Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 13, No. 6, November 2024, hal. 827 – 833
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.13.6.827-833.2024

Open Access

Sistem Fotobioreaktor dilengkapi Pemantauan Konsentrasi CO_2 dari Kabut Asap pada Model Kebakaran Lahan Gambut

Azzahra Zhuhri, Meqorry Yusfi, Harmadi*
Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 15 Juli 2024
Direvisi: 20 Oktober 2024
Diterima: 21 November 2024

Kata kunci:
fotobioreaktor
konsentrasi CO2
lahan gambut
sensor MQ-135

ABSTRAK

Lahan gambut yang dimiliki Indonesia cukup luas dan sering menyebabkan terjadinya kebakaran yang menimbulkan kabut asap. Kabut asap mengandung senyawa berbahaya yaitu karbon dioksida (CO_2). Salah satu upaya mereduksi kandungan CO_2 menggunakan sistem fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris*. Penelitian ini membuat sistem fotobioreaktor dilengkapi pemantauan konsentrasi emisi CO_2 dari kabut asap pada model kebakaran lahan gambut. Fotobioreaktor dilengkapi sensor MQ-135 untuk mendeteksi konsentrasi CO_2 dan sensor LM35 untuk mengetahui perubahan suhu pada wadah mikroalga. Suhu pada wadah mikroalga diatur pada rentang 25ºC - 30ºC sesuai dengan habitat hidupnya mikroalga. Data keluaran dari sensor diproses oleh Arduino Uno R3. Hasil pengukuran konsentrasi CO_2 dan suhu ditampilkan pada LCD I2C dalam satuan ppm dan ºC. Penelitian ini menggunakan variasi sumber cahaya berupa LED merah, hijau, biru dan cahaya matahari. Hasil dari penelitian didapatkan lampu LED biru berperan lebih aktif untuk meningkatkan kemampuan mikroalga mereduksi emisi CO_2 di dalam ruangan. Sistem fotobioreaktor yang menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* mampu mereduksi konsentrasi CO_2 yang dihasilkan dari kabut asap pada model kebakaran lahan gambut sebesar 655,08 ppm turun menjadi 620,47 ppm dalam rentang waktu 1 jam.

Keywords:
photobioreactor
CO2 concentration
peatlands
MQ-135 sensor

Penulis Korespondensi:
Harmadi
Email: harmadi@sci.unand.ac.id

Indonesia's peatlands are quite extensive and often cause fires that lead to haze. Haze contains harmful compounds, namely carbon dioxide (CO2). One of the efforts to reduce CO2 content is using a microalgae Chlorella vulgaris photobioreactor system. This research makes a photobioreactor system equipped with monitoring the concentration of CO2 emissions from haze on a peatland fire model. The photobioreactor is equipped with an MQ-135 sensor to detect CO2 concentration and an LM35 sensor to determine changes in temperature in the microalgae container. The temperature in the microalgae container is set in the range of 25ºC30ºC according to the habitat of microalgae. The output data from the sensors is processed by Arduino Uno R3. The measurement results of CO2 concentration and temperature are displayed on the I2C LCD in units of ppm and ºC. This study uses a variety of light sources in the form of red, green, blue LEDs and sunlight. The results of the study found that blue LED lights play a more active role to increase the ability of microalgae to reduce CO2 emissions in the room. The photobioreactor system using Chlorella vulgaris microalgae is able to reduce the concentration of CO2 produced from haze in the peatland fire model of 655.08 ppm down to 620.47 ppm within 1 hour.

Copyright © 2024 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Lahan gambut merupakan bagian dari ekosistem hutan tropis dengan tanah yang lembab dan terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhan yang telah mengering dan membuat lahan gambut mudah terbakar. Lahan gambut yang terbakar menyebabkan kerugian rusaknya habitat flora, fauna, dan polusi yang mengganggu aktivitas karena pencemaran lingkungan (Octavianda, 2020). Lahan gambut yang dimiliki Indonesia cukup luas dan sering menyebabkan terjadi kebakaran hutan yang menimbulkan kabut asap. Kebakaran hutan dan lahan dapat menimbulkan kabut asap yang bisa berdampak buruk pada kesehatan manusia. Kabut asap mengandung senyawa berbahaya yaitu karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 merupakan penyumbang emisi terbesar ke udara dari hasil terjadinya kebakaran lahan, konsentrasi CO_2 mencapai 90% dari total emisi pembakaran hutan (Nurhayati et al., 2013). Metode mengurangi kandungan karbon dioksida (CO_2) salah satunya dengan memanfaatkan kemampuan mikroalga *Chlorella Vulgaris*.

Mikroalga merupakan tumbuhan yang mampu mengumpulkan dan menggunakan energi matahari dan karbon dioksida (CO_2) untuk melakukan proses fotosintesis (Prasetyo et al., 2022). Mikroalga dinilai efektif mereduksi emisi karbon dioksida melalui proses fotosintesis (Fitri & Harmadi, 2020). Jenis mikroalga yang paling sering digunakan untuk penanggulangan emisi CO_2 adalah *Chlorella vulgaris* dikarenakan cukup mudah ditemukan hampir diseluruh perairan Indonesia. *Chlorella vulgaris* mampu melakukan fotosintesis menggunakan sumber cahaya buatan sehingga dapat dikembangbiakkan di dalam ruangan (Serra-Maia et al., 2016). Pengoptimalan kemampuan dari mikroalga dalam menangkap karbon dioksida (CO_2) dan menghasilkan oksigen (O_2) dapat diperoleh melalui perancangan suatu fotobioreaktor. Fotobioreaktor adalah jenis bioreaktor yang digunakan untuk membudidayakan mikroalga dengan meningkatkan jumlah cahaya yang tersedia (Mora et al., 2020). Fotobioreaktor terbagi menjadi 2 jenis yaitu fotobioreaktor terbuka dan fotobioreaktor tertutup. Jenis fotobioreaktor tertutup lebih mudah untuk dikontrol dan kemungkinan mendapatkan pengaruh dari luar secara tidak teratur lebih kecil dibandingkan dengan fotobioreaktor terbuka (Junita & Harmadi, 2020).

Perancangan fotobioreaktor pada mikroalga untuk mereduksi emisi CO_2 telah banyak dikembangkan sebelumnya (Alwan et al., 2022) membuat sistem fotobioreaktor dengan memanfaatkan *Chlorella vulgaris* untuk mengukur konsentrasi gas CO_2 pada sebuah ruangan menggunakan sensor MQ-135. Sensor MQ-135 adalah sensor yang mampu mendeteksi perubahan nilai konsentrasi CO_2. Sensitivitas sensor akan naik seiring dengan naiknya konsentrasi CO_2. Penelitian yang dilakukan masih mengukur nilai konsentrasi CO_2 menggunakan sumber tabung CO_2 sebagai sumber emisi, dan belum menerapkan langsung pada konsentrasi CO_2 dari model kebakaran hutan pada lahan gambut.

(Biolita & Harmadi, 2017) merancang rancangan fotobioreakotr mikroalga *Chlorella vulgaris* berhasil meningkatkan konsentrasi oksigen (O_2) diatas 20% dengan lampu halogen dan LED. Konsentrasi O_2 mendeteksi kadar O_2 paling tinggi 21,7%. Kekurangan dari penelitian ini perlu menambahkan konrol pH pada fotobioreaktor, pengukuran gas CO_2 sebelum melakukan penelitian dan menghitungkan jumlah sel mikroalga dalam fotobioreaktor untuk mengoptimalisasi produksi oksigen.

Berdasarkan permasalahan yang ada, penelitian ini membuat sistem fotobioreaktor yang di lengkapi dengan sensor MQ-135 yang mampu mendeteksi konsentrasi emisi gas CO_2 dari kabut asap pada model lahan gambut. Sistem fotobioreaktor ini menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris*. Sumber cahaya yang digunakan untuk membantu proses fotosintesis yang berasal dari LED. Suhu pada fotobioreaktor diatur dalam rentang dibawah 25ºC hingga 30ºC agar mikroalga *Chlorella vulgaris* dapat berkembang biak dengan baik, rentang suhu akan dideteksi oleh sensor LM35, membuat model kebakaran hutan pada lahan gambut, dan nilai konsentrasi emisi CO_2 ditampilan pada LCD.

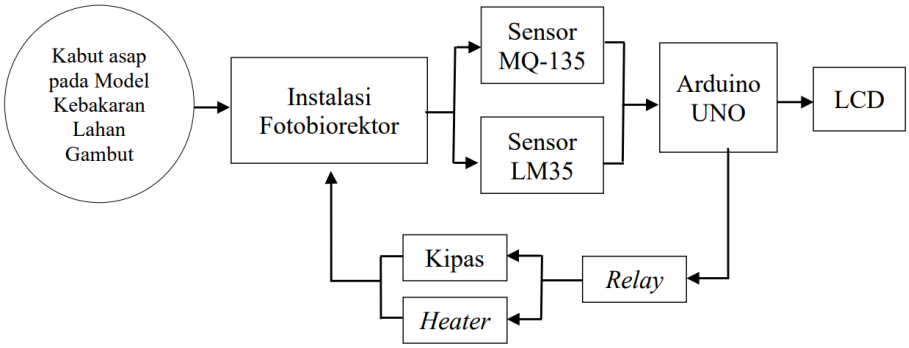
II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lampu LED (merah,biru,hijau), lutron mch-383sd, lux meter, solder, mikroalga *Chlorella vulgaris,* sensor MQ-135, sensor LM35, Arduino uno, alumunium foil, LCD, kipas, *heater*, *relay*¸BBM (*Bold Bassal Medium)*.

2.2 Perancangan Diagram Blok Sistem

Diagram blok perancangan sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

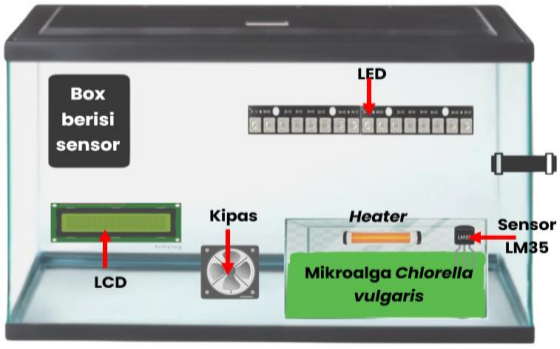


Gambar 1 Diagram blok sistem fotobioreaktor

Sensor MQ-135 sebagai pendeteksi emisi CO_2, sensor LM35 sebagai pendeteksi suhu. Nilai pengukuran dari masing-masing sensor akan diproses oleh mikrokontroler. Nilai masukan suhu yang terdeteksi akan dibandingkan, jika nilai yang terukur dibawah 25º C maka kipas akan mati dan *heater* akan hidup. Dan jika nilai suhu yang terukur diatas 32º C maka kipas akan menyala dan *heater* akan mati. Lalu LCD akan menampilkan nilai temperature dan konsentrasi emisi CO_2 dalam satuan ºC dan ppm.

2.3 Perancangan Sistem Secara Keseluruhan

Rancangan sistem keseluruhan sistem mitigasi CO_2 menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan ukuran ruangan sebesar 30 cm x 30 cm x 50 cm yang dilengkapi dengan berbagai komponen diawali dengan menggunakan wadah yang berisi 0,5 liter mikroalga dan 0,5 liter nutrisi. Lalu komponen berupa sensor MQ-135, sensor LM35, LED, LCD, kipas, dan *heater* diintegrasikan kedalam sistem yang telah dirancang sebelumnya. Bentuk fisik perancangan sistem fotobioreaktor secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk fisik sistem fotobioreaktor secara keseluruhan

2.4 Pengujian dan Analisis Data

Analisis data digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan dan ketelitian dari pengukuran sensor. Sistem pendeteksi emisi CO_2 membutuhkan teknis analisis data untuk persen kesalahan dalam sistem pengukuran. Sistem keakuratan dan ketelitian dapat ditentukan dari presentase kesalahan antara nilai aktual dan nilai yang dibaca, besar presentase tersebut dapat dtentukan dengan Persamaan 1.

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

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan untuk mengetahui kepekaan sensor dalam mendeteksi emisi CO_2 dengan akurat dari alat yang telah dirancang. Hasil dari pengujian sensor MQ-135 lalu dibandingkan dengan alat pembanding yaitu Lutron MCH-383SD. Emisi karbon dioksida (CO_2) yang digunakan untuk pengujian sensor berasal dari tabung CO_2. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian sensor MQ-135

No	Konsentrasi CO2 dari Alat Pembanding (ppm)	Konsentrasi CO2 dari Sensor MQ-135 (ppm)	Presentase Kesalahan (%)
1	400	411	2,25
2	480	453	3,13
3	495	506	1,622
4	526	552	3,99
5	558	579	2,10
6	637	668	2,77
7	705	679	2,26
8	820	854	2,68
9	946	917	1,05
10	1002	1015,8	0,17
	Rata-rata		3,64

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian di dapatkan hasil pengujian sensor MQ-135 dengan Lutron MCH383SD dengan presentase rata-rata kesalahan yang didapatkan sebesar 3,64%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor MQ-135 sudah bekerja dengan baik dan sesuai yang diharapkan.

3.2 Hasil Pengujian Sensor LM35

Pengujian sensor LM35 dilakukan untuk mengetahui sensor dapat mendeteksi perubahan suhu dari alat yang telah dirancang. Pengujian sensor suhu LM35 dilakukan dengan cara memberikan tegangan pada sensor. Hasil dari pengujian sensor LM35 dibandingkan dengan alat pembanding yaitu termometer digital. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

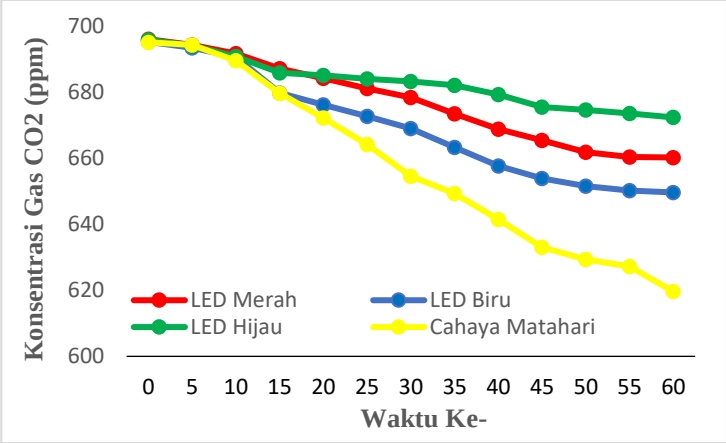
Tabel 2 Sistem kerja alat keseluruhan

No.	Suhu dari Alat Pembanding (C)	Suhu dari Sensor LM35 (C)	Presentase Kesalahan (%)
1	20	20,567	2,83
2	25	24,684	1,26
3	30	30,919	3,06
4	35	35,759	2,16
5	40	41,245	3,11
6	45	44,269	1,62
7	50	50,647	1,29
8	55	54,317	1,24
9	60	60,231	0,38
10	65	66,419	2,18
	Rata-rata		1,91

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sensor LM35 dengan termometer digital menghasilkan 10 data suhu. Suhu yang terdeteksi oleh sensor LM35 yang digunakan sesuai dengan *datasheet* sensor yaitu mampu mendeteksi pada rentang suhu sebesar -55ºC sampai 150ºC. Hasil pengujian suhu terlihat bahwa tidak ada selisih antara suhu yang terukur dengan termometer digital dengan presentase kesalahan yang didapatkan sebesar 1,91%, dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sensor LM35 sudah bekerja dengan baik dan sesuai dalam mendeteksi suhu.

3.3 Hasil Pengujian Mikroalga terhadap Lampu LED (Merah, Biru, Hijau) dan Cahaya Matahari

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati kemampuan mikroalga dalam mereduksi emisi CO_2 kabut asap model kebakaran lahan gambut dengan memberikan bahan yang diperlukan agar proses fotosintesis pada mikroalga dapat terjadi. Bahan yang diperlukan untuk pengujian ini berupa lampu LED, cahaya matahari, dan CO_2 yang dihasilkan dari model lahan gambut. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan sumber cahaya mana yang paling efektif dalam proses fotositesis pada mikroalga *Chlorella vulgaris*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 3.



Gambar 3 Grafik hasil pengujian mikroalga terhadap variasi sumber cahaya

Tabel 3 Pengujian konsentrasi emisi CO_2 terhadapa variasi sumber cahaya

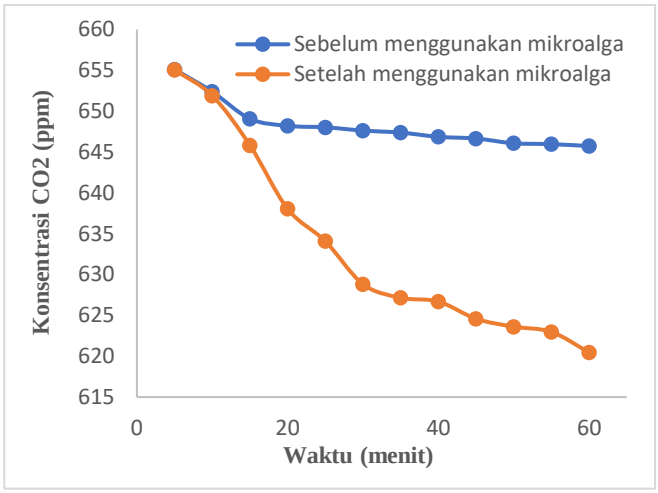
No.	Waktu (menit)	Konsentrasi Emisi CO_2 terhadap Variasi Sumber Cahaya (ppm)			
		LED Merah	LED Biru	LED Hijau	Cahaya Matahari
1.	0	696,19	695,36	696,01	695,24
2.	5	694,45	693,57	694,28	694,39
3.	10	691,78	690,72	690,95	690,65
4.	15	687,23	679,85	685,99	679,78
5.	20	684,37	676,31	685,18	672,31
6.	25	681,2	672,83	684,19	664,27
7.	30	678,49	669,13	683,35	654,65
8.	35	673,55	663,39	682,24	649,39
9.	40	668,93	657,74	679,37	641,54
10.	45	665,55	653,96	675,59	633,13
11.	50	661,93	651,62	674,74	629,41
12.	55	660,48	650,29	673,65	627,22
13.	60	660,31	649,71	672,46	619,66

Berdasarkan tabel data hasil pengujian diatas, kapabilitas mikroalga dalam mereduksi emisi CO_2 dari kabut asap pada ruangan dalam waktu 1 jam menggunakan variasi sumber cahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mikroalga *Chlorella vulgaris* yang diberi perlakuan sumber cahaya LED biru dan cahaya matahari lebih banyak menyerap emisi CO_2. Semakin rendah konsentrasi CO_2 yang terukur setelah 1 jam pengamatan, maka semakin baik kinerja mikroalga dalam menyerap dan mengurangi emisi CO_2. Perubahan nilai konsentrasi emisi CO_2 dipengaruhi oleh kemampuan mikroalga dalam fotosintesis yang memanfaatkan panjang gelombang tertentu. Mikroaga hanya mampu menyerap panjang gelombang cahaya tampak dengan kisaran 380-750 nm, yang mana jenis cahaya tampak memiliki pengaruh yang berbeda terhadap fotosintesis.

(Asuthkar et al., 2015) mengatakan bahwa LED biru memiliki Panjang gelombang terpendek dibandingkan dengan warna LED lainnya, yaitu 450-495nm. Panjang gelombang yang pendek dapat menghasilkan energi yang besar. Besarnya energi mampu mempengaruhi pembelahan sel sehingga jumlah sel mikroalga dapat meningkat dengan cepat dan mampu mereduksi jumlah emisi CO_2 lebih banyak. Berdasarkan hal ini maka perlakuan terbaik dalam peningkatan kemampuan mikroalga dalam mereduksi emisi CO_2 dengan perlakuan sumber cahaya lampu LED berwarna biru.

3.4 Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil nilai konsentrasi CO_2 sebelum menggunakan mikroalga dan sesudah menggunakan mikroalga. Data hasil konsentrasi CO_2 yang tereduksi oleh mikroalga ditampilkan pada LCD. Sistem fotobioreaktor mengontrol suhu didalam ruangan pada rentang 25ºC sampai 32ºC agar mikroalga tetap hidup dengan baik. Data hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Grafik hasil pengujian sistem secara keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan berlangsung selama 1 jam dengan rentang waktu setiap 5 menit. Pada saat kabut asap dari model kebakaran lahan gambut dialirkan pada fotobioreaktor yang belum menggunakan mikroalga nilai CO_2 yang terdeteksi 655,12 ppm turun menjadi 645,74 ppm. Sedangkan saat fotobioreaktor yang dialiri oleh kabut asap dari model kebakaran lahan gambut telah menggunakan mikroalga, nilai CO_2 yang dideteksi 655,08 ppm turun menjadi 620,47 ppm. Berdasarkan dari hasil data yang diperoleh maka disimpulkan bahwa fotobioreaktor mikroalga dapat menanggulangi emisi CO_2 yang dihasilkan dari kabut asap pada model kebakaran lahan gambut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian alat secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa telah berhasil memantau dan mereduksi emisi CO_2 dari kabut asap kebakaran pada model lahan gambut dan hasil pengukurannya ditampilkan pada LCD. Hasil karakterisasi sensor MQ-135 memiliki nilai sensitivitas 0,0012 V/ppm dan sensor LM35 memiliki nilai sensitivitas 0,9965V/ºC. Hasil pengujian sensor MQ-135 dengan Lutron MCH-383SD memiliki nilai kesalahan rata-rata 3,64% dan hasil pengujian sensor LM35 dengan termometer digital memiliki nilai kesalahan rata-rata 1,91%. Sistem fotobioreaktor mikroalga dengan sumber cahaya LED Biru lebih banyak mereduksi emisi CO_2 dari kabut asap kebakaran model lahan gambut. Fotobioreaktor mikroalga *Chlorella vulgaris* mampu mendeteksi dan menanggulangi emisi CO_2 yang dihasilkan dari kabut asap pada model kebakaran lahan gambut dari konsentrasi 655,08 ppm turun menjadi 620,47 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

Alwan, M. N., Costrada, A. N., & Harmadi, H. (2022). Sistem Mitigasi Emisi CO2 pada Ruangan Menggunakan fotobioreaktor Mikroalga Berbasis Sensor MQ-135. *Jurnal Fisika Unand*, *11*(1).

Asuthkar, M., Gunti, Y., R., R. S., Rao, C. S., & Yadavalli, R. (2015). Effect Of Different Wavelengths Of Light On The Growth Of Chlorella Pyrenoidosa. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, *7*(2). https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7(2).1000-05

Biolita, N. O., & Harmadi, H. (2017). Perancangan Fotobioreaktor Mikroalga Chlorella vulgaris untuk Mengoptimalkan Kosentrasi Oksigen (O2). *Jurnal Fisika Unand*, *6*(3).

Fitri, R. M., & Harmadi, H. (2020). Perancangan Instalasi Sel Fotobioreaktor Mikroalga untuk Mengurangi Emisi CO2 pada Sirkulasi Udara Mobil. *Jurnal Fisika Unand*, *9*(2).

Junita, E., & Harmadi, H. (2020). Perancangan Sistem Akuakultur pada Fotobioreaktor Mikroalga Chlorella vulgaris. *Jurnal Fisika Unand*, *9*(3).

Mora, O., Mouël, C. Le, Lattre-Gasquet, M. De, Donnars, C., Dumas, P., Réchauchère, O., Brunelle, T., Manceron, S., Marajo-Petitzon, E., Moreau, C., Barzman, M., Forslund, A., & Marty, P. (2020). Exploring the future of land use and food security: A new set of global scenarios. *PLoS ONE*, *15*(7 July), 1–29. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235597

Nurhayati, T., Hermanto, B., & Lutfi, D. M. (2013). Penggunaan Fotobioreaktor Sistem Batch Tersirkulasi terhadap Tingkat Pertumbuhan Mikroalga Chlorella vulgaris, Chlorella sp. dan Nannochloropsis oculata The Recirculation Batch System of Photobioreactor Against Growth Rate of Chlorella vulgaris Microalgae, Chlorella sp. and Nannochloropsis oculata. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, *1*(3), 249–257.

Octavianda, E. (2020). Alat pendeteksi Kebakaran Lahan Gambut Berbasis Arduino. Politeknik Negeri Sriwijaya.

Prasetyo, L. D., Supriyantini, E., & Sedjati, S. (2022). Pertumbuhan Mikroalga Chaetoceros calcitrans Pada Kultivasi Dengan Intensitas Cahaya Berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, *11*(1), 59–70. https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.31698

Serra-Maia, R., Bernard, O., Gonçalves, A., Bensalem, S., & Lopes, F. (2016). Influence of temperature on Chlorella vulgaris growth and mortality rates in a photobioreactor. *Algal Research*, *18*, 352–359. https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.06.016