

Eksplorasi Metode Ekstraksi Minyak Mikroalga *Chlorella Sp.* Untuk Produksi Biodiesel

[Exploration of Chlorella Sp. Microalgae Oil Extraction Method for Biodiesel Production]

Dandy Kusuma Wardana

Fakultas Pertanian, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo, Jawa Tengah

* Email korespondensi: dandykwardana@gmail.com

ABSTRACT

The decline in the availability of fossil fuels has driven the need for more sustainable alternative energy sources. Microalgae, particularly Chlorella sp., is one of the potential biomasses for biodiesel production due to its high lipid content, rapid growth, and lack of competition with food crops. This article aims to comprehensively review various methods of oil extraction from Chlorella sp. and assess their effectiveness and challenges to support the use of microalgae as a raw material for biodiesel. The methods reviewed include maceration, Soxhlet, microwave-assisted extraction, and ultrasonic-assisted extraction. The analysis was conducted by examining the working principles, parameters affecting the results, oil yield, advantages, and limitations of each method. The results of the review show that ultrasonic-assisted extraction has the advantage of producing higher yields in a shorter time, lower solvent consumption, and safer operating temperatures compared to other methods. However, its application on an industrial scale still faces technical and economic obstacles. This study concludes that combining modern methods with the use of environmentally friendly solvents and pilot-scale testing is an important direction for further research to support efficient and sustainable biodiesel production.

Keywords: Chlorella sp., biodiesel, oil extraction, ultrasonic extraction, microwave extraction

ABSTRAK

Penurunan ketersediaan bahan bakar fosil mendorong kebutuhan akan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan. Mikroalga, khususnya *Chlorella sp.*, merupakan salah satu biomassa potensial untuk produksi biodiesel karena kandungan lipid yang tinggi, pertumbuhan yang cepat, serta tidak bersaing dengan bahan pangan. Artikel ini bertujuan meninjau secara komprehensif berbagai metode ekstraksi minyak dari *Chlorella sp.* serta menilai efektivitas dan tantangannya untuk mendukung pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel. Metode yang dikaji meliputi maserasi, Soxhlet, ekstraksi berbantuan gelombang mikro, dan ekstraksi berbantuan ultrasonik. Analisis dilakukan dengan menelaah prinsip kerja, parameter yang memengaruhi hasil, rendemen minyak, kelebihan, serta keterbatasan masing-masing metode. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa ekstraksi berbantuan ultrasonik memiliki keunggulan dalam menghasilkan rendemen lebih tinggi dengan waktu yang lebih singkat, konsumsi pelarut lebih rendah, dan suhu operasi yang lebih aman dibandingkan metode lain. Meskipun demikian, penerapannya pada skala industri masih menghadapi hambatan teknis dan ekonomis. Kajian ini menyimpulkan bahwa kombinasi metode modern dengan penggunaan pelarut ramah lingkungan serta pengujian pada skala pilot merupakan arah penting bagi penelitian selanjutnya untuk mendukung produksi biodiesel yang efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Chlorella sp.*, biodiesel, ekstraksi minyak, ekstraksi ultrasonik, ekstraksi microwave

Pendahuluan

Kebutuhan energi global yang terus meningkat harus diimbangi dengan upaya diversifikasi sumber energi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang kian menipis. Salah satu

alternatif energi terbarukan yang potensial adalah biodiesel, karena ramah lingkungan, dapat diperbarui, dan memiliki karakteristik yang serupa dengan minyak diesel konvensional (Demirbas, 2009). Mikroalga telah banyak dilaporkan sebagai kandidat bahan baku biodiesel karena memiliki keunggulan berupa kandungan lipid tinggi, siklus hidup singkat, produktivitas biomassa tinggi, serta tidak bersaing langsung dengan kebutuhan pangan (Chisti, 2007; Wijffels & Barbosa, 2010).

Di antara berbagai jenis mikroalga, *Chlorella sp.* dikenal sebagai spesies yang menjanjikan dengan kandungan minyak sekitar 28–32% dari berat kering sel (Barqi, 2015). Selain itu, *Chlorella sp.* memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap kondisi lingkungan dan dapat dibudidayakan dalam berbagai sistem kultur, sehingga berpotensi sebagai sumber lipid berkelanjutan untuk produksi biodiesel. Meskipun demikian, tantangan utama pemanfaatan mikroalga terletak pada proses ekstraksi minyak, yang harus efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengekstrak minyak dari mikroalga, termasuk ekstraksi berbasis pelarut organik (misalnya, Soxhlet, Bligh & Dyer) serta teknik mekanis seperti pengepresan, ultrasonikasi, dan microwave-assisted extraction (Balat & Balat, 2009; Pradana et al., 2021). Faktor-faktor seperti jenis pelarut, rasio pelarut terhadap biomassa, waktu, suhu, dan ukuran partikel diketahui memengaruhi hasil ekstraksi (Sudharto & Satriadi, n.d.-a). Teknologi pendukung, seperti gelombang ultrasonik, dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi melalui efek kavitasi, pemanasan lokal, serta disrupti struktur sel yang mempercepat pelepasan lipid (Balat & Balat, 2009; Lee et al., 2010).

Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada optimasi parameter proses tunggal tanpa membandingkan efektivitas antar-metode secara komprehensif. Selain itu, isu keberlanjutan, biaya, dan penggunaan pelarut ramah lingkungan belum banyak dievaluasi secara mendalam (Chew et al., 2017; Mohammadshirazi et al., 2012). Oleh karena itu, diperlukan kajian yang menyoroti kelebihan dan kelemahan setiap metode ekstraksi, sekaligus membahas faktor-faktor yang memengaruhi efektivitasnya, untuk mendukung strategi produksi biodiesel yang lebih berkelanjutan. Berdasarkan latar belakang tersebut, studi ini bertujuan untuk meninjau secara kritis berbagai metode ekstraksi minyak dari mikroalga *Chlorella sp.*, mengidentifikasi tantangan utama yang dihadapi, serta memberikan perspektif mengenai strategi yang lebih efektif dan berkelanjutan untuk mendukung pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel.

Metode Review

Artikel ini disusun dalam bentuk tinjauan pustaka (review paper) yang bertujuan untuk mengidentifikasi, membandingkan, dan menganalisis berbagai metode ekstraksi minyak dari mikroalga *Chlorella sp.* Proses penyusunan review dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

Sumber Data dan Basis Pencarian

Pencarian literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah utama, yaitu Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, PubMed, Google Scholar, dan MDPI.

Kata Kunci

Kombinasi kata kunci yang digunakan antara lain:

- “*Chlorella sp.*”
- “microalgae oil extraction”
- “lipid extraction”

- “biodiesel from microalgae”
- “solvent extraction microalgae”
- “mechanical extraction microalgae”
- “ultrasound-assisted extraction microalgae”
- “microwave-assisted extraction microalgae”

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

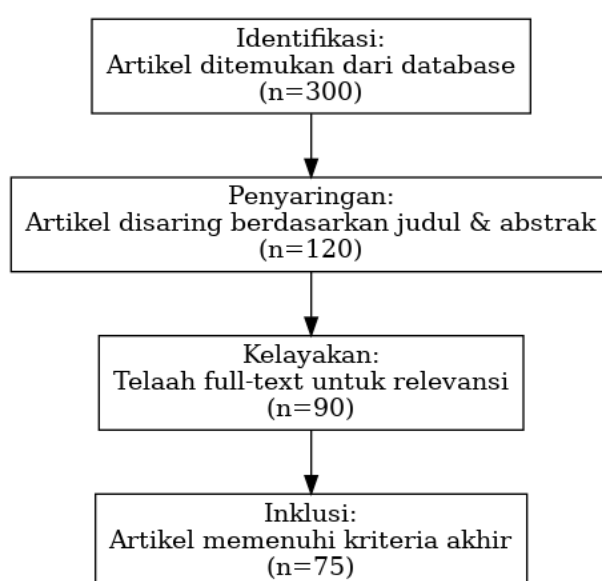
Literatur yang dipilih memenuhi kriteria berikut:

- Artikel berbahasa Inggris atau Indonesia.
- Artikel ilmiah (jurnal terindeks, prosiding, atau buku akademik).
- Fokus pada ekstraksi minyak/lipid dari *Chlorella* sp. atau mikroalga yang relevan.
- Tahun publikasi 2010–2024, agar mencakup perkembangan terbaru.
- Menyediakan data kuantitatif (yield, efisiensi, kelebihan/kelemahan metode).

Artikel yang bersifat opini, populer, atau tidak melalui peer-review dikeluarkan dari analisis

Seleksi Artikel

Proses seleksi artikel mengikuti pendekatan Prisma flow pada **Gambar 1**. Jumlah total artikel yang ditemukan adalah ± 300 dari berbagai database. Setelah dilakukan penyaringan judul dan abstrak, 120 artikel relevan dipilih. Tahap berikutnya dilakukan telaah penuh (full-text screening), dan diperoleh 75 artikel yang memenuhi kriteria untuk dianalisis dalam review ini.



Gambar 1. Prisma Flow Seleksi Artikel

Analisis Data

Setiap artikel yang memenuhi syarat dianalisis berdasarkan:

- Jenis metode ekstraksi (pelarut, mekanis, ultrasonik, microwave, supercritical fluid extraction).
- Parameter utama (pelarut, waktu, suhu, rasio biomassa-pelarut, kondisi pretreatment).
- Hasil (yield lipid, efisiensi energi, kualitas minyak, kelayakan ekonomis).
- Kelebihan dan kelemahan masing-masing metode.

Hasil analisis disintesis dalam bentuk narasi, tabel perbandingan, dan diagram pendukung untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan metode ekstraksi minyak dari *Chlorella sp.*

Hasil dan pembahasan

Berdasarkan **Tabel 1**, terdapat empat metode utama yang digunakan untuk ekstraksi minyak dari *Chlorella sp.*, yaitu maserasi, Soxhlet, Microwave-Assisted Extraction (MAE), dan Ultrasound-Assisted Extraction (UAE).

Tabel 1. Hasil Ekstraksi Minyak *Chlorella sp.*

Metode	Suhu (°C)	Pelarut	Waktu	Oil Rendemen (%)	Keterangan	Referensi
Maserasi	55–50	Avocado Oil	6 jam	52,73	Rasio 1:20 (w/v)	(Putri et al., 2014)
Soxhlet	70	Methanol	5,5 jam	17,98	-	(Mirzayanti et al., 2020)
Soxhlet	60	n-heksana	8 jam	4,16	-	(Fattah et al., 2020)
MAE	100	n-heksana	5 jam	1,20	Daya = 80 W	(Barqi, 2015)
MAE	-	n-heksana	20 menit	0,547	Daya = 450 W	(Barqi, 2015)
MAE	-	n-heksana	35 menit	88,45	-	(Hattab, 2015)
UAE	-	n-heksana	5 menit	1,69	Frekuensi 85–90 KHz	(Hui et al., 2023)
UAE	60	n-heksana	25 menit	25,05	Frekuensi 40 KHz; Daya = 100 W	(Hui et al., 2023)
UAE	-	n-heksana	15 menit	9,4	Frekuensi 40 KHz; Amplitudo 70%	(Fattah et al., 2020)

1. Maserasi

Metode maserasi merupakan teknik konvensional yang sederhana dan tidak memerlukan peralatan khusus. Namun, kelemahannya adalah membutuhkan waktu lama (hingga 6 jam) serta pelarut dalam jumlah besar, dengan rendemen yang relatif moderat (Putri et al., 2014). Prinsip difusi yang lambat menyebabkan metode ini kurang efisien untuk produksi skala besar.

2. Soxhlet

Metode Soxhlet lebih umum digunakan dalam skala laboratorium karena sederhana dan dapat menghasilkan ekstrak dengan rendemen lebih konsisten. Akan tetapi, penggunaan pelarut dalam jumlah besar, waktu ekstraksi lama (5–8 jam), dan kebutuhan energi tinggi menjadi keterbatasan utama (Fattah et al., 2020; Mirzayanti et al., 2020). Hasil juga sangat bergantung pada sifat polaritas pelarut, di mana pelarut polar seperti metanol mampu menghasilkan yield lebih tinggi dibandingkan n-heksana.

3. Microwave-Assisted Extraction (MAE)

MAE mempercepat proses ekstraksi dengan memanfaatkan gelombang mikro untuk memecah dinding sel mikroalga. Beberapa studi melaporkan peningkatan rendemen signifikan dengan waktu

ekstraksi lebih singkat (Hattab, 2015). Namun, metode ini memiliki keterbatasan pada konsumsi energi tinggi, risiko oksidasi asam lemak jenuh akibat pemanasan lokal, serta biaya peralatan yang mahal. Hal ini membatasi penerapan MAE di industri berskala besar, meskipun efisiensinya menjanjikan untuk riset skala laboratorium.

4. Ultrasound-Assisted Extraction (UAE)

UAE terbukti lebih unggul dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi. Gelombang ultrasonik menghasilkan kavitasi yang mampu merusak dinding sel, memperbesar kontak antara pelarut dan biomassa, serta mempercepat difusi lipid keluar dari sel (Barqi, 2015; Hui et al., 2023). UAE juga memungkinkan penggunaan suhu rendah sehingga meminimalisasi degradasi senyawa bioaktif. Rendemen minyak dari UAE dilaporkan mencapai 25,05% hanya dalam 25 menit (Hui et al., 2023), jauh lebih tinggi dibandingkan MAE pada beberapa kondisi. Namun, kendala utama metode ini adalah skala industrinya masih terbatas, biaya peralatan tinggi, serta kesulitan menjaga efisiensi pada volume besar.

Analisis Kritis

Dari perbandingan di **Tabel 2**, UAE terlihat sebagai metode paling menjanjikan karena mampu menghasilkan rendemen tinggi dengan waktu dan pelarut yang lebih efisien. Namun, keterbatasan dalam skala industri menjadi tantangan besar yang harus diatasi, misalnya melalui pengembangan reaktor ultrasonik berskala besar atau hibridisasi dengan metode lain (misalnya UAE–pelarut hijau). MAE juga berpotensi meningkatkan efisiensi, tetapi masalah konsumsi energi dan biaya alat perlu diperhatikan. Metode tradisional seperti maserasi dan soxhlet tetap relevan untuk laboratorium karena kesederhanaannya, tetapi tidak efisien untuk produksi massal.

Tabel 2. Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Metode Ekstraksi Minyak *Chlorella* sp.

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Maserasi	Sederhana, tidak butuh alat khusus, biaya rendah	Waktu lama, butuh banyak pelarut, yield moderat, tidak efisien untuk skala industri
Soxhlet	Prosedur standar, hasil konsisten, mudah direplikasi	Waktu lama, boros pelarut, konsumsi energi tinggi, degradasi senyawa bioaktif mungkin terjadi
MAE	Waktu ekstraksi singkat, efisiensi pelarut lebih tinggi, mampu memecah dinding sel	Konsumsi energi tinggi, biaya alat mahal, risiko oksidasi asam lemak jenuh, belum efisien di skala industri
UAE	Waktu singkat, suhu rendah, yield tinggi, menjaga bioaktivitas	Biaya alat tinggi, sulit diterapkan pada skala industri, memerlukan optimasi parameter (frekuensi, amplitudo, waktu)

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi metode dapat meningkatkan efisiensi. Sebagai contoh, penggunaan UAE dengan pelarut etanol dilaporkan meningkatkan yield sekaligus menjaga keberlanjutan proses (Chew et al., 2017). Hal ini mengindikasikan bahwa penelitian ke depan perlu mengarah pada penggunaan metode hibrida dan pelarut ramah lingkungan.

Implikasi untuk Penelitian Masa Depan

1. Pengembangan teknologi ekstraksi hibrida (misalnya UAE–MAE atau UAE–SFE) untuk meningkatkan efisiensi dan menekan biaya energi.

2. Evaluasi pelarut hijau seperti etanol atau pelarut berbasis bio yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pelarut organik konvensional.
3. Riset skala pilot untuk menguji aplikasi UAE dan MAE pada skala industri, termasuk analisis ekonomi dan lingkungan (LCA).
4. Kajian lebih lanjut mengenai stabilitas dan kualitas biodiesel yang dihasilkan dari minyak mikroalga hasil ekstraksi dengan berbagai metode.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan mengenai berbagai metode ekstraksi minyak dari *Chlorella* sp., dapat disimpulkan bahwa Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) merupakan metode yang paling efektif dibandingkan metode konvensional seperti maserasi dan Soxhlet maupun metode modern lainnya seperti Microwave-Assisted Extraction (MAE). UAE mampu menghasilkan rendemen minyak lebih tinggi dalam waktu singkat, dengan konsumsi pelarut lebih sedikit dan suhu ekstraksi yang relatif rendah, sehingga lebih efisien sekaligus menjaga kualitas senyawa bioaktif dalam minyak. Faktor-faktor penting yang memengaruhi hasil ekstraksi antara lain ukuran partikel biomassa, jenis dan rasio pelarut, lama ekstraksi, suhu proses, serta parameter operasional alat seperti daya, frekuensi, dan kapasitas.

Minyak *Chlorella* sp. yang dihasilkan terutama mengandung asam lemak palmitat, stearat, oleat, dan linoleat, yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel. Temuan ini menegaskan peran mikroalga sebagai sumber energi terbarukan yang menjanjikan. Namun, untuk mendukung penerapan skala industri, penelitian lanjutan perlu difokuskan pada pengembangan pelarut ramah lingkungan, optimasi metode hibrida, serta uji kelayakan teknis dan ekonomis melalui skala pilot. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi strategi pengembangan biodiesel berbasis mikroalga yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo atas kesempatan yang diberikan untuk mempublikasikan artikel review ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada yang telah menyediakan fasilitas sehingga memudahkan penulis dalam melakukan kajian literatur terkait metode ekstraksi minyak dari *Chlorella* sp.

Daftar pustaka

- Balat, M., & Balat, H. (2009). Recent Trends In Global Production And Utilization Of Bio-Ethanol Fuel. *Applied Energy*, 86(11), 2273–2282. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.015>
- Barqi, W. S. (2015). Pengambilan Minyak Mikroalga *Chlorella* Sp. Dengan Metode Microwave Assisted Extraction.
- Chew, K. W., Yap, J. Y., Show, P. L., Suan, N. H., Juan, J. C., Ling, T. C., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2017). Microalgae Biorefinery: High Value Products Perspectives. *Bioresource Technology*, 229, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.006>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel From Microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>

- Demirbas, A. (2009). Progress And Recent Trends In Biodiesel Fuels. *Energy Conversion And Management*, 50(1), 14–34. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>
- Fattah, I. M. R., Noraini, M. Y., Mofijur, M., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Khan, T. M. Y., Ong, H. C., & Mahlia, T. M. I. (2020). Lipid Extraction Maximization And Enzymatic Synthesis Of Biodiesel From Microalgae. *Applied Sciences*, 10(17), 6103. <https://doi.org/10.3390/app10176103>
- Hattab, M. A. (2015). Microalgae Harvesting Methods For Industrial Production Of Biodiesel: Critical Review And Comparative Analysis. *Journal Of Fundamentals Of Renewable Energy And Applications*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2090-4541.1000154>
- Hui, G. T., Meng, T. K., & Kassim, M. A. (2023). Green Ultrasonication-Assisted Extraction Of Microalgae *Chlorella* Sp. For Polysaturated Fatty Acid (PUFA) Rich Lipid Extract Using Alternative Solvent Mixture. *Bioprocess And Biosystems Engineering*, 46(10), 1499–1512. <https://doi.org/10.1007/s00449-023-02917-x>
- Lee, J.-Y., Yoo, C., Jun, S.-Y., Ahn, C.-Y., & Oh, H.-M. (2010). Comparison Of Several Methods For Effective Lipid Extraction From Microalgae. *Bioresource Technology*, 101(1), S75–S77. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.058>
- Mirzayanti, Y. W., Purwaningsih, D. Y., Faida, S. N., & Istifara, N. (2020). Proses Ekstraksi Minyak Alga *Chlorella* Sp Menggunakan Metode Sokhletasi. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.33366/Rekabuana.V5i1.1555>
- Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., Mousavi Avval, S. H., & Bagheri Kalhor, E. (2012). An Analysis Of Energy Use And Relation Between Energy Inputs And Yield In Tangerine Production. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4515–4521. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.047>
- Pradana, Y. S., Sadewo, B. R., Haryanto, S. A., & Sudibyo, H. (2021). Selection Of Oil Extraction Process From *Chlorella* Species Of Microalgae By Using Multi-Criteria Decision Analysis Technique For Biodiesel Production. *Open Chemistry*, 19(1), 1029–1042. <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0092>
- Putri, S. R., Lutfi, M., & Susilo, B. (2014). Ekstraksi Minyak Dari Mikroalga Jenis *Chlorella* Sp. Dengan Menggunakan Metode Osmotik Berbantuan Ultrasonik. 2(3).
- Sudharto, J., & Satriadi, I. H. (N.D.-A). Ekstraksi Minyak Dari Mikroalga Jenis *Chlorella* Sp Berbantuan Ultrasonik.
- Wijffels, R. H., & Barbosa, M. J. (2010). An Outlook On Microalgal Biofuels. *Science*, 329(5993), 796–799. <https://doi.org/10.1126/science.1189003>