

Optimasi Produksi Bioetanol Menggunakan Mikroalga untuk Meningkatkan Keberlanjutan Energi Hijau

^{1*}Samsurizal, ²Yulisya Zuriatni, ³Rudina Okvasari, ⁴Septianissa Azzahra, ⁵Muhammad Zulham Kentjie

¹⁻⁵Institut Teknologi PLN

¹samsurizal@itpln.ac.id, ²yulisya.zuriatni@itpln.ac.id,

³rudina@itpln.ac.id, ⁴septianissa@itpln.ac.id, ⁵m.zulham@itpln.ac.id

Penulis Korespondensi: Samsurizal

Abstrak—Produksi bioetanol sebagai alternatif energi terbarukan semakin penting untuk mendukung keberlanjutan energi hijau. Namun, proses produksi bioetanol dari bahan baku konvensional masih menghadapi tantangan terkait efisiensi dan dampak lingkungan. Mikroalga, seperti *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*, menawarkan potensi sebagai sumber karbohidrat untuk bioetanol, namun optimasi produksinya masih diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi produksi bioetanol menggunakan kedua mikroalga tersebut melalui simulasi perhitungan biomassa, kandungan karbohidrat, dan potensi bioetanol selama 100 hari. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Chlorella* menghasilkan biomassa 500 g/L dan potensi bioetanol 63.75 g/L pada hari ke-100, sedangkan *Spirulina* menghasilkan biomassa 400 g/L dan potensi bioetanol 40.80 g/L. Temuan ini memberikan wawasan penting tentang potensi mikroalga sebagai solusi energi hijau yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta membuka peluang untuk penelitian lanjutan dalam mengoptimalkan proses produksi bioetanol dengan variabel lingkungan yang lebih beragam dan skala yang lebih besar.

Kata Kunci—bioetanol; mikroalga; energi hijau; algoritma optimasi

Abstract— Bioethanol production as an alternative renewable energy is increasingly important to support green energy digestion. However, the bioethanol production process from conventional raw materials still faces challenges related to efficiency and environmental impacts. Microalgae, such as *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*, offer potential as a carbohydrate source for bioethanol, but optimization of their production is still needed. This study aims to optimize bioethanol production using microalgae through simulation calculations of biomass, carbohydrate content, and bioethanol potential for 100 days. The simulation results show that *Chlorella* produces 500 g/L biomass and 63.75 g/L bioethanol potential on the 100th day, while *Spirulina* produces 400 g/L biomass and 40.80 g/L bioethanol potential. These findings provide important insights into the potential of microalgae as an environmentally friendly and sustainable green energy solution, and open up opportunities for further research in optimizing the bioethanol production process with more diverse environmental variables and larger scales.

Keywords—bioethanol; microalgae; green energy; optimization algorithm

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Polusi udara menjadi salah satu masalah utama pencemaran lingkungan yang dihadapi dunia saat ini. Berdasarkan laporan *World Health Organization* (WHO), polusi udara menyebabkan sekitar tujuh juta kematian setiap tahun, baik dari polusi udara luar maupun dalam ruangan[1],

[2]. Angka kematian akibat polusi udara ini tiga kali lebih besar dibandingkan dengan kematian akibat malaria, TBC, dan AIDS. Polusi udara berkontribusi terhadap penyakit jantung (25%), stroke (24%), kanker paru-paru (29%), dan penyakit paru obstruktif (43%) [3], [4], [5]. Salah satu penyebab utama peningkatan polusi udara adalah meningkatnya jumlah kendaraan bermotor, yang menghasilkan emisi gas berbahaya seperti CO, CO₂, NO, SO₂, dan Pb.

Gas karbon dioksida (CO₂), yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, menjadi salah satu penyumbang utama pemanasan global. Oleh karena itu, upaya untuk mengurangi emisi CO₂ sangat penting guna mengurangi dampak perubahan iklim. Fiksasi CO₂ menggunakan mikroalga merupakan salah satu metode yang ramah lingkungan dan ekonomis. Mikroalga menyerap CO₂ dalam proses fotosintesis, yang kemudian mengubahnya menjadi oksigen, menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biofuel dan produk lainnya[7].

Penelitian mengenai pemanfaatan mikroalga untuk produksi bioetanol semakin berkembang, terutama karena mikroalga menawarkan keunggulan dalam efisiensi produksi dan potensi konversi karbohidrat menjadi bioetanol[7], [8]. Beberapa spesies mikroalga seperti *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*, dan *Scenedesmus* telah diidentifikasi sebagai kandidat potensial untuk bioetanol. *Chlorella vulgaris*, misalnya, dikenal memiliki laju pertumbuhan yang cepat dan kandungan karbohidrat yang tinggi, yang memudahkan konversinya menjadi bioetanol [1], [9]. Sementara itu, *Spirulina platensis* meskipun memiliki kandungan karbohidrat yang sedikit lebih rendah, juga terbukti berpotensi dalam menghasilkan bioetanol[4], [10], [11].

Sebagai respons terhadap peningkatan emisi CO₂ dari berbagai sumber, teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) telah dikembangkan untuk menangkap emisi CO₂ dari pembangkit listrik dan fasilitas industri. Namun, teknologi ini masih memerlukan integrasi dengan pendekatan biologis untuk meningkatkan efisiensi. Penggunaan mikroalga sebagai solusi untuk penyerapan CO₂ menawarkan potensi besar, karena mikroalga dapat memfiksasi CO₂ hingga 50 kali lebih efisien dibandingkan dengan tanaman konvensional[12], [13], [14].

Mikroalga, seperti *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*, memiliki potensi yang sangat baik dalam produksi bioetanol[15], [16]. Faktor-faktor seperti laju pertumbuhan, kandungan karbohidrat, dan kemampuan menghasilkan biomassa dalam jumlah besar sangat penting dalam memilih spesies mikroalga yang paling efisien untuk konversi menjadi bioetanol[18], [19]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi produksi bioetanol dengan menggunakan mikroalga sebagai solusi energi hijau yang ramah lingkungan.

Untuk mendukung kultur mikroalga, fotobioreaktor menjadi komponen krusial dalam penelitian ini. Fotobioreaktor adalah alat yang digunakan untuk mengkultur mikroalga dengan memfasilitasi suplai media dan emisi gas, termasuk CO₂, yang mendukung fotosintesis mikroalga. Teknologi fotobioreaktor mampu meningkatkan produktivitas mikroalga hingga dua hingga lima kali lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi konvensional. Kecepatan aliran fluida dan injeksi gas CO₂ dapat diatur untuk mengoptimalkan kapasitas penyerapan CO₂ oleh mikroalga[19], [20].

Proses konversi mikroalga menjadi bioetanol melibatkan beberapa tahapan penting, termasuk pemilihan spesies mikroalga dengan kandungan karbohidrat yang tinggi, pengembangan teknik kultivasi yang efisien, serta penggunaan metode ekstraksi dan fermentasi yang efektif. Selain itu, pengoptimalan kondisi pertumbuhan mikroalga, seperti pH, suhu, dan intensitas cahaya, juga menjadi faktor kunci dalam meningkatkan hasil konversi mikroalga menjadi bioetanol. Dengan mengintegrasikan teknologi fotobioreaktor dalam penelitian ini, diharapkan dapat tercipta sistem produksi bioetanol yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta memberikan kontribusi pada pengurangan emisi CO₂ global.

II. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi produksi bioetanol menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*. Untuk itu, dilakukan simulasi perhitungan biomassa, kandungan karbohidrat, dan potensi bioetanol yang dihasilkan selama 100 hari. Pendekatan

simulasi ini dipilih untuk memperoleh estimasi yang akurat mengenai kemampuan kedua mikroalga dalam menghasilkan bioetanol di bawah kondisi optimal.

2.1. Pemilihan Mikroalga

Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dipilih karena keduanya memiliki potensi tinggi dalam menghasilkan biomassa yang kaya akan karbohidrat. *Chlorella vulgaris* dikenal memiliki laju pertumbuhan yang cepat dan kandungan karbohidrat yang tinggi, yang mendukung konversi lebih efisien menjadi bioetanol. *Spirulina platensis*, meskipun memiliki kandungan karbohidrat yang sedikit lebih rendah, juga merupakan kandidat yang baik untuk produksi bioetanol karena kemampuannya untuk bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan.

2.2. Desain Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Python* karena fleksibilitas dan kemampuannya dalam melakukan perhitungan numerik serta visualisasi data. Simulasi ini dilakukan untuk menghitung biomassa, kandungan karbohidrat, dan potensi produksi bioetanol dari kedua mikroalga selama 100 hari. Algoritma yang digunakan pada simulasi ini mengacu pada model matematis yang menghubungkan antara biomassa mikroalga dan potensi bioetanol berdasarkan laju pertumbuhan mikroalga dan kandungan karbohidrat. Simulasi ini menggunakan parameter yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengujian

Parameter	Nilai
Biomassa per hari (<i>Chlorella</i>)	5 g/L
Kandungan Karbohidrat (<i>Chlorella</i>)	25% dari biomassa
Efisiensi Produksi Bioetanol (<i>Chlorella</i>)	0.51 g bioetanol/gram karbohidrat
Biomassa per hari (<i>Spirulina</i>)	4 g/L
Kandungan Karbohidrat (<i>Spirulina</i>)	20% dari biomassa

Biomassa per hari untuk *Chlorella* dan *Spirulina*: 5 g/L dan 4 g/L, masing-masing, sebagai nilai dasar yang mewakili produksi biomassa mikroalga dalam kondisi pertumbuhan optimal. Kandungan Karbohidrat: *Chlorella* mengandung 25% karbohidrat dari biomassa, sementara *Spirulina* mengandung 20%. Efisiensi Produksi Bioetanol: Setiap gram karbohidrat menghasilkan 0.51 g bioetanol, yang digunakan untuk menghitung potensi bioetanol yang dihasilkan.

2.3. Pengolahan dan Perhitungan Data

Simulasi dilakukan dengan menghitung pertumbuhan biomassa setiap hari selama 100 hari. Setelah perhitungan biomassa dan kandungan karbohidrat dilakukan, data digunakan untuk menghitung potensi bioetanol yang dapat dihasilkan oleh masing-masing mikroalga. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan antara *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*.

2.4. Visualisasi Hasil

Untuk memudahkan analisis, hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik menggunakan pustaka *Matplotlib*. Grafik ini menggambarkan perubahan biomassa, kandungan karbohidrat, dan potensi bioetanol dari kedua mikroalga selama 100 hari. Hasil ini memberikan gambaran yang jelas mengenai perbandingan antara kedua mikroalga dalam hal pertumbuhan biomassa dan potensi bioetanol.

2.5. Validasi dan Pembandingan

Hasil simulasi dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang telah mengkaji potensi mikroalga dalam produksi bioetanol. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *Chlorella*

vulgaris lebih efisien dalam menghasilkan bioetanol dibandingkan dengan mikroalga lain, seperti *Spirulina platensis*. Pembandingan ini bertujuan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh dan memastikan keakuratan model simulasi yang digunakan.

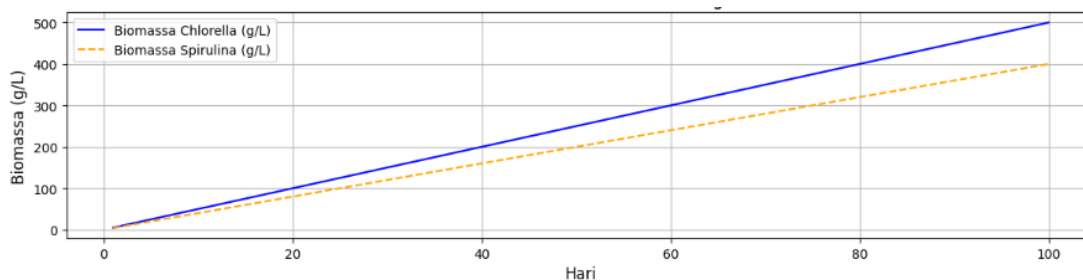
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, produksi bioetanol dari mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis* dianalisis melalui simulasi perhitungan biomassa, kandungan karbohidrat, dan potensi bioetanol yang dihasilkan selama 100 hari. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan biomassa, kandungan karbohidrat, dan potensi bioetanol untuk kedua mikroalga selama 100 hari.

Tabel 1. Hasil Simulasi Produksi Bioetanol dari *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina platensis*

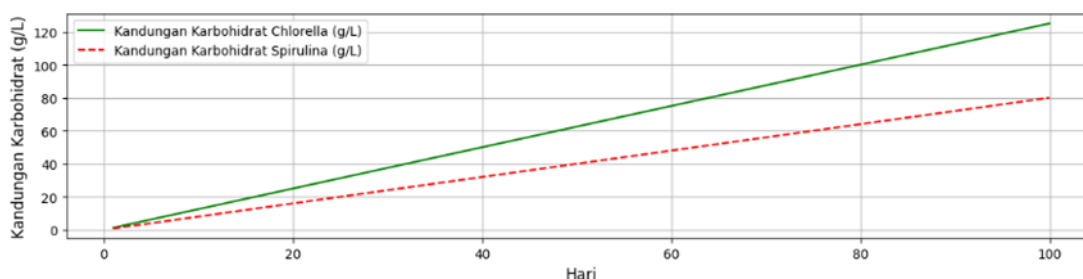
Hari	<i>Chlorella</i>			<i>Spirulina</i>		
	Biomassa <i>Chlorella</i> (g/L)	Kandungan Karbohidrat <i>Chlorella</i> (g/L)	Potensi Bioetanol <i>Chlorella</i> (g/L)	Biomassa <i>Spirulina</i> (g/L)	Kandungan Karbohidrat <i>Spirulina</i> (g/L)	Potensi Bioetanol <i>Spirulina</i> (g/L)
1	5.00	1.25	0.64	4.00	0.80	0.41
5	25.00	6.25	3.19	20.00	4.00	2.04
10	50.00	12.50	6.38	40.00	8.00	4.08
15	75.00	18.75	9.56	60.00	12.00	6.12
20	100.00	25.00	12.75	80.00	16.00	8.16
25	125.00	31.25	15.94	100.00	20.00	10.20
30	150.00	37.50	19.13	120.00	24.00	12.24
35	175.00	43.75	22.32	140.00	28.00	14.28
40	200.00	50.00	25.50	160.00	32.00	16.32
45	225.00	56.25	28.69	180.00	36.00	18.36
50	250.00	62.50	31.88	200.00	40.00	20.40
55	275.00	68.75	35.06	220.00	44.00	22.44
60	300.00	75.00	38.25	240.00	48.00	24.48
65	325.00	81.25	41.44	260.00	52.00	26.52
70	350.00	87.50	44.63	280.00	56.00	28.56
75	375.00	93.75	47.81	300.00	60.00	30.60
80	400.00	100.00	51.00	320.00	64.00	32.64
85	425.00	106.25	54.19	340.00	68.00	34.68
90	450.00	112.50	57.38	360.00	72.00	36.72
95	475.00	118.75	60.56	380.00	76.00	38.76
100	500.00	125.00	63.75	400.00	80.00	40.80

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam menghasilkan biomassa dan potensi bioetanol dibandingkan dengan *Spirulina platensis* sepanjang periode 100 hari. Pada hari ke-100, *Chlorella* menghasilkan biomassa sebesar 500 g/L, sedangkan *Spirulina* hanya mencapai 400 g/L. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan dalam laju pertumbuhan mikroalga yang lebih cepat pada *Chlorella*.



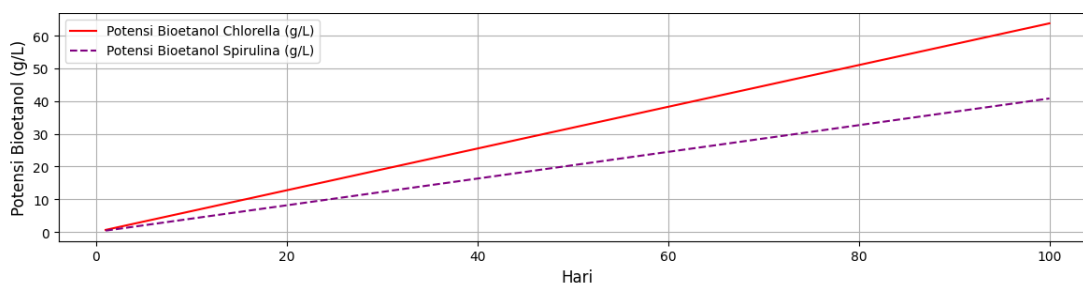
Gambar 1. Pertumbuhan Biomassa Mikroalga

Selanjutnya, kandungan karbohidrat dalam kedua mikroalga ini juga menunjukkan perbedaan yang signifikan. *Chlorella* mengandung 25% karbohidrat dari biomassa, sementara *Spirulina* hanya mengandung 20%. Kandungan karbohidrat ini memiliki pengaruh langsung terhadap potensi bioetanol yang dapat dihasilkan, karena lebih banyak karbohidrat berarti lebih banyak substrat yang dapat dikonversi menjadi bioetanol selama proses fermentasi. Grafik Hasil di tunjukkan gambar 2.



Gambar 2. Kandungan Karbohidrat dalam Biomassa

Dengan menggunakan efisiensi konversi yang serupa (0.51 g bioetanol per gram karbohidrat), perhitungan menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* menghasilkan potensi bioetanol yang jauh lebih tinggi, yaitu 63.75 g/L pada hari ke-100, sementara *Spirulina platensis* menghasilkan 40.80 g/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* menghasilkan lebih banyak biomassa dibandingkan *Spirulina platensis* sepanjang periode 100 hari. Pada hari ke-100, biomassa *Chlorella* mencapai 500 g/L, sementara *Spirulina* hanya 400 g/L. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan laju pertumbuhan kedua mikroalga, yang lebih cepat pada *Chlorella*. Hal ini menunjukkan bahwa mikroalga *Chlorella* memiliki potensi lebih besar untuk digunakan dalam produksi bioetanol dibandingkan *Spirulina*. Secara grafik potensi produksi bioetanol dari mikroalga disajikan gambar 3.



Gambar 3. Potensi Produksi Bioetanol dari Mikroalga

Penelitian ini menggunakan parameter tetap untuk simulasi produksi bioetanol. Beberapa faktor lingkungan, seperti suhu, pH, dan cahaya, belum dipertimbangkan dalam simulasi ini. Penelitian lebih lanjut yang mempertimbangkan faktor-faktor tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai potensi produksi bioetanol dari mikroalga. Penelitian ini membuka peluang

untuk eksplorasi lebih lanjut dalam mengoptimalkan proses produksi bioetanol dengan menggunakan variabel lingkungan yang lebih beragam, seperti variasi suhu dan pH, serta pengaruh cahaya pada pertumbuhan mikroalga. Selain itu, penelitian yang melibatkan skala lebih besar dan simulasi dengan kondisi yang lebih realistis akan sangat penting untuk mengimplementasikan hasil ini dalam produksi bioetanol komersial.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* memiliki potensi yang lebih tinggi dalam menghasilkan biomassa dan bioetanol dibandingkan dengan *Spirulina platensis*. Pada hari ke-100, *Chlorella* menghasilkan biomassa 500 g/L dengan potensi bioetanol 63.75 g/L, sedangkan *Spirulina* menghasilkan biomassa 400 g/L dan potensi bioetanol 40.80 g/L. Hasil ini mendukung penggunaan mikroalga sebagai solusi energi hijau yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini juga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai pengoptimalan proses produksi bioetanol dengan memperhitungkan variabel lingkungan yang lebih beragam, serta skala yang lebih besar untuk aplikasi komersial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim *Riset Group Chemical & Energi*, yang telah berusaha menyelesaikan penelitian ini dari awal hingga pengujian. *Laboratorium kimia Institut Teknologi PLN*, yang memfasilitas kegiatan penelitian ini sehingga penelitian ini menghasilkan artikel serta dapat di tulis dan dipublikasi. Semoga tulisan ini bermanfaat dan menjadi bahan bacaan serta rujukan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chisti, Y. (2007). "Biodiesel from microalgae." *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306.
- [2] Liu, Y., et al. (2020). "Microalgae as a sustainable source for bioethanol production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110029.
- [3] Zhu, L., et al. (2021). "Microalgae for bioethanol production: Advances, challenges, and future perspectives." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(4), 848-863.
- [4] Singh, R., et al. (2017). "Bioethanol production from *Spirulina platensis*: A review." *Biotechnology Reports*, 14, 53-60.
- [5] Rusdiani, M., et al. (2016). "Efficiency of CO₂ fixation by microalgae and its application in bioethanol production." *Renewable Energy*, 92, 276-285.
- [6] Alalayah, W. M., A. Y., Al-Zahrani, A., & Edris, G. (2014, September). Experimental Investigation Parameters of Hydrogen Production by Algae *Chlorella Vulgaris*. *International Conference on Chemical, Environment & Biological Science*.
- [7] Ali, E. A. B., Idris, M., Irianto, Zulkarnain, M., Alam, S., Amanah, A., Firman, L. O. M., & Mustika, D. (2022). Methods to Increase Microalgae Carbohydrates for Bioethanol Production. *Indonesian Journal of Computing, Engineering and Design (IJoCED)*, 4(2), 35. <https://doi.org/10.35806/ijoced.v4i2.301>
- [8] Halomoan, N., & Nugroho, A. R. (2017). Pengaruh Variasi Laju Alir Massa Karbondioksida Terhadap Produksi Mikroalga *Scenedesmus obliquus* pada Fotobioreaktor. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3.
- [9] Hernández, D., Riaño, B., Coca, M., & González, M. C. G. (2015). Saccharification of carbohydrates in microalgal biomass by physical, chemical and enzymatic pre-treatments as a previous step for bioethanol production. *Chemical Engineering Journal*, 262, 939-945.
- [10] Kim, E. J., Kim, S., Choi, H. G., & Han, S. J. (2020). Co-production of biodiesel and bioethanol using psychrophilic microalga *Chlamydomonas* sp. KNM0029C isolated from

Arctic sea ice. *Biotechnology for Biofuels*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-020-1660-Z>

- [11] Kim, H. M., Oh, C. H., & Bae, H.-J. (2017). Comparison of red microalgae (*Porphyridium cruentum*) culture conditions for bioethanol production. *Bioresour Technol*, 233, 44–50.
- [12] Kim, K. H., Choi, I. S., Kim, H. M., Wi, S. G., & Bae, H.-J. (2014). Bioethanol production from the nutrient stress-induced microalga *Chlorella vulgaris* by enzymatic hydrolysis and immobilized yeast fermentation. *Bioresour Technol*, 153, 47–54.
- [13] Kotasthane, T. (2017). Potential of Microalgae for Sustainable Biofuel Production. *Journal of Marine Science: Research & Development*, 07(01). <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000223>
- [14] Padil, Syamsiah, S., Hidayat, M., & Sri Kasiandari, R. (2016). Kinerja Enzim Ganda Pada Pretreatment Mikroalga Untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 92–100. <https://doi.org/10.15294/jbat.v4i2.7564>
- [15] Prayitno, J., Admirasari, R., Sudinda, T. W., & Winanti, W. S. (2021). Teknologi Penangkapan Karbon Dengan Mikroalga: Peluang dan Tantangan Dalam Mitigasi Perubahan Iklim. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 14(2), 91–100.
- [16] Rempel, A., Sosella, F. de S., Margarites, A. C., Astolfi, A. L., Steinmetz, R. L. R., Kunz, A., Treichel, H., & Colla, L. M. (2019). Bioethanol from *Spirulina platensis* biomass and the use of residuals to produce biomethane: An energy efficient approach. *Bioresource Technology*, 288.
- [17] Rinanti, A., & Purwadi, R. (2018). Pemanfaatan Mikroalga Blooming dalam Produksi Bioethanol tanpa Proses Hidrolisis (Utilization of Blooming Microalgae in Bioethanol Production without Hydrolysis Process). *Prosiding Seminar Nasional Kota Berkelanjutan 2018*, 281–292. <https://doi.org/10.25105/psnkb.v1i1.2908>
- [18] Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Salindra, B. P. (2022). Literature Review: Dampak Paparan Gas Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan Masyarakat yang Rentan dan Berisiko Tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253–265. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.253-265>
- [19] Rusdiani, R. R., Boedisantoso, R., & Hanif, M. (2016). Optimalisasi Teknologi Fotobioreaktor Mikroalga sebagai Dasar Perencanaan Strategi Mitigasi Gas CO₂. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 188–192.
- [20] Sari, S. J., Elystia, S., Muria, R., Program, M., Lingkungan, S. T., Dosen,), & Lingkungan, T. (2018). Pembuatan Bioetanol dari Mikroalga Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Variasi Konsentrasi Ragi Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *JOM FTEKNIK*, 5.
- [21] Seon, G., Kim, H. S., Cho, J. M., Kim, M., Park, W. K., & Chang, Y. K. (2020). Effect of post-treatment process of microalgal hydrolysate on bioethanol production. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73816-4>
- [22] Telussa, I., Fransina, E. G., & Singerin, J. (2022). Produksi Bioetanol Dari Mikroalga Laut Ambon *Chlorella* sp. *Galur TAD. J. Sains Dasar*, 2022(2), 63–69.