

# PROSPEK POTENSIAL MIKROALGA SEBAGAI BIOFUEL DI KEPULAUAN RIAU GUNA MEWUJUDKAN *NET ZERO EMISSION*

Febiana Natasha<sup>1</sup>, Ezra Solafide Hutajulu<sup>1</sup>, Hilfi Pardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Kimia, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia;

Email : febia6616@gmail.com (F.N), ezrahutajulu31@gmail.com (E.S.H), hilfipardi@umrah.ac.id H.P)

**Abstrak** : Kepulauan Riau memiliki kondisi lingkungan yang ideal serta memiliki iklim tropis yang hangat untuk budidaya mikroalga. Mikroalga merupakan salah satu dari sumber daya laut yang masih belum dimanfaatkan di daerah ini meskipun mempunyai keunggulan dari berbagai macam bidang, terutama biofuel. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya prospek pemanfaatan mikroalga di Kepulauan Riau sebagai biofuel. Metode yang digunakan adalah metode kajian literatur sistematis. Ada tiga tahapan dalam penggunaan metode ini, yakni tahap perencanaan, tahap tinjauan dan tahap melaporkan hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada 8 jenis mikroalga yang dapat dikembangkan sebagai biofuel di Kepulauan Riau, yakni *Chlorella*, *Spirulina*, *Spirogyra*, *Scenedesmus*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Anabaena*, dan *Microcystis*. Prospek pemanfaatannya relatif besar dikarenakan keanekaragaman hayati yang didukung oleh iklim tropis yang cocok untuk dilakukan budidaya mikroalga. Selain itu, garis pantai yang panjang juga dapat mendukung budidaya mikroalga secara besar-besaran. Sayangnya, masih memiliki keterbatasan dalam hal teknologi dan infrastruktur pembangunan biofuel ini. Oleh karenanya, diperlukan dukungan dan komitmen pemerintah dalam pembiayaan dan investasi industri biofuel agar terwujudnya *Net Zero Emission* di Indonesia, terutama Kepulauan Riau.

**Kata Kunci** : Emisi Gas Rumah Kaca, Biofuel, Kepulauan Riau, Mikroalga

**Abstract** : The Riau Islands has ideal environmental conditions and a warm tropical climate for microalgae cultivation. Microalgae is one of the marine resources that is still untapped in this area despite having advantages in various fields, especially biofuels. This research aims to identify the magnitude of the prospect of utilising microalgae in the Riau Islands as biofuel. The method used is a systematic literature review method. There are three stages in using this method, namely the planning stage, the review stage and the stage of reporting the results. The results showed that there are 8 types

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2024, Vol. 5, No. 2, pp 102 – 114

Received : 12 Juni 2024

Accepted : 13 Juni 2024

Published : 31 Juli 2024



**Copyright**: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

of microalgae that can be developed as biofuel in the Riau Islands, namely *Chlorella*, *Spirulina*, *Spirogyra*, *Scenedesmus*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Anabaena*, and *Microcystis*. The prospect of its utilisation is very high due to its biodiversity supported by a tropical climate that is suitable for microalgae cultivation. In addition, the long coastline can also support the cultivation of microalgae on a large scale. Unfortunately, there are still limitations in terms of technology and infrastructure for the development of this biofuel. Therefore, government support and commitment is needed in financing and investing in the biofuel industry in order to realise Net Zero Emission in Indonesia, especially Riau Islands.

**Keywords** : *Greenhouse Gas Emissions, Biofuel, Riau Islands, Microalgae*

---

## 1. Pendahuluan

Emisi gas rumah kaca merupakan sesuatu yang ikut berperan pada perubahan iklim secara signifikan (McLeman & Bruntrup, 2022; Yan et al., 2024). Kontribusinya dalam lingkungan telah menjadi kekhawatiran pada kondisi bumi yang semakin panas ini (Aloui et al., 2023; Y. Chen et al., 2024). Emisi gas rumah kaca tiap tahunnya semakin meluas dan berakibat pada peningkatan gelombang panas (Donovan et al., 2021). Selain itu, suhu dan permukaan laut turut terkena dampak negatif dari emisi ini (Cheung & Frölicher, 2020).

Melihat kondisi tersebut, diperlukan tindakan perwujudan nyata dari *Net Zero Emission*, salah satunya adalah pengembangan biofuel dengan pemanfaatan sumber daya daerah. Biofuel merupakan bahan bakar yang didapatkan dari stok pakan dengan menghasilkan lebih sedikit gas rumah kaca (Padder et al., 2024). Biofuel ini dibagi menjadi 4 kategori utama, yakni generasi pertama bersumber dari pangan (Rodoshi Khan & Bin Rashid, 2024), generasi kedua berbasis biohidrogen, biodiesel, biobutanol dan bioetanol (Velvizhi et al., 2023), generasi ketiga bersumber pada produktivitas alga per satuan luas (Chaos-Hernández et al., 2023), dan generasi keempat bersumber dari alga hasil rekayasa (Ye et al., 2024).

Pengembangan biofuel ini memiliki prospek yang cukup tinggi di daerah Kepulauan Riau. Pasalnya, Kepulauan Riau merupakan salah satu provinsi yang ada di Indonesia yang memiliki pulau yang tersebar di sekitar wilayah perairan Selat Malaka dan Selat Singapura (Rahmawati et.al, 2023). Sebagian besar wilayah Kepulauan Riau dikelilingi oleh laut sebesar 97,52% dan sisanya adalah daratan (Siagian et al., 2023). Dengan kondisi inilah, daerah ini memiliki sumber daya laut yang melimpah, terutama mikroalga.

Mikroalga merupakan suatu mikroorganisme fotoautotrofik sederhana memiliki senyawa bioaktif yang mampu memenuhi kebutuhan energi (Wei et al., 2024). Pemanfaatan mikroalga dapat dilakukan dengan transesterifikasi (W. H. Chen et al., 2015), pencairan hidrometal (HTL) (Magalhães et al., 2023), dan pirolisis (Armenta et al., 2021). Di antara metode tersebut, metode transesterifikasi merupakan metode yang sudah tepat digunakan dalam mengonversikan mikroalga sebagai biofuel cair. Hal ini dikarenakan transesterifikasi yang menggunakan katalis dapat mengolah mikroalga dengan efisiensi reaksi dan efektif mengolah bahan baku yang terkandung asam lemak bebas yang tinggi (Neag et al., 2023).

Dalam penelitian ini, penulis memiliki tujuan yang berfokus dalam mengidentifikasi besarnya prospek pemanfaatan mikroalga di Kepulauan Riau sebagai biofuel. Jenis mikroalga yang diperoleh diperkuat dengan penelitian sebelumnya terkait kandungan lipid dan biomassa. Hal ini diharapkan

dapat memberikan gambaran mengenai prospek yang dimiliki mikroalga yang layak dijadikan sebagai substitusi bahan bakar fosil di masa depan. Gambaran komprehensif produksi biofuel ini diharapkan mampu menekan rendah emisi karbon hingga nol yang berdampak bagi lingkungan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur sistematis sebagai metode penelitian. Penelitian ini sendiri tidak terikat oleh tempat karena data-data didapatkan secara *online*. Adapun waktu penelitian dimulai dari tanggal 20 April-31 Mei 2024. Seperti pada Larasati, Yusril, & Zukri (2021), ada tiga tahapan dalam penggunaan metode ini, yakni tahap perencanaan, tahap tinjauan dan tahap melaporkan hasil.

Mula-mula, Research Question (RQ) disusun guna merancang berjalannya penelitian. Ada tiga RQ yang mendasari penelitian, yakni berapa kandungan lipid yang terkandung dalam biofuel mikroalga? (RQ1), dan berapa kandungan biomassa yang terkandung dalam biofuel mikroalga? (RQ2).

Selanjutnya, pada tahap tinjauan, dilaksanakan identifikasi topik terlebih dahulu dengan tiga cara. Tiga cara yang dimaksud adalah mengidentifikasi kata kunci, penentuan data, dan pencarian data. Ada 3 penggunaan kata kunci dalam penelitian ini yakni biofuel, *microalgae*, dan biodiesel. Kata kunci ini kemudian digunakan pada website Google Scholar, Scencedirect, DOAJ dan Linkspringer, dengan rentang tahun 2018-2024.

Data-data yang diperoleh kemudian dilaksanakan seleksi berdasar kriteria inklusi dan kriteria eksklusi. Proses penyeleksian ini dilakukan dengan membaca judul dan abstrak yang ada pada artikel. Adapun kriteria inklusi dari penelitian ini adalah fokus penelitian pada jenis mikroalga yang dapat dijadikan sebagai biofuel, setidaknya satu RQ dapat terjawab dari setiap artikel, dan artikelnya berbahasa Inggris dan Indonesia. Sementara itu, kriteria eksklusi yakni kebalikan dari kriteria inklusi.

Data yang merupakan artikel kemudian diberi penilaian terhadap kualitasnya. Tujuan penelitian yang jelas dan selaras dengan hasil menjadi parameter pada penilaian kualitas. Data dengan kualitas yang baik akan diekstraksi sesuai dengan RQ.

Tahap yang terakhir adalah melaporkan hasil. Dalam penyajian hasil, terdapat 20 artikel yang menjadi data paling akhir. Dengan 17 dari 20 artikel dapat menjawab RQ1 terkait kandungan lipid dalam biofuel mikroalga. Kemudian, dengan 19 dari 20 artikel, RQ2 dapat terjawab mengenai kandungan biomassa dalam biofuel mikroalga.

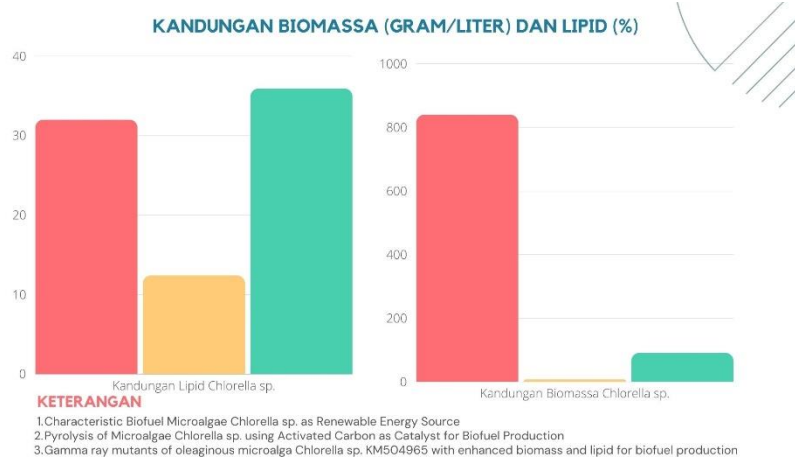


Gambar 1. Metode Tinjauan Literatur Sistematis

### 3. Hasil dan Pembahasan

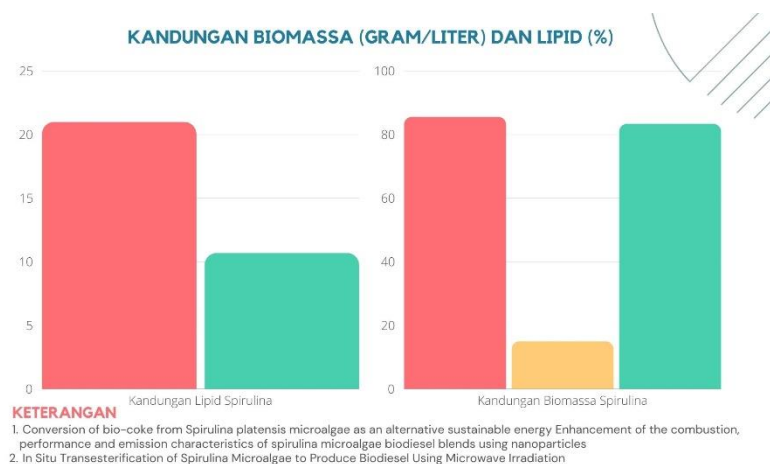
#### 3.1. Literatur Mengenai Biofuel Mikroalga

Berdasarkan literatur yang diperoleh, terdapat 8 jenis mikroalga yang pernah dilakukan analisis sebagai biofuel di dunia. Literatur tersebut diharapkan dapat menjadi acuan pengembangan biofuel mikroalga di Kepulauan Riau. Adapun beberapa jenis mikroalga tersebut sebagai berikut:



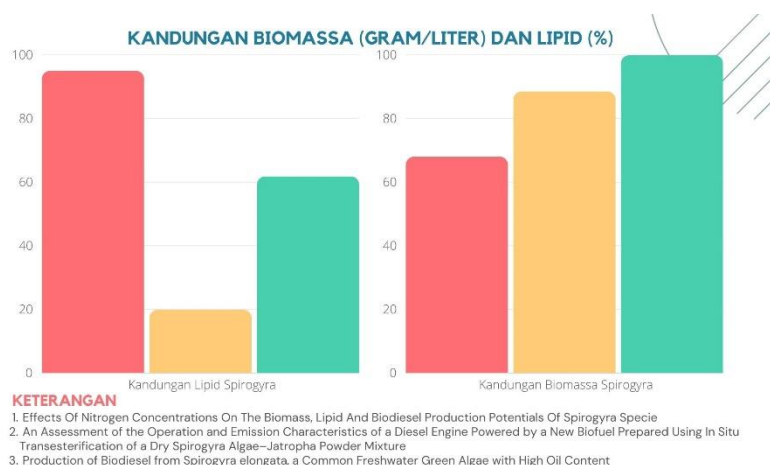
**Gambar 2.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Chlorella sp.*

Jenis mikroalga yang paling banyak menjadi biofuel adalah *Chlorella sp.* Menurut Fiveriati, Yonatan, Anne, & Gamawati Adinurani (2020), produktivitas biomassa sebanyak 840 g/L dengan viskositas sebesar 3,91 cSt dan lipid sebesar 32% telah memenuhi kriteria dari SNI sebagai bahan substitusi bahan bakar diesel. Sementara itu, menurut Aswie, Qadariyah, & Mahfud (2021), biofuel *Chlorella sp.* dapat mencapai densitas sebesar 0,88 kg/m<sup>3</sup> di mana skala ini masih belum sesuai kriteria dengan SNI 7182-2012. Akan tetapi, viskositas mikroalga jenis ini adalah 5,79 eSt dengan mengaktifkan karbon sehingga biofuel tersebut sesuai dengan standar SNI 7182-2012 dengan menghasilkan 0,08 g/L biomassa dan 12,41% lipid. Lain halnya dengan hasil yang diperoleh Senthamilselvi & Kalaiselvi (2023) di mana biomassa dan lipid dari mikroalga *Chlorella sp.* dapat ditingkatkan dengan mutagenesis acak sinar gamma. Dengan metode ini, didapatkan minyak C1805 yang mengandung miristat, palmitat, stearat dan oleat yang memenuhi standar biodiesel internasional dengan kandungan lipid sebanyak 35,91% dan 0,91 g/L biomassa.



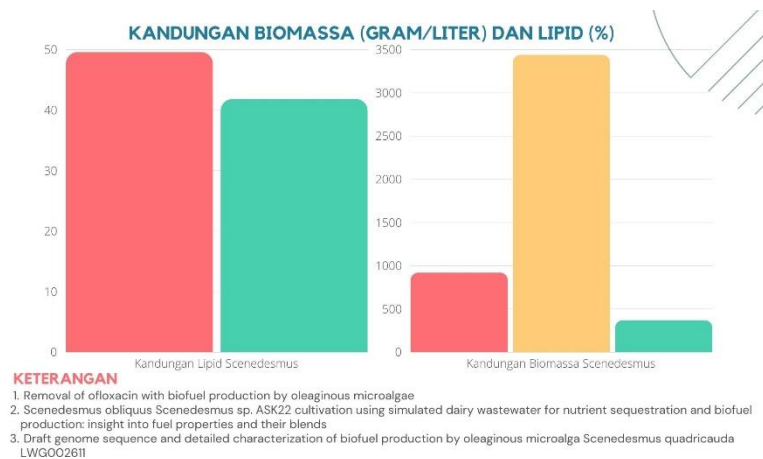
**Gambar 3.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Spirulina*

Jenis mikroalga yang kedua yang dapat digunakan adalah *Spirulina platensis*. Kamal Baharin, Ikeda, Moizumi, & Ida (2024) dalam hasil penelitiannya menyebutkan bahwa meskipun kandungan lipid dalam spesies ini hanya berjumlah 21%, protein yang terkandung sangat tinggi dibanding spesies yang lain. Hal ini kemudian mengikat partikel bahan yang terlepas agar dapat menjadi struktur *biocoal* *Spirulina platensis* dapat kokoh. Sayangnya, biofuel tersebut dapat memproduksi asap yang berlebihan mengingat kandungannya mudah menguap sekitar 80,1-85,6% dan karbon sekitar 14,4-19,9%. Kelemahan hasil penelitian Kamal Baharin, Ikeda, Moizumi, & Ida (2024) berbeda dengan hasil akhir yang diperoleh Ge, Brindhadevi, Xia, & Salah (2022) di mana mikroalga *Spirulina* sebesar 15% yang dicampur dengan 70% diesel dan 75 ppm  $Al_2O_3$  dapat mengurangi emisi gas dan kualitas pembakaran dapat ditingkatkan. Mikroalga *Arthrospira Spirulina platensis* dalam penelitian Koech, Kumar, & Siagi (2020) juga memperoleh biofuel yang baik menggunakan iradiasi microwave. Kandungan lipid yang ditemukan sebanyak 10,7% yang dapat dioptimalkan pada saat kultur mikroalga. Minyak mikroalga tersebut yang ditransesterifikasi dengan pelarut metanol dan katalis mampu menghasilkan FAME yang tinggi dengan persentase 83,4%.



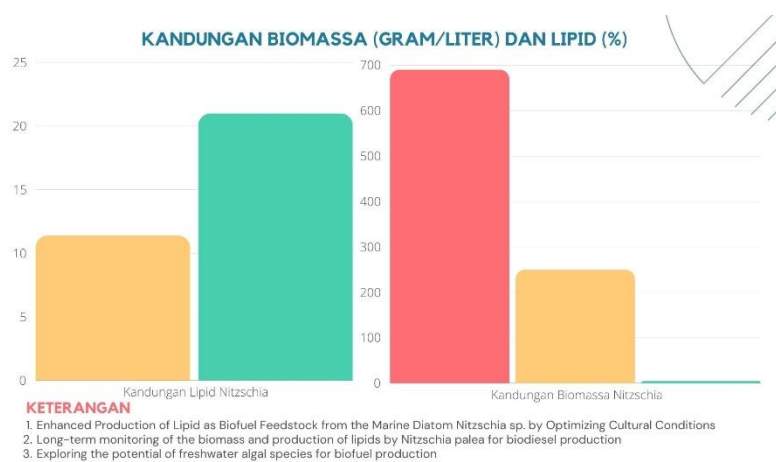
**Gambar 4.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Spirogyra*

Mikroalga *Spirogyra* di dalam penelitian Salisu et al. (2022) menyebutkan bahwa *Spirogyra sp.* yang diperlakukan dengan konsentrasi 75%  $NaNO_3$  mampu menghasilkan kandungan lipid sebanyak 95% dan kandungan biofuel sebanyak 68%. Hal ini dikarenakan  $NaNO_3$  mampu mengakumulasi lipid secara optimal yang stabil dan meningkatkan produktivitas Fatty Acid Methyl Esters (FAMES). Dalam penelitian lainnya yang disebutkan oleh Jain (2023) yang menunjukkan viskositas B20 yang sangat tinggi dibanding dengan solar. Hal ini kemudian memungkinkan terjadinya penurunan mesin dan emisi yang meningkat. Akan tetapi, jika diperlakukan dengan B5, maka biofuel tersebut memiliki viskositas yang lebih rendah sehingga emisi HC, CO, dan  $NO_x$  menurun. Biofuel *Spirogyra Algae–Jatropha* yang didapatkan olehnya berada pada kisaran 88,5% dengan 19,86%. Sedangkan, dalam penelitian Saeed et al. (2021), kandungan asam lemak pada *Spirogyra elongata* (61,8%) sebagian besar mengandung 16 karbon atau kurang, dengan yang paling dominan adalah laurat, miristat, dan palmitat. Produksi biofuel ini telah dievaluasi dengan menggunakan 3 katalis (KOH, HCl, Zeolite) di mana yang paling optimal adalah KOH dengan persentase 99,9%. Kondisi reaksi optimum, yakni 1,0% katalis, 60°C, waktu selama 4 jam dan rasio oil dan methanol 1:4.



**Gambar 5.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Scenedesmus*

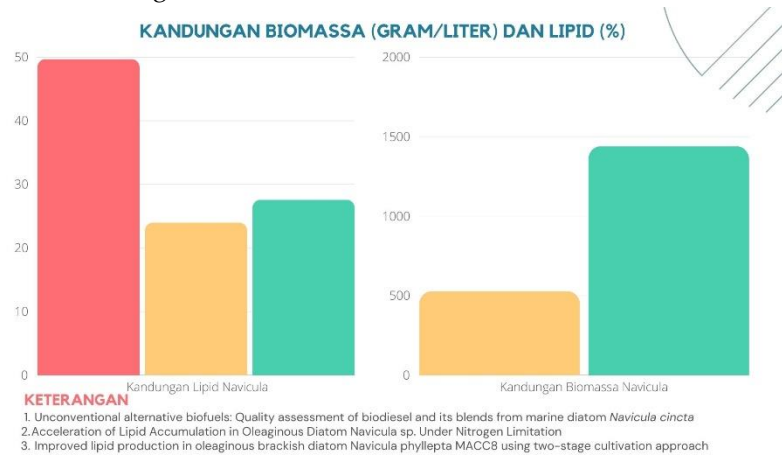
Yang et al. (2020) mengungkapkan bahwa *Scenedesmus obliquus* mengandung 0,92 g/L biomassa optimum dengan adanya OFL 10 mg/L. Tingkat stres OFL menyebabkan retribusi karbon yang membuat lipid mudah terakumulasi terhadap mikroalga. Akibatnya, kandungan lipid dapat meningkat hingga mencapai 21,10%-49,63%. Di samping itu, Pandey, Srivastava, & Kumar (2024) menyebutkan *Scenedesmus* sp. dengan kultur ASK22 mampu menghasilkan produktivitas biofuel yang tinggi sekaligus mampu mengelola limbah susu. Adapun konsentrasi biomassa maksimal mendekati 3,44 g/L ketika dibudidayakan di dalam ruangan. Hasil akhir penelitian dari Nag Dasgupta et al. (2018) mengungkapkan palmitat yang terkandung dalam *S. quadricauda* sebesar 41,858% dan biomassa yang tinggi sebesar 0,37 g/L. Mikroalga jenis ini memiliki jumlah gen yang banyak dibanding tanaman berminyak lain dalam metabolisme lipid.



**Gambar 6.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Nitzschia*

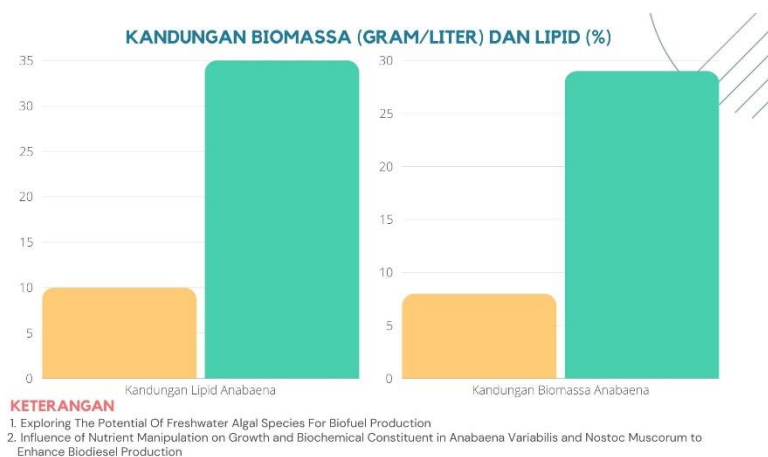
Selanjutnya, ditemukan mikroalga jenis *Nitzschia* juga dapat dijadikan sebagai biofuel dalam beberapa artikel. Yang pertama dari hasil penelitian Harini, Rajkumar, & Takriff (2020) yang menunjukkan mikroalga *Nitzschia* sp. yang dikulturisasi dalam fotobioreaktor menghasilkan kandungan biomassa dan lipid yang relatif tinggi dengan masing-masing senilai 0,69 g/L dan 77,5 mg/L. Hal ini diketahui hasil yang lebih baik daripada mikroalga yang diperlakukan dalam labu kocok. Kedua, dari hasil penelitian yang dikemukakan oleh Touliabah, Abdel-Hamid, & Almutairi (2020), biomassa *Nitzschia palea* yang dibudidayakan di luar ruangan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan setiap periode tahunan dengan berat kering biomassa senilai 0,11-0,25 g/L. Begitu pula

dengan lipid yang terkandung, lipid tersebut tidak memberikan perubahan yang konsisten setiap periodiknya dengan kisaran 7,1%-11,4%. Ketiga, Singh, Ikram, & Tripathi (2023) mengemukakan bahwa produktivitas 21% lipid mikroalga *Nitzschia recta* bekerja secara konstan hingga hari kedua sebelum percobaan berakhir. Sayangnya, biomassa mikroalga jenis ini mengalami produktivitas yang sedikit lebih rendah dengan nilai 0,00063 g/L.



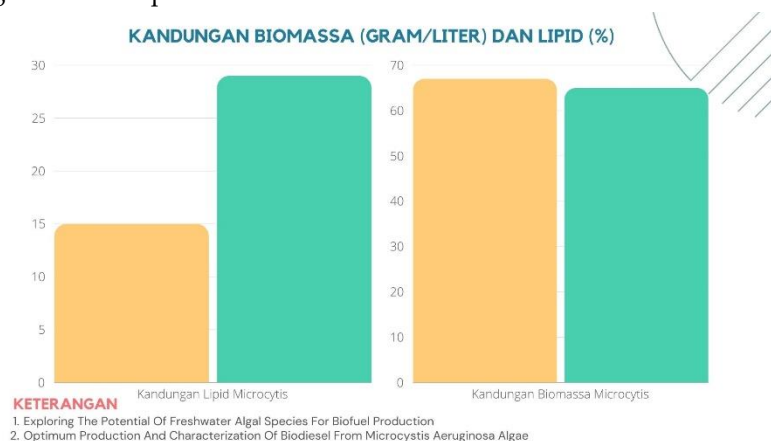
**Gambar 7.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Navicula*

Menurut Popovich et al. (2019), mikroalga *Navicula cincta* mampu menghasilkan minyak dari diatom yang berkualitas baik. Mikroalga ini juga dapat meningkatkan angka setana dan kandungan sulfur yang rendah. Dengan katalis asam, lipid netral sebesar 49,7% dapat terakumulasi dengan cepat sehingga membuat biofuel ini memiliki potensi yang berharga di masa depan. Sementara itu, Palanisamy et al. (2020) dalam penelitiannya menemukan bahwa mikroalga *Navicula* sp. memiliki kandungan lipid yang tinggi sebesar 24% ketika diekstraksi dengan teknik *ultrasond* dan metode Bligh and Dyer. Kandungan ini cukup tinggi diperoleh meskipun nitrogen dibatasi sekaligus kontrol media sebesar 21%. Biofuel yang dihasilkan juga cukup bagus sekitar 0,528 g/L. Di penelitian lainnya yang dilaksanakan oleh Sabu, Singh, & Joseph (2019), mikroalga *Navicula phyllepta* MACC8 yang dibudidayakan dengan dua tahap, yakni dalam kondisi optimal dan kondisi stres, mampu memproduksi 27,58% lipid sekaligus 1,44 g/L biomassa. Kondisi stres berupa mengurangi kadar fosfat, membatasi silikat dan suhu yang diturunkan terbukti meningkatkan lipid secara signifikan.



**Gambar 8.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Anabaena*

Jenis mikroalga berikutnya adalah *Anabaena sp.* Menurut Singh, Ikram, & Tripathi (2023), *Anabaena sp.* yang termasuk dalam spesies *Cyanophyta* memiliki produktivitas biomassa yang sangat baik sekitar 7,9 mg/L atau 0,0079 g/L dengan 10% lipid. Hal ini dikarenakan berat sel yang lebih berat dibanding sel lainnya. Akibatnya, nutrisi, terutama fosfat, dapat tersimpan di dalam sel sehingga memudahkan melakukan adaptasi. Mikroalga *Anabaena sp.* dalam penelitian Shafay, Gaber, Alsanie, & Elshobary (2021), memperoleh biofuel dari hasil manipulasi nutrisi penipisan nitrat dari  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  antara *Anabaena sp.* dan *N. muscorum*. Hasil penelitian menunjukkan bahwasannya digunakan sebanyak -50%-N- $\text{NO}_3^-$  terhadap *Anabaena sp.* menunjukkan kandungan lipid tertinggi, sedangkan *N. muscorum* hanya menunjukkan kandungan karbohidrat tertinggi. Ditemukan sekitar 35% kandungan lipid dan 29 g/L biomassa dari hasil menipisnya -50%-N- $\text{NO}_3^-$  pada *Anabaena sp.* Namun,  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  tidak menunjukkan hasil signifikan dari penelitian tersebut.



**Gambar 9.** Kandungan Lipid dan Biomassa *Microcystis*

Dalam penelitian yang sama dengan *Anabaena sp.*, Singh, Ikram, & Tripathi (2023) juga mengungkapkan bahwa *Microcystis aeruginosa* berada dalam satu spesies dengan *Anabaena sp.* sehingga memiliki karakteristik yang hampir sama dan mampu memproduksi lipid dan biomassa yang baik. Nilai dari lipid dan biomassa secara berturut-turut, yakni 15% dan 0,0067 g/L. Hasil dari penelitian lainnya yang dilakukan oleh Olufemi, Sulaimon, & Arikawe (2020) bahwa terdapat kandungan lipid sebesar 29% dan biomassa sebesar 0,0065 g/L pada *Microcystis aeruginosa*. Dari penelitian tersebut, didapatkan sekitar 26,7% minyak alga dari hasil ekstraksi menggunakan katalis etanolik dan diperoleh hasil biodiesel sebesar 89,76%.

### 3.2. Potensi Mikroalga Sebagai Biofuel di Kepulauan Riau

Biofuel diproduksi untuk dijadikan sumber energi terbarukan (Negara et al., 2019). Hal ini dikarenakan biofuel mengandung minyak nabati yang berpotensi dalam menurunkan kadar toksisitas gas  $\text{CO}_2$  yang berasal dari transportasi, kegiatan industri dan rumah tangga (Dinanti et al., 2024), yang mengancam kesehatan lingkungan dan makhluk hidup (Romadhona et al., 2024). Salah satu sumber minyak nabati yang berpotensi menjadi bahan baku biofuel adalah mikroalga (Erlangga et al., 2022), karena mikroalga telah dianggap sebagai sumber bahan baku yang baik dalam memproduksi biofuel (El-Mekawi et al., 2020). Kandungan lipid pada mikroalga relatif besar (Oliva et al., 2024; Song et al., 2024), sehingga produksi biofuel dapat mencapai ribuan liter per tahunnya (Hernandi et al., 2019). Hal ini merupakan salah satu faktor mengapa biofuel harus diproduksi oleh seluruh negara sebagai alternatif bahan bakar fosil.



Daerah di Indonesia, khususnya Kepulauan Riau memiliki potensi yang relatif besar untuk dilakukan pengembangan. Hal ini dikarenakan keanekaragaman hayati yang didukung oleh iklim tropis yang cocok untuk dilakukan budidaya mikroalga. Selain itu, garis pantai yang panjang juga dapat mendukung budidaya mikroalga secara besar-besaran dengan kualitas yang setara dengan biofuel lainnya (Khotimah, 2018). Dengan begitu, mikroalga dapat dibudidayakan dan berfotosintesis dengan baik di bawah sinar matahari secara mandiri (Triyastuti, 2023).

Adapun jenis mikroalga di wilayah ini dapat dibedakan dari kelas, ordo, famili, dan genus yang masing-masing berjumlah 9, 41, 58, dan 83 (Lestari et al., 2020). Genus yang paling dominan adalah *Navicula*, *Synedra*, *Nitzschia*, *Cocconeis*, *Grammatophora* dan *Pinnularia*. Selain itu, ada juga genus lainnya seperti *Prorocentrum*, *Alexandrium*, *Gonyaulax*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Spirogyra*, *Spirulina*, *Anabaena*, dan *Microcystis*. Beberapa mikroalga di atas sudah pernah diuji di beberapa negara sehingga membuka prospek yang tinggi dalam pengembangannya.

Akan tetapi, Kepulauan Riau masih memiliki keterbatasan dalam hal teknologi dan infrastruktur pembangunan biofuel ini. Diperlukan dukungan dan komitmen pemerintah dalam memberikan biaya yang cukup mahal agar terjalannya pengolahan bahan bakar alternatif tersebut. Investasi besar-besaran perlu dilaksanakan agar dapat membantu mengefisiensikan budidaya dan distribusi biofuel mikroalga di dalam dan luar negeri. Hal ini mengingat krisis energi fosil semakin parah dan kondisi bumi yang semakin memburuk akibat bahan bakar fosil. Pengembangan mikroalga sebagai biofuel ini diharapkan dapat terwujudnya *Net Zero Emission* di Indonesia, terutama Kepulauan Riau.

#### 4. Kesimpulan

Kepulauan Riau merupakan daerah yang memiliki garis pantai yang panjang dengan keanekaragaman hayati laut yang melimpah, termasuk mikroalga. Kelimpahan mikroalga yang ada di wilayah tersebut memiliki potensi yang relatif besar dalam memproduksi biofuel guna mewujudkan *Net Zero Emission*. Adapun jenis-jenis mikroalga yang dapat dikembangkan sebagai biofuel di Kepulauan Riau, yakni *Chlorella*, *Spirulina*, *Spirogyra*, *Scenedesmus*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Anabaena*, dan *Microcystis*. Mikroalga yang ditemukan ini memiliki hasil penelitian yang baik dari segi kandungan lipid dan biomasnya berdasarkan penelitian sebelumnya. Jenis mikroalga yang paling sering digunakan sebagai biofuel adalah *Chlorella sp.* Hal ini dikarenakan biofuel yang dihasilkan memenuhi standar baik Indonesia maupun Internasional.

Meskipun prospek pemanfaatan mikroalga sebagai biofuel relatif besar, Kepulauan Riau masih memiliki keterbatasan dalam hal teknologi dan infrastruktur pembangunan sektor tersebut. Pembiayaan dan investasi secara besar-besaran diperlukan guna mengefisiensikan budidaya dan distribusi biofuel mikroalga di dalam dan luar negeri. Oleh karenanya, diperlukan dukungan dan komitmen pemerintah dalam pembiayaan dan investasi industri biofuel agar terwujudnya *Net Zero Emission* di Indonesia, terutama Kepulauan Riau.

#### Ucapan Terima Kasih

Dengan terselesainya artikel ini, peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi dukungan pada proses penelitian ini. Peneliti secara khusus ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ardi Widhia Sabekti, S. Pd., M. Pd. selaku Kepala Program Studi Pendidikan Kimia yang mendukung secara moralitas pada kelancaran penelitian yang telah peneliti laksanakan.

### Daftar Pustaka

- Aloui, F., Varuvel, E. G., & Sonthalia, A. (2023). Battery thermal management through simulation and experiment: Air cooling and enhancement. In S. Shahid & M. Agelin-Chaab (Eds.), *Handbook of Thermal Management Systems* (pp. 223–254). Megan R. Ball.
- Armenta, S., Esteve-Turrillas, F. A., Garrigues, S., & Guardia, M. de la. (2021). Smart materials for sample preparation in bioanalysis: A green overview. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 21(September 2020), 100411. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100411>
- Aswie, V., Qadariah, L., & Mahfud, M. (2021). Pyrolysis of Microalgae *Chlorella* sp. using Activated Carbon as Catalyst for Biofuel Production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 16(1), 205–213. <https://doi.org/10.9767/bcrec.16.1.10316.205-213>
- Chaos-Hernández, D., Reynel-Ávila, H. E., Bonilla-Petriciolet, A., & Villalobos-Delgado, F. J. (2023). Extraction methods of algae oils for the production of third generation biofuels – A review. *Chemosphere*, 341(November), 139856. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139856>
- Chen, W. H., Lin, B. J., Huang, M. Y., & Chang, J. S. (2015). Thermochemical conversion of microalgal biomass into biofuels: A review. *Bioresource Technology*, 184, 314–327. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.050>
- Chen, Y., Ren, S., & Ma, Y. (2024). The impact of eco-preneurship and green technology on greenhouse gas emissions - An analysis of East Asian economies. *Heliyon*, 10(8), e29083. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29083>
- Cheung, W. W. L., & Frölicher, T. L. (2020). Marine heatwaves exacerbate climate change impacts for fisheries in the northeast Pacific. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63650-z>
- Dinanti, P., Sundari, S., Laksmono, R., Ramadhan, T. R., & Sianipar, L. (2024). Analisis Biaya Ekonomi Serta Dampak Lingkungan Penggunaan Gasoline dan Biofuel Sebagai Bahan Bakar Transportasi. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 5(4), 2027–2040. <https://doi.org/10.47467/elmal.v5i4.871>
- Donovan, M. K., Burkepile, D. E., Kratochwill, C., Shlesinger, T., Sully, S., Oliver, T. A., Hodgson, G., Freiwald, J., & van Woesik, R. (2021). Local conditions magnify coral loss after marine heatwaves. *Science*, 372(6545), 977–980. <https://doi.org/10.1126/science.abd9464>
- El-Mekkawi, S. A., El-Ibiari, N. N., El-Arady, O. A., Abdelmonem, N. M., Elahwany, A. H., Abadir, M. F., & Ismail, I. M. (2020). Optimization of cultivation conditions for *Microcystis aeruginosa* for biodiesel production using response surface methodology. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0265-9>
- Erlangga, Yudho Andika, Imanullah, Imamshadiqin, Syahrin, A., Siregar, D. F., & Ramadansyah, S. (2022). Identifikasi Mikroalga Laut Potensial Sebagai Bahan Baku Biodiesel Di Kecamatan Banda Sakti Kota Lhokseumawe. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(1), 147–160. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v14i1.39258>
- Fiveriati, A., Yonatan, Y., Anne, O., & Gamawati Adinurani, P. (2020). Characteristic Biofuel Microalgae *Chlorella* sp. as Renewable Energy Source. *E3S Web of Conferences*, 190. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019000002>
- Ge, S., Brindhadevi, K., Xia, C., & Salah, A. (2022). Enhancement of the combustion , performance and emission characteristics of spirulina microalgae biodiesel blends using nanoparticles. *Fuel*, 308, 121822. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121822>
- Harini, A. B., Rajkumar, R., & Takriff, M. S. (2020). Enhanced Production of Lipid as Biofuel Feedstock from the Marine Diatom *Nitzschia* sp. by Optimizing Cultural Conditions. *BioResources*, 15(4), 7532–7550. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.7532-7550>
- Hernandi, R., Dharma, A., & Armaini, A. (2019). Penapisan, Isolasi, dan Karakterisasi Mikroalga yang Berpotensi Sebagai Sumber Biodiesel. *Jurnal Litbang Industri*, 9(1), 48.

- Jain, S. (2023). An Assessment of the Operation and Emission Characteristics of a Diesel Engine Powered by a New Biofuel Prepared Using In Situ Transesterification of a Dry Spirogyra Algae–Jatropha Powder Mixture. *Energies*, 16(3), 1470. <https://doi.org/10.3390/en16031470>
- Kamal Baharin, N. S., Ikeda, Y., Moizumi, K., & Ida, T. (2024). Conversion of bio-coke from *Spirulina platensis* microalgae as an alternative sustainable energy. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100709. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100709>
- Khotimah, K. (2018). Membangun Ketahanan Energi Pendukung Pertahanan Maritim Melalui Pemanfaatan Mikroalga Sebagai Biodiesel Bagi Masyarakat Pesisir. *Jurnal Pertahanan & Bela Negara*, 8(1), 67–84. <https://doi.org/10.33172/jpbh.v8i1.266>
- Koech, A. K., Kumar, A., & Siagi, Z. O. (2020). In Situ Transesterification of *Spirulina* Microalgae to Produce Biodiesel Using Microwave Irradiation. *Journal of Energy*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/8816296>
- Larasati, I., Yusril, A. N., & Zukri, P. Al. (2021). Systematic Literature Review Analisis Metode Agile Dalam Pengembangan Aplikasi Mobile. *Sistemasi*, 10(2), 369. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v10i2.1237>
- Lestari, R. D. A., Apriansyah, A., & Safitri, I. (2020). Struktur Komunitas Mikroalga Epifit Berasosiasi Pada *Padina* sp. di Perairan Desa Sepempang Kabupaten Natuna. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 3(2), 40. <https://doi.org/10.26418/lkuntan.v3i2.37844>
- Magalhães, B. da C., Matricón, L., Romero, L.-A. R., Checa, R., Lorentz, C., Chambonniere, P., Delrue, F., Roubaud, A., Afanasiev, P., Laurenti, D., & Geantet, C. (2023). Catalytic hydrotreatment of bio-oil from continuous HTL of *Chlorella sorokiniana* and *Chlorella vulgaris* microalgae for biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, 173(June), 106798. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106798>
- McLeman, R., & Bruntrup, M. (2022). Urban Water Crisis and Management Strategies for Sustainable Development. In A. L. Srivast, S. Madhav, A. K. Bhardwaj, & E. Valsami-Jones (Eds.), *Current Directions in Water Scarcity Research* (pp. 45–63). Elsevier.
- Nag Dasgupta, C., Nayaka, S., Toppo, K., Singh, A. K., Deshpande, U., & Mohapatra, A. (2018). Draft genome sequence and detailed characterization of biofuel production by oleaginous microalga *Scenedesmus quadricauda* LWG002611 06 Biological Sciences 0604 Genetics. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1308-4>
- Neag, E., Stupar, Z., Maicaneanu, S. A., & Roman, C. (2023). Advances in Biodiesel Production from Microalgae. *Energies*, 16(3), 19–22. <https://doi.org/10.3390/en16031129>
- Negara, B. F. S., Nursalim, N., Herliany, N. E., Renta, P. P., Purnama, D., & Utami, M. A. F. (2019). Peranan dan Pemanfaatan Mikroalga *Tetraselmis chuii* Sebagai Bioetanol. *Jurnal Enggano*, 4(2), 136–147. <https://doi.org/10.31186/jenggano.4.2.136-147>
- Oliva, G., Buonerba, A., Grassi, A., Hasan, S. W., Korshin, G. V., Zorpas, A. A., Belgiorno, V., Naddeo, V., & Zarra, T. (2024). Microalgae to biodiesel: A novel green conversion method for high-quality lipids recovery and in-situ transesterification to fatty acid methyl esters. *Journal of Environmental Management*, 357(April), 120830. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120830>
- Olufemi, B., Sulaimon, S., & Arikawe, A. (2020). Optimum production and characterization of biodiesel from *spirogyra* algae. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(3), 1529–1541. <https://doi.org/10.31202/ecjse.749486>
- Padder, S. A., Khan, R., & Rather, R. A. (2024). Biofuel generations: New insights into challenges and opportunities in their microbe-derived industrial production. *Biomass and Bioenergy*, 185, 107220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107220>
- Palanisamy, K. M., Karthiani, K., Rahim, M. H. A., Govindan, Natanamurugaraj Pragas, G., & Maniam. (2020). Acceleration of Lipid Accumulation in Oleaginous Diatom *Navicula* sp. Under Nitrogen Limitation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 618(1), 120. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012033>

- Pandey, A., Srivastava, S., & Kumar, S. (2024). Scenedesmus sp. ASK22 cultivation using simulated dairy wastewater for nutrient sequestration and biofuel production: insight into fuel properties and their blends. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(3), 3305–3317.
- Popovich, C. A., Pistonesi, M., Hegel, P., Constenla, D., Bielsa, G. B., Martín, L. A., Damiani, M. C., & Leonardi, P. I. (2019). Unconventional alternative biofuels: Quality assessment of biodiesel and its blends from marine diatom *Navicula cincta*. *Algal Research*, 39, 101438. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101438>
- Rahmawati, S., Agustini, R. K., & Efridadewi, A. (2023). Analisis Dampak Serta Penanggulangan Tumpahan Minyak di Perairan Bintan. *Aufklarung: Jurnal Pendidikan, Sosial Dan Humaniora*, 3(4), 1–8.
- Rodoshi Khan, N., & Bin Rashid, A. (2024). Carbon-Based Nanomaterials: a Paradigm Shift in Biofuel Synthesis and Processing for a Sustainable Energy Future. *Energy Conversion and Management: X*, 22(April), 100590. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100590>
- Romadhona, S. L., Masyhur, A. Z., Yuliantika, S. F., Hamdani, D. F., Rijaal, F. A., & Mirzayanti, Y. W. (2024). Perkembangan Biodiesel di Indonesia: Review Regulasi dan Perspektif pada Masa Mendatang. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan III (SENASTITAN III)*, 4(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
- Sabu, S., Singh, I. S. B., & Joseph, V. (2019). Improved lipid production in oleaginous brackish diatom *Navicula phyllepta* MACC8 using two-stage cultivation approach. *3 Biotech*, 9(12), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1968-1>
- Saeed, A., Hanif, M. A., Hanif, A., Rashid, U., Iqbal, J., Majeed, M. I., Moser, B. R., & Alsalmeh, A. (2021). Production of biodiesel from *spirogyra elongata*, a common freshwater green algae with high oil content. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su132212737>
- Salisu, A., Umar, B., Appah, J., Aina, V. O., Tanimu, Y., & Yahaya, U. (2022). Effects Of Nitrogen Concentrations On The Biomass, Lipid And Biodiesel Production Potentials Of *Spirogyra* Specie. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 38(2), 134–139. <https://doi.org/10.4314/njb.v38i2.14>
- Senthamilselvi, D., & Kalaiselvi, T. (2023). Gamma ray mutants of oleaginous microalga *Chlorella* sp. KM504965 with enhanced biomass and lipid for biofuel production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17), 15501–15517.
- Shafay, S. M. El, Gaber, A., Alsanie, W. F., & Elshobary, M. E. (2021). Influence of nutrient manipulation on growth and biochemical constituent in *Anabaena variabilis* and *Nostoc muscorum* to enhance biodiesel production. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16), 9081. <https://doi.org/10.3390/su13169081>
- Siagian, Y., Widiastuti, L., Sitindaon, S. H., Atrie, U. Y., & Wati, L. (2023). Comparative study of decompression events in traditional divers and modern divers. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 12(2), 367–375. <https://doi.org/10.35816/jiskh.v12i2.1094>
- Singh, V., Ikram, S. F., & Tripathi, B. N. (2023). Exploring the potential of freshwater algal species for biofuel production. *Frontiers in Energy Research*, 11(September), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1271660>
- Song, Y., Xie, L., Zhang, X., Hu, Z., Li, S., Zhang, P., & Yang, X. (2024). Enhancement of biomass, lipid accumulation, and carbon sequestration potential in microalgae via cultivation with Aggregation-Induced Emission Light-Conversion films. *Chemical Engineering Journal*, 483(February), 149148. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.149148>
- Touliabah, H. E., Abdel-Hamid, M. I., & Almutairi, A. W. (2020). Long-term monitoring of the biomass and production of lipids by *Nitzschia palea* for biodiesel production. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8), 2038–2046. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.04.014>
- Triyastuti, M. S. (2023). Review: Metode Pengeringan Lipid dari Mikroalga Berpotensi sebagai

- Biodiesel. *Science Technology and Management Journal*, 3(2), 43–52.  
<https://doi.org/10.53416/stmj.v3i2.99>
- Velvizhi, G., Jacqueline, P. J., Shetti, N. P., K, L., Mohanakrishna, G., & Aminabhavi, T. M. (2023). Emerging trends and advances in valorization of lignocellulosic biomass to biofuels. *Journal of Environmental Management*, 345(November), 118527.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118527>
- Wei, C., Xu, Y., Li, Y., Wei, W., Feng, Y., Li, Z., & Xu, L. (2024). Life-cycle assessment of microalgae liquid biofuel production in biofilm cultivation system via conversion technologies of transesterification, hydrothermal liquefaction and pyrolysis. *Journal of Cleaner Production*, 436, 140559.
- Yan, Y., Pang, Y. X., Luo, X., Lin, Q., Pang, C. H., Zhang, H., Gao, X., & Wu, T. (2024). Carbon dioxide-focused greenhouse gas emissions from petrochemical plants and associated industries: Critical overview, recent advances and future prospects of mitigation strategies. *Process Safety and Environmental Protection*, 188(May), 406–421. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.136>
- Yang, L., Ren, L., Tan, X., Chu, H., Chen, J., Zhang, Y., & Zhou, X. (2020). Removal of ofloxacin with biofuel production by oleaginous microalgae *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology*, 315, 123738. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123738>
- Ye, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Wei, W., Cheng, D., Bui, X. T., Hoang, N. B., & Zhang, H. (2024). Biofuel production for circular bioeconomy: Present scenario and future scope. *Science of the Total Environment*, 935, 172863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172863>