampu halogen 3000 lux

| No | Waktu (Jam)- | Konsentrasi O ₂ | |
|----|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Tanpa CO ₂ (%) | Pemberian CO ₂ (%) |
| 1 | 1 | 20,8 | 20,9 |
| 2 | 2 | 20,8 | 20,8 |
| 3 | 3 | 20,7 | 20,8 |
| 4 | 4 | 20,4 | 20,6 |
| 5 | 5 | 20,6 | 20,7 |
| 6 | 6 | 20,6 | 20,8 |
| 7 | 7 | 20,9 | 21,1 |

Lampiran 2.6 Data Pengukuran Konsentrasi O₂ pada lampu halogen 5000 lux

| No | Waktu (Jam) | Konsentrasi O ₂ | |
|----|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Tanpa CO ₂ (%) | Pemberian CO ₂ (%) |
| 1 | 1 | 21,0 | 21,3 |
| 2 | 2 | 20,9 | 21,0 |
| 3 | 3 | 20,9 | 20,9 |
| 4 | 4 | 20,6 | 20,8 |
| 5 | 5 | 20,6 | 20,8 |
| 6 | 6 | 20,7 | 20,9 |
| 7 | 7 | 20,9 | 21,3 |

Lampiran 2.7 Data Pengukuran Konsentrasi O₂ pada lampu LED Biru

| No | Waktu (Jam) | Konsentrasi O ₂ | |
|----|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Tanpa CO ₂ (%) | Pemberian CO ₂ (%) |
| 1 | 1 | 20,9 | 20,5 |
| 2 | 2 | 20,9 | 20,7 |
| 3 | 3 | 20,9 | 20,9 |
| 4 | 4 | 21,0 | 21,0 |
| 5 | 5 | 20,9 | 20,9 |
| 6 | 6 | 20,9 | 20,9 |
| 7 | 7 | 20,8 | 20,9 |

Lampiran 2.8 Data Pengukuran Konsentrasi O₂ pada Cahaya Matahari


| No | Waktu (Jam) | Konsentrasi O ₂ | |
|----|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Tanpa CO ₂ (%) | Pemberian CO ₂ (%) |
| 1 | 11.00 WIB | 20,9 | 20,9 |
| 2 | 12.00 WIB | 20,9 | 20,9 |
| 3 | 13.00 WIB | 21,0 | 21,0 |
| 4 | 14.00 WIB | 21,1 | 21,3 |
| 5 | 15.00 WIB | 21,5 | 21,7 |
| 6 | 16.00 WIB | 21,3 | 21,4 |
| 7 | 17.00 WIB | 21,1 | 21,2 |
| 8 | 18.00 WIB | 20,9 | 20,9 |
| 9 | 19.00 WIB | 20,8 | 20,6 |
| 10 | 20.00 WIB | 20,6 | 20,4 |

2.9 Data pengukuran konsentrasi O₂ pada keadaan tanpa cahaya (0 lux)

| No | Waktu (Jam) | Konsentrasi O ₂ | |
|----|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| | | Tanpa CO ₂ (%) | Pemberian CO ₂ (%) |
| 1 | 1 | 19,8 | 19,5 |
| 2 | 2 | 19,8 | 19,5 |
| 3 | 3 | 19,7 | 19,5 |
| 4 | 4 | 19,6 | 19,4 |
| 5 | 5 | 19,6 | 19,4 |
| 6 | 6 | 19,7 | 19,5 |
| 7 | 7 | 19,8 | 19,6 |

Lampiran 3: Data Sheet

Lampiran 3.1 Data Sheet Sensor LM35


National Semiconductor
November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in $^{\circ}$ Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/10^{\circ}$ C at room temperature and $\pm 1/10^{\circ}$ C over a full -55° to $+150^{\circ}$ C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 80 μ A from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1° C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}$ C temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}$ C range ($\pm 10^{\circ}$ with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-46 transistor package. The LM35C is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0$ mV/ $^{\circ}$ C scale factor
- 0.5° C accuracy guaranteed (at $+25^{\circ}$ C)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}$ C range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 80 μ A current drain
- Low self-heating, 0.05° C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/10^{\circ}$ C typical
- Low impedance output, 0.1Ω for 1 mA load

Typical Applications

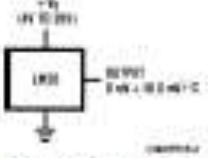
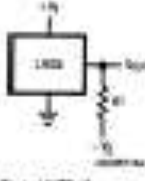


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
(-42° C to $+155^{\circ}$ C)



$I_{load} \approx 100 \mu\text{A}$
 $V_{load} = 1.000 \text{ mV at } +25^{\circ}\text{C}$
 $= +0.500 \text{ mV at } +50^{\circ}\text{C}$
 $= -0.500 \text{ mV at } -50^{\circ}\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

© 2000 National Semiconductor Corporation 1000016
www.national.com

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

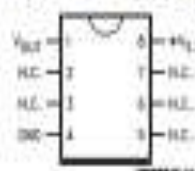
Connection Diagrams

**TO-48
Metal Can Package***



*OUT is connected to negative pin (GND)
 Order Number LM318H, LM318AH, LM318CH, LM318CAH or LM318DH
 See NS Package Number H63H

**SO-8
Small Outline Moulded Package**



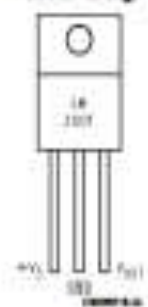
N.C. = No Connection
 Top View
 Order Number LM318DM
 See NS Package Number H65A

**TO-82
Plastic Package**



Order Number LM318Z, LM318AZ or LM318DZ
 See NS Package Number 203A

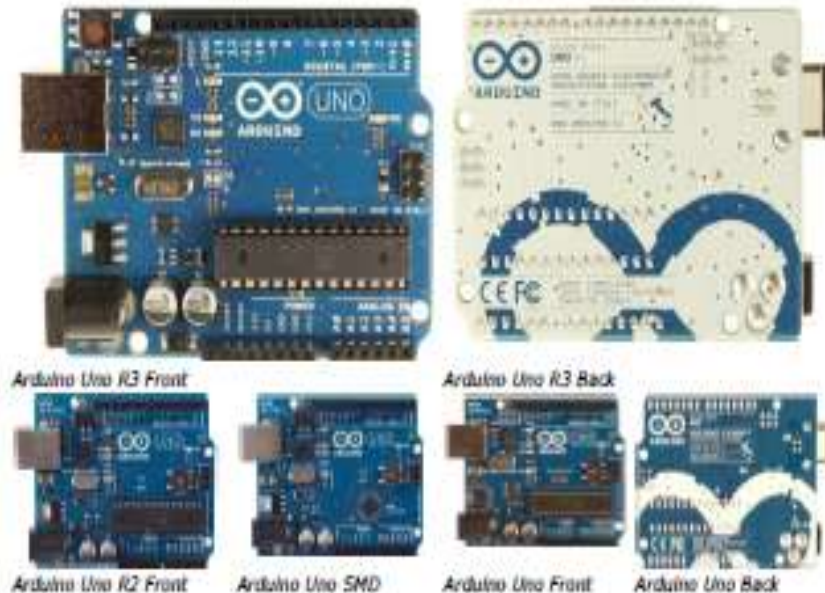
**TO-220
Plastic Package***



*OUT is connected to the negative pin (GND)
 Note: The LM302T pinout is different than the discontinued LM302H
 Order Number LM302T
 See NS Package Number 2A02F

Lampiran 3.1 Data Sheet Arduino Uno

Arduino Uno



Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

Revision 2 of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

Revision 3 of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Microcontroller | ATmega328 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V |

| | |
|-------------------------|--|
| Input Voltage (limits) | 6-20V |
| Digital I/O Pins | 14 (of which 6 provide PWM output) |
| Analog Input Pins | 6 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader |
| SRAM | 2 KB (ATmega328) |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328) |
| Clock Speed | 16 MHz |

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.tin](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328. Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins. The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data. The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

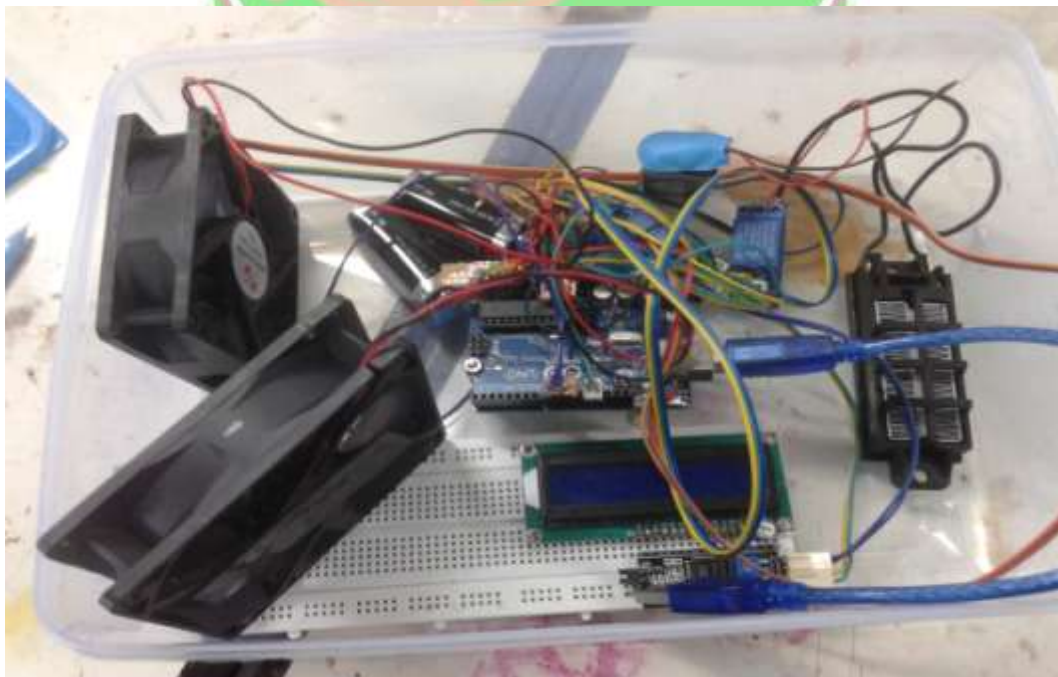


Lampiran 4: Dokumentasi

Lampiran 4.1 Pengujian Alat kontrol temperatur



Lampiran 4.2 Perancangan alat keseluruhan



4.3 Perancangan Fotobioreaktor



Perancangan fotobioreaktor menggunakan Lampu Halogen



Perancangan fotobioreaktor menggunakan cahaya LED



Perancangan fotobioreaktor menggunakan cahaya Matahari

Lampiran 44 Pengukuran Konsentrasi Gas O₂



Pengukuran konsentrasi gas O₂ pada Lampu Halogen



Pengukuran konsentrasi gas O₂ pada cahaya matahari



Pengukuran konsentrasi gas O₂ pada LED Biru

Lampiran 4.4 Pengukuran Intensitas Cahaya

