

## Sistem Mitigasi Emisi CO<sub>2</sub> Pada Ruangan Menggunakan Fotobioreaktor Mikroalga Berbasis Sensor MQ-135

Muhammad Naufal Alwan\*, Aldo Novaznursyah Costrada, Harmadi  
Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas  
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 11 September 2021  
Direvisi: 6 November 2021  
Diterima: 16 November 2021

#### Kata kunci:

Emisi CO<sub>2</sub>  
Sensor MQ-135  
Sensor LM-35  
Fotobioreaktor Mikroalga

#### Keywords:

CO<sub>2</sub> Emission  
Sensor MQ-135  
Sensor LM-35  
Microalgae Photobioreactor

#### Penulis Korespondensi:

Muhammad Naufal Alwan  
Email: [nalwan0215@gmail.com](mailto:nalwan0215@gmail.com)

### ABSTRAK

Telah dilakukan perancangan sistem mitigasi emisi CO<sub>2</sub> pada ruangan menggunakan fotobioreaktor mikroalga berbasis sensor MQ-135 untuk menghasilkan sistem yang dapat mereduksi emisi CO<sub>2</sub> pada ruangan. Sistem dilengkapi dengan pengontrol suhu pada fotobioreaktor mikroalga dengan sensor LM35 dan sistem pendeteksi emisi CO<sub>2</sub> dengan sensor MQ-135. Fotobioreaktor terdiri dari 2 tabung yang berisi 1000 ml mikroalga *Chlorella vulgaris*. Pengontrolan temperatur berhasil mempertahankan suhu pada (23–30) °C. Konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> setelah fotobioreaktor menggunakan variasi sumber cahaya berupa cahaya matahari, LED biru, LED merah, LED hijau, dan tanpa cahaya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa fotobioreaktor mikroalga yang menggunakan LED berwarna biru sebagai sumber cahaya lebih berperan aktif dalam meningkatkan kemampuan mikroalga untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> dibandingkan sumber cahaya lainnya. Sensor MQ-135 dan Sensor LM-35 yang telah dikarakterisasi dapat mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> dan suhu dengan persentase kesalahan masing-masing 1,94 % dan 0,58 %. Hasil ini mengindikasikan bahwa Sensor MQ-135 dan Sensor LM-35 dapat berfungsi dengan baik sebagai sebagai sistem pendeteksi emisi CO<sub>2</sub> dan pengontrol suhu.

*A microalgae photobioreactor based on the MQ-135 sensor was used to construct a CO<sub>2</sub> emission mitigation system in the room, resulting in a system that can minimize CO<sub>2</sub> emissions in the room. A temperature controller on a microalgae photobioreactor with an LM35 sensor and a CO<sub>2</sub> emission detection system with a MQ-135 sensor are included in the system. The photobioreactor was made up of two tubes, each containing 1000 mL of *Chlorella vulgaris* microalgae. Temperature control was able to keep the temperature between (23-30) °C. After the photobioreactor, the concentration of CO<sub>2</sub> emissions is measured using a variety of light sources, including sunshine, blue LEDs, red LEDs, green LEDs, and no light. In comparison to other light sources, the results of this study show that a microalgae photobioreactor that uses a blue LED as a light source has a more active role in boosting the ability of microalgae to reduce CO<sub>2</sub> emissions. The MQ-135 sensor and the LM-35 sensor that have been characterized have error percentages of 1.94 % and 0.58 %, respectively, when measuring CO<sub>2</sub> concentration and temperature. These findings suggest that the MQ-135 Sensor and the LM-35 Sensor can both detect CO<sub>2</sub> emissions and regulate temperature.*

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Pencemaran udara menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Pencemaran udara disebabkan oleh aktivitas manusia seperti limbah industri, transportasi dan kebakaran hutan. Pencemaran udara mengakibatkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di udara meningkat. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.107 Tahun 2015 ambang batas kadar CO<sub>2</sub> di dalam ruangan adalah kurang dari 1000 ppm. Kadar CO<sub>2</sub> yang tinggi di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan *asidosis* (keracunan karbon dioksida). *Asidosis* menyebabkan oksigen dalam darah sulit untuk dilepaskan ke dalam sel tubuh, sehingga tubuh kekurangan oksigen (Kemenkes, 2015)

Pengontrolan tingkat emisi CO<sub>2</sub> pada suatu ruangan dibutuhkan, agar tidak mencapai ambang batas sebesar 1000 ppm. Emisi CO<sub>2</sub> dapat dikontrol dengan menggunakan mikroalga di dalam fotobioreaktor (Cheng *et al.*, 2006). Fotobioreaktor merupakan gabungan antara bioreaktor dengan sumber cahaya (Jördening and Winter, 2005). Bioreaktor adalah tempat terjadinya reaksi yang melibatkan organisme tertentu menjadi suatu hasil yang dikehendaki. Fotosintesis merupakan reaksi yang terjadi di dalam fotobioreaktor, mikroalga berperan sebagai reaktornya, dan oksigen (O<sub>2</sub>) merupakan keluaran proses tersebut. Sumber cahaya dapat berupa sinar matahari dan sinar buatan yang berasal dari *Light Emitting Diode* (LED) berfungsi untuk membantu proses fotosintesis di dalam fotobioreaktor (Rusdiani, Boedisantoso dan Hanif, 2016).

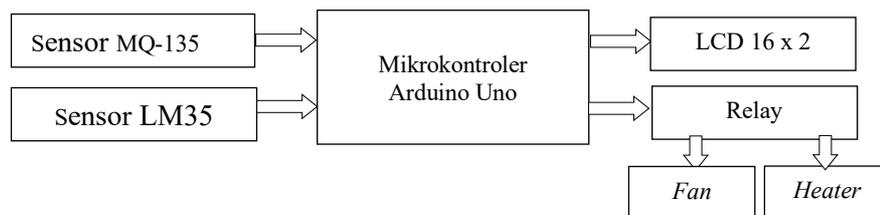
Perancangan fotobioreaktor pada mikroalga untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> telah banyak dikembangkan sebelumnya. Santoso dkk. (2010) merancang fotobioreaktor untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> pada cerobong industri. Pengukuran konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> yang tereduksi dilakukan dengan metode berat kering biomassa dan perhitungan persamaan gas ideal. Hasil yang didapat berupa penurunan konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> dari *boiler* setelah melewati fotobioreaktor sebesar 1-4% volume/hari. Penelitian ini tidak menggunakan alat ukur maupun sensor untuk mengukur konsentrasi emisi CO<sub>2</sub>, sehingga perlu adanya pengembangan yang lebih lanjut dari penelitian ini.

Berdasarkan permasalahan dan hasil penelitian yang telah dijabarkan maka dilakukan penelitian tentang sistem mitigasi emisi CO<sub>2</sub> pada ruangan menggunakan fotobioreaktor mikroalga berbasis sensor MQ-135. Mikroalga *Chlorella vulgaris* digunakan karena dapat menghasilkan konsentrasi O<sub>2</sub> yang tertinggi dibandingkan jenis mikroalga lainnya. Konsentrasi O<sub>2</sub> yang dihasilkan sekitar (20,9-21,7) % (Biolita dan Harmadi, 2017). Sistem dirancang menggunakan fotobioreaktor *annular* dengan sumber cahaya LED (merah, biru dan hijau) dan cahaya matahari. Suhu fotobioreaktor diatur dengan rentang (23-30) °C agar mikroalga *Chlorella vulgaris* dapat tumbuh dan berkembangbiak dengan baik (Nurhayati, Lutfi dan Hermanto, 2013). Penginjeksian gas CO<sub>2</sub> pada fotobioreaktor sebesar 2 L/min (Biolita dan Harmadi, 2017). Sensor MQ-135 berfungsi sebagai detektor emisi CO<sub>2</sub> pada fotobioreaktor. Sensor MQ-135 digunakan karena memiliki sensitivitas dan selektivitas yang baik terhadap emisi CO<sub>2</sub>.

## II. METODE

### 2.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan perangkat keras pada sistem ini menggunakan sensor MQ-135 sebagai sensor pendeteksi emisi CO<sub>2</sub> pada ruangan dan sensor LM35 sebagai pengontrol suhu di dalam fotobioreaktor yang digambarkan dengan diagram blok pada Gambar 3.2.



Gambar 1 Diagram blok sistem pendeteksi emisi CO<sub>2</sub> dan kontrol suhu

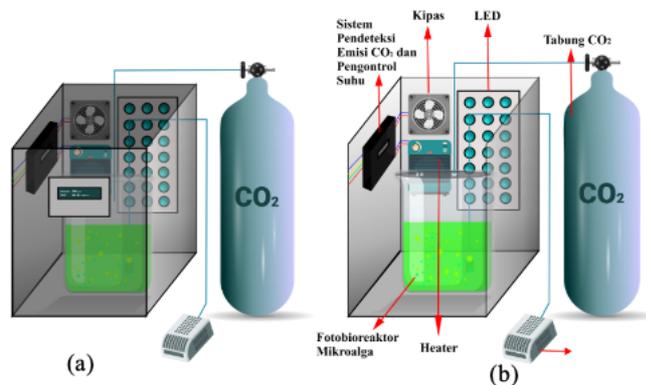
Tegangan keluaran dari sensor MQ-135 dan sensor LM35 akan diproses oleh Arduino Uno, nilai input suhu yang terdeteksi akan dibandingkan. Jika suhu yang terukur di atas 30° C maka *fan* akan

menyala dan *heater* akan mati. Jika temperatur yang terukur di bawah 23° C maka *fan* akan mati dan *heater* akan menyala. Nilai temperatur dan konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> yang telah terukur akan ditampilkan pada LCD dalam satuan °C dan ppm.

## 2.2 Perancangan Fotobioreaktor Mikroalga

Proses perancangan diawali dengan merancang fotobioreaktor mikroalga menggunakan 2 buah fotobioreaktor dengan tinggi 25 cm dan diameter 7 cm yang ditempatkan dalam ruangan berukuran 30 cm x 30 cm x 50 cm. Kemudian rangkaian sistem diintegrasikan ke dalam fotobioreaktor, yang bertujuan untuk mengatur suhu di dalam fotobioreaktor agar tetap pada rentang (23-30) °C serta untuk mendeteksi emisi CO<sub>2</sub> pada ruangan tercemar emisi CO<sub>2</sub>.

Pada fotobioreaktor mikroalga mengandung 0.5 liter mikroalga dan 0.5 liter nutrisi (BBM). Gas CO<sub>2</sub> disuplai ke dalam fotobioreaktor dengan laju aliran 2 L/menit. CO<sub>2</sub> diberikan untuk menentukan besar konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang mampu diserap oleh mikroalga. Bentuk fisik fotobioreaktor mikroalga ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2 Bentuk fisik fotobioreaktor mikroalga, a. tampak depan dan b. tampak dalam

## 2.3 Analisis Data

Analisis data merupakan proses untuk mengetahui tingkat ketepatan dan ketelitian dari suatu sistem pengukuran. Ketepatan merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Ketepatan dari sistem dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai sebenarnya pada alat pembanding dengan nilai yang terbaca pada alat ukur yang dirancang. Besar persentase kesalahan pada pengujian skala suatu alat ukur dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

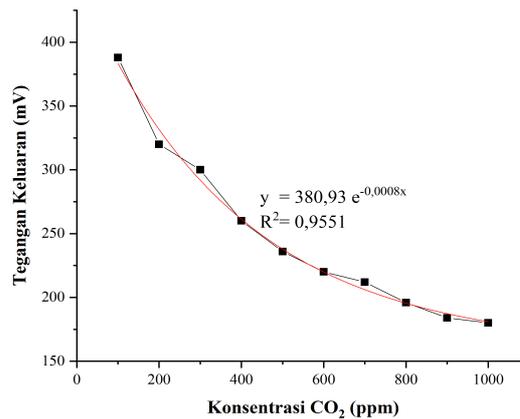
$$\%Error = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$Y_n$  adalah nilai sebenarnya pada alat pembanding dan  $X_n$  adalah nilai yang terbaca pada alat ukur yang dirancang. Alat pembanding yang digunakan adalah Lutron MCH-383 sebagai alat untuk mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam satuan ppm dan termometer digital sebagai alat untuk mengukur suhu dalam satuan derajat celsius.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Hasil Karakterisasi Konsentrasi CO<sub>2</sub> Terhadap Tegangan pada Sensor MQ-135

Karakterisasi sensor MQ-135 dilakukan dalam rentang konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> (100-1000) ppm yang sesuai dari *datasheet*. Variasi konsentrasi CO<sub>2</sub> dilakukan untuk mengetahui perubahan dari nilai tegangan keluaran sensor MQ-135 ketika sensor diberi perlakuan terhadap perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Hasil karakterisasi sensor dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 3.

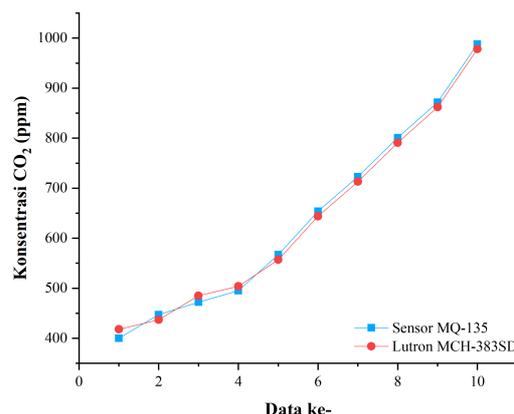


**Gambar 3** Grafik karakterisasi konsentrasi CO<sub>2</sub> terhadap tegangan pada sensor MQ-135

Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terdeteksi oleh sensor MQ-135 maka tegangan keluaran sensor akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena material pada sensor yang merangsang CO<sub>2</sub> akan menghasilkan resistansi yang rendah jika konsentrasi CO<sub>2</sub> yang diukur meningkat (Winsen, 2015). *Exponential trendline* digunakan pada karakterisasi ini untuk mendapatkan nilai koefisien regresi ( $R^2$ ) yang mendekati nilai 1. Hasil yang didapatkan adalah nilai koefisien regresi pada karakterisasi ini adalah 0,9551 dengan fungsi transfer dari hasil perbandingan antara tegangan keluaran sensor MQ-135 dengan nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> yaitu  $y = 380,93 e^{-0,0008x}$ . Sensor MQ-135 yang dikarakterisasi memiliki sensitivitas  $e^{-0,0008x}$  mV/ppm yang mana nilai ini menunjukkan setiap kali kenaikan 1 ppm konsentrasi CO<sub>2</sub> sensor akan menghasilkan perubahan tegangan keluaran sebesar  $e^{-0,0008x}$  mV. Nilai koefisien regresi yang didapatkan menerangkan bahwa regresi yang digunakan sudah mendekati nilai 1 yang menandakan bahwa semakin dekat nilai koefisien regresi menuju 1 maka semakin baik model regresi yang digunakan (Arnita, 2013).

### 3.2 Hasil Pengujian Sensor MQ-135 Sebagai Sensor Pendeteksi Emisi CO<sub>2</sub>

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan untuk melihat keakuratan dari alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan keluaran dari sensor MQ-135 dengan lutron CO<sub>2</sub> monitor sebagai alat pembanding. Data pengujian diplot dan didapatkan berupa grafik perbandingan perubahan kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan sensor MQ-135 dan lutron CO<sub>2</sub> monitor yang dapat dilihat pada Gambar 4.

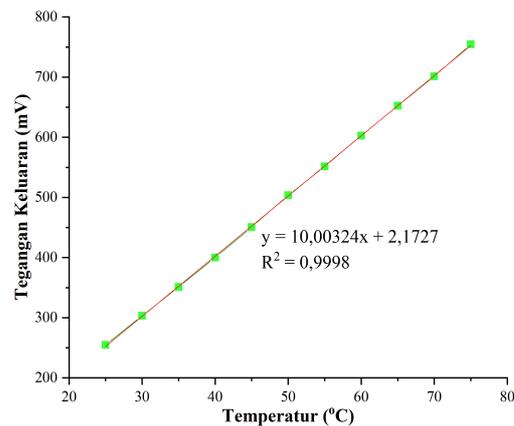


**Gambar 4** Grafik pengujian sensor MQ-135 sebagai sensor pendeteksi emisi CO<sub>2</sub>

Hasil pengujian didapatkan persentase kesalahan rata-rata sebesar 1,94%. Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sensor MQ-135 yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dapat digunakan sebagai alat ukur untuk mendeteksi konsentrasi CO<sub>2</sub> pada fotobioreaktor mikroalga.

### 3.3 Hasil Karakterisasi Suhu Terhadap Tegangan pada Sensor LM35

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari sensor LM35 mendeteksi suhu. Hasil karakterisasi sensor dapat dilihat pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.

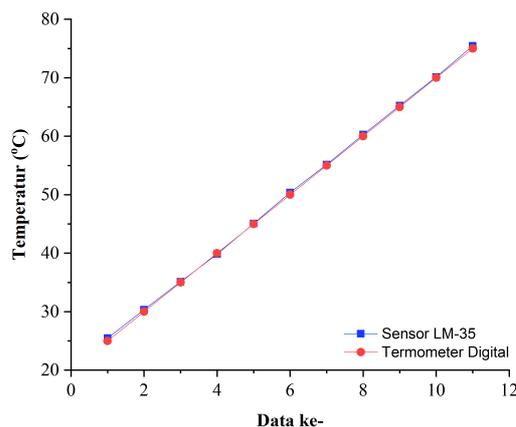


**Gambar 5** Grafik karakterisasi suhu terhadap tegangan pada sensor LM35

Karakterisasi sensor LM35 dilakukan pada rentang suhu 25°C-75°C. Variasi suhu terhadap tegangan keluaran dari sensor LM35 dilakukan untuk mengetahui perubahan dari nilai tegangan keluaran sensor ketika sensor diberi perlakuan terhadap perubahan suhu. Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin besar suhu yang terdeteksi oleh sensor LM35 maka tegangan keluaran sensor akan semakin meningkat. *Linear trendline* digunakan pada karakterisasi ini untuk mendapatkan nilai koefisien regresi ( $R^2$ ) yang mendekati nilai 1. Hasil yang didapatkan adalah nilai koefisien regresi pada karakterisasi ini adalah 0,9998 dengan fungsi transfer dari hasil perbandingan antara tegangan keluaran sensor LM-35 dengan nilai suhu yaitu  $y = 10,003x - 2,1727$ . Sensor LM-35 yang dikarakterisasi memiliki sensitivitas 10,003 mV/°C yang mana nilai ini menunjukkan setiap kali kenaikan suhu 1°C sensor akan menghasilkan perubahan tegangan keluaran sebesar 10,003 mV. Nilai koefisien regresi yang didapatkan menerangkan bahwa regresi yang digunakan sudah mendekati nilai 1 yang menandakan bahwa semakin dekat nilai koefisien regresi menuju 1 maka semakin baik model regresi yang digunakan (Arnita, 2013).

### 3.4 Hasil Pengujian Sensor LM-35 Sebagai Sensor Pendeteksi Emisi CO<sub>2</sub>

Pengujian sensor LM-35 dilakukan untuk melihat keakuratan dari alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan keluaran dari sensor LM-35 dengan termometer batang sebagai alat pembanding. Data pengujian dapat dilihat pada grafik perbandingan perubahan suhu dengan menggunakan sensor LM-35 dan termometer batang pada Gambar 6.



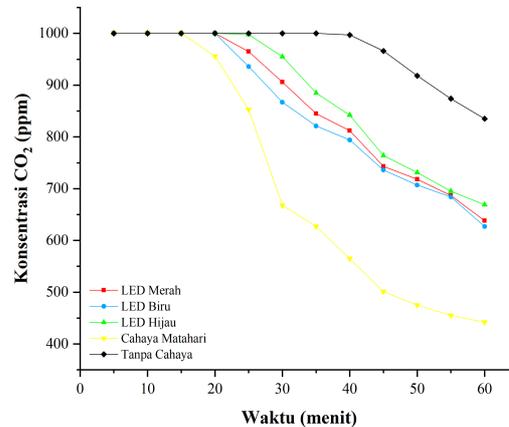
**Gambar 6** Grafik Pengujian Sensor LM-35 Sebagai Sensor Pendeteksi Emisi CO<sub>2</sub>

Hasil pengujian didapatkan persentase kesalahan rata-rata sebesar 0,48 %. Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sensor LM-35 yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan sebagai alat ukur untuk mendeteksi suhu pada fotobioreaktor mikroalga.

### 3.5 Hasil Pengujian Fotobioreaktor Mikroalga Terhadap Variasi Sumber Cahaya

Pengujian pada fotobioreaktro mikroalga dilakukan dengan beberapa variasi sumber cahaya yaitu dengan LED merah, LED biru, LED Hijau, Cahaya Matahari, dan tanpa sumber cahaya yang

bertujuan untuk melihat sumber cahaya mana yang lebih baik untuk media kultur di dalam fotobioreaktor mikroalga. Pengambilan data ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika Universitas. Pengujian dimulai dengan menginjeksikan emisi CO<sub>2</sub> selama 5 menit pertama dengan laju alir 2 L/min ke dalam fotobioreaktor mikroalga, kemudian dilakukan pemantauan emisi CO<sub>2</sub> selama 1 jam dengan rentang waktu setiap 5 menit. Data hasil pengujian konsentrasi CO<sub>2</sub> selama pengujian dengan variasi berbagai sumber cahaya dapat dilihat pada grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.

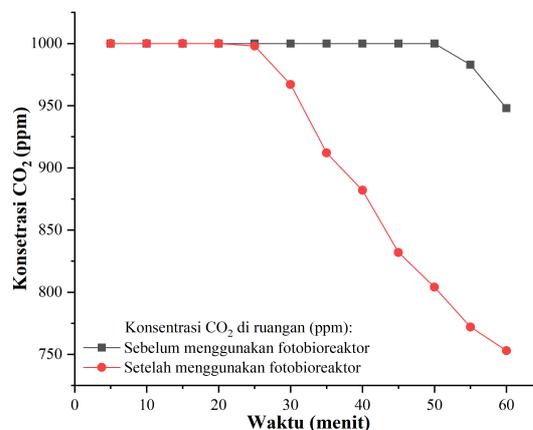


Gambar 7 Grafik Hasil Pengujian Variasi Sumber Cahaya.

Berdasarkan data hasil penelitian ini diketahui bahwa sumber cahaya berupa cahaya matahari lebih berperan aktif dalam meningkatkan kemampuan mikroalga untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub>, namun penggunaan cahaya matahari juga dapat mempercepat kematian pada mikroalga. Kematian yang cepat pada mikroalga disebabkan oleh peningkatan suhu di dalam fotobioreaktor karena paparan sinar matahari yang terus menerus dan menyebabkan sistem pengontrol suhu di dalam fotobioreaktor tidak dapat bekerja secara optimal. Suhu yang terukur pada saat menggunakan cahaya matahari sebagai sumber cahaya berkisar (35-43) °C. Berdasarkan hal tersebut maka perlakuan terbaik dalam meningkatkan kemampuan mikroalga untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> adalah perlakuan dengan sumber cahaya berupa LED biru.

### 3.6 Pengujian Fotobioreaktor pada Ruangan Tercemar Emisi CO<sub>2</sub>

Pengujian ini dilakukan untuk melihat peran fotobioreaktor mikroalga di dalam ruangan yang telah tercemar emisi CO<sub>2</sub>. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> sebelum menggunakan fotobioreaktor mikroalga dengan saat setelah menggunakan fotobioreaktor mikroalga. Data pengujian dapat dilihat pada grafik perbandingan penggunaan fotobioreaktor mikroalga dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Hasil Pengujian Penggunaan Fotobioreaktor

Hasil pengujian didapatkan bahwa pada saat sebelum menggunakan fotobioreaktor mikroalga nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 948 ppm, sedangkan setelah menggunakan fotobioreaktor mikroalga nilai

konsentrasi CO<sub>2</sub> adalah 753 ppm. Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa fotobioreaktor mikroalga yang telah dirancang dapat berperan dengan baik dalam mereduksi emisi CO<sub>2</sub> pada ruangan yang telah tercemar emisi CO<sub>2</sub>.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian sensor MQ-135 dengan alat pembanding memiliki persentase kesalahan rata-rata 0,12% dan hasil pengujian sensor LM-35 dengan alat pembanding memiliki persentase kesalahan rata-rata 0,58%. Setiap kenaikan konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> 1 ppm menghasilkan perubahan tegangan keluaran sebesar 36,06 mV dan nilai regresi 0,9551. Setiap kenaikan suhu 1° C menghasilkan perubahan tegangan keluaran sebesar 10,003 mV dan nilai regresi 0,9998. Kedua sensor yang digunakan dapat dianggap bekerja dengan baik dan dapat digunakan sebagai alat ukur untuk mendeteksi konsentrasi CO<sub>2</sub> dan suhu pada fotobioreaktor mikroalga. Sensor pendeteksi emisi CO<sub>2</sub> menggunakan sensor MQ-135 mampu mendeteksi emisi CO<sub>2</sub> pada rentang (100-1000) ppm dan sensor suhu menggunakan sensor LM-35 mampu mendeteksi suhu pada rentang (0-100) °C. Rancangan fotobioreaktor mikroalga dengan sumber cahaya LED Biru lebih berperan aktif dalam meningkatkan kemampuan mikroalga untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> dibandingkan dengan sumber cahaya lainnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam terlaksananya penelitian ini banyak pihak yang membantu penulis sehingga dapat menyelesaikannya tepat waktu. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) Republik Indonesia yang telah menghibahkan bantuan dana penelitian melalui Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2021.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arnita, R. C. (2013) *Pengantar Statistika, Jurnal Mimbar PGSD Universitas Pendidikan Ganesha*. Bandung: Cipta Pustaka Media Perintis.
- Biolita, N. O. dan Harmadi (2017) 'Perancangan Fotobioreaktor Mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk Mengoptimalkan Konsentrasi Oksigen (O<sub>2</sub>)', *Jurnal Fisika Unand*, 6(3), hal. 296–305.
- Cheng, L. *et al.* (2006) 'Carbon Dioxide Removal from Air by Microalgae Cultured in a Membrane-Photobioreactor', *Separation and purification technology*, 50(3), hal. 324–329.
- Jördening, H. J. dan Winter, J. (2005) *Environmental Biotechnology: Concepts and Applications*. John Wiley & Sons.
- Kementerian Kesehatan, 2015, Pedoman Penyehatan Udara di Dalam Ruang, *viewed 3 Februari 2021*, <[http://www.kemkes.go.id/Pedoman\\_Penyehatan\\_Udara\\_di\\_Dalam\\_Ruang.html](http://www.kemkes.go.id/Pedoman_Penyehatan_Udara_di_Dalam_Ruang.html)>
- Nurhayati, T., Lutfi, M. dan Hermanto, M. B. (2013) 'Penggunaan Fotobioreaktor Sistem Batch Tersirkulasi Terhadap Tingkat Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris*, *Chlorella sp.* dan *Nannochloropsis oculata*', *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(3).
- Rusdiani, R. R., Boedisantoso, R. dan Hanif, M. (2016) 'Optimalisasi Teknologi Fotobioreaktor Mikroalga sebagai Dasar Perencanaan Strategi Mitigasi Gas CO<sub>2</sub>', *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), hal. 188–192.
- Santoso, A. D. dan Darmawan, R. A. (2010) 'Teknologi Reduksi CO<sub>2</sub> dari Cerobong Industri dengan Fotobioreaktor Mikroalga sebagai Salah Satu Implementasi Green Industry', *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 4(3), hal. 21–24.
- Winsen (2015) *Solid Electrolyte CO<sub>2</sub> Gas Sensor Model MQ-135*. Zhengzhou, China: Datasheet.