



Studi Pendahuluan Pertumbuhan *Amphora* sp. pada Kondisi Kultur Autotrof, Miksotrof, dan Heterotrof

Received: 20 April 2026

Accepted: 5 Mei 2026

*Korespondensi:

pprenta@unib.ac.id

Person Pesona Renta^{1*}, Yusi Luluk Rahmania², Widayat³

¹Prodi Ilmu Kelautan, Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Provinsi Bengkulu, 38371, Indonesia

²UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

³Departmen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275 Indonesia

Abstrak — *Amphora* sp. merupakan diatom bentik yang memiliki potensi besar dalam aplikasi bioteknologi kelautan. Namun, sistem kultur autotrof konvensional seringkali terkendala oleh rendahnya kepadatan sel akibat keterbatasan penetrasi cahaya. Pemanfaatan fleksibilitas metabolik melalui kondisi miksotrof dan heterotrof menawarkan solusi untuk meningkatkan efisiensi produksi biomassa melalui pemanfaatan karbon organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan tumbuh diatom *Amphora* sp. pada berbagai kondisi trofik. Mikroalga dikultur selama 12 hari menggunakan tiga perlakuan: autotrof (media f/2), miksotrof (f/2 + glukosa, yeast extract, pepton dengan cahaya), dan heterotrof (f/2 + glukosa, yeast extract, pepton tanpa cahaya) pada suhu 24°C. Eksperimen dilakukan dengan tiga kali ulangan. Variabel pengamatan utama adalah kepadatan sel yang dihitung secara mikroskopis menggunakan *Haemocytometer* pada awal (H-0) dan akhir (H-12) masa kultivasi. Data dianalisis secara deskriptif melalui tabulasi untuk membandingkan laju peningkatan kepadatan sel antar perlakuan. Hasil menunjukkan bahwa kepadatan sel awal sebesar $1,30 \times 10^5$ sel/mL meningkat pada semua kondisi. Kepadatan sel tertinggi dicapai pada kondisi miksotrof ($3,93 \times 10^6$ sel/mL), diikuti autotrof ($3,81 \times 10^6$ sel/mL), dan heterotrof ($1,94 \times 10^6$ sel/mL). Data ini menunjukkan bahwa *Amphora* sp. memiliki kemampuan untuk memanfaatkan karbon organik eksternal, meskipun pertumbuhan optimal tetap bergantung pada keberadaan cahaya.

Kata Kunci — *Amphora* sp., Autotrof, Heterotrof, Kepadatan Sel, Miksotrof

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Diatom bentik dari genus *Amphora* memegang peranan vital dalam industri akuakultur global sebagai pakan alami karena profil nutrisinya yang kaya akan asam lemak tak jenuh (Cheah *et al.*, 2023). Secara konvensional, kultivasi mikroalga ini





dilakukan melalui jalur autotrof yang sepenuhnya bergantung pada fotosintesis. Namun, dalam sistem kultur intensif, ketersediaan cahaya seringkali menjadi faktor pembatas utama akibat fenomena *self-shading* saat kepadatan sel meningkat, yang pada akhirnya menurunkan produktivitas biomassa (Abiusi *et al.*, 2020).

Strategi untuk mengatasi limitasi cahaya ini dilakukan melalui eksplorasi fleksibilitas metabolik mikroalga, yaitu melalui jalur miksotrof dan heterotrof. Pemanfaatan karbon organik eksternal seperti glukosa telah terbukti dapat memacu laju pembelahan sel diatom dengan cara menyediakan sumber energi tambahan yang dapat langsung masuk ke jalur glikolisis (Castillo *et al.*, 2021). Selain karbon, penambahan nitrogen organik kompleks seperti pepton dan vitamin dalam *yeast extract* juga dilaporkan mampu mempercepat metabolisme mikroalga laut dibandingkan hanya menggunakan nutrisi anorganik standar (Xu *et al.*, 2024).

Meskipun potensi heterotrof telah dipelajari pada beberapa spesies model, informasi mengenai kapasitas adaptasi isolat *Amphora* sp. terhadap kondisi gelap total masih sangat terbatas. Kemampuan untuk tetap tumbuh tanpa cahaya (heterotrof fakultatif) merupakan keunggulan genetik yang memungkinkan diatom bertahan hidup di lingkungan dengan penetrasi cahaya rendah (Marella *et al.*, 2021). Namun, hingga saat ini, mekanisme efektivitas kombinasi nutrisi organik kompleks dalam mensubstitusi peran energi cahaya pada isolat *Amphora* sp. belum banyak dieksplorasi (Harini *et al.*, 2023). Pemahaman mengenai sejauh mana ketergantungan spesies ini terhadap energi fototrof dapat digantikan oleh asimilasi karbon dan nitrogen organik menjadi krusial untuk mengoptimalkan strategi kultivasi di luar kondisi standar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respon pertumbuhan *Amphora* sp. pada tiga kondisi trofik: autotrof, miksotrof, dan heterotrof. Dengan membandingkan kepadatan sel pada hari ke-12, diharapkan diperoleh informasi mengenai efektivitas pemanfaatan nutrisi organik dalam mendukung pertumbuhan sel, baik dengan maupun tanpa bantuan cahaya matahari.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu.

Organisme Uji dan Persiapan Inokulum

Mikroalga yang digunakan dalam penelitian ini adalah diatom bentik *Amphora* sp. Inokulum dipersiapkan dalam Erlenmeyer menggunakan media f/2 steril. Kultur antara (*intermediate culture*) dilakukan di bawah pencahayaan lampu LED secara kontinu (24

Seminar Nasional Samudra Rafflesia I | 204





jam terang) pada suhu konstan 24°C . Inokulum dipelihara hingga mencapai fase eksponensial lanjut (*late exponential phase*) untuk memastikan sel dalam kondisi aktif saat dipindahkan ke media perlakuan. Kepadatan sel awal untuk seluruh perlakuan diseragamkan sebesar $1,30 \times 10^5$ sel/mL.

Rancangan Eksperimen

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimental yang membandingkan pertumbuhan *Amphora* sp. pada tiga kondisi trofik yang berbeda, yaitu autotrof, miksotrof, dan heterotrof. Seluruh perlakuan dilakukan dengan tiga kali ulangan. Perlakuan autotrof dilakukan menggunakan medium f/2 standar dengan bantuan pencahayaan sebagai kontrol pertumbuhan fotosintetik. Pada perlakuan miksotrof, medium f/2 diperkaya dengan penambahan sumber karbon dan nitrogen organik berupa glukosa (2 g/L), *yeast extract* (1 g/L), dan pepton (0,5 g/L) yang dikultur di bawah paparan cahaya. Sementara itu, perlakuan heterotrof menggunakan komposisi medium yang sama dengan kondisi miksotrof, namun dilakukan dalam kondisi gelap total tanpa bantuan pencahayaan. Kultivasi dilakukan menggunakan volume media sebanyak 5 mL di dalam tabung reaksi berkapasitas 50 mL untuk menyediakan ruang udara (*headspace*) yang cukup bagi pertukaran gas. Ketiga perlakuan tersebut dikondisikan pada suhu inkubasi konstan 24°C untuk meminimalkan pengaruh fluktuasi suhu terhadap laju pembelahan sel.

Prosedur Kultivasi

Kultur dilakukan di dalam tabung reaksi steril. Seluruh medium kultur disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Inokulasi dilakukan secara aseptis untuk menjaga kemurnian kultur. Wadah kultur kemudian ditempatkan di dalam inkubator dengan suhu terkendali sebesar 24°C . Untuk perlakuan autotrof dan miksotrof, sumber pencahayaan berasal dari lampu LED dengan intensitas cahaya sebesar ± 2500 lux yang diberikan secara kontinu (24 jam terang). Sementara itu, pada kondisi heterotrof, tabung reaksi dikondisikan ke gelap total dengan cara membungkus seluruh permukaan tabung reaksi menggunakan *aluminium foil* untuk meniadakan aktivitas fotosintesis secara sempurna.

Parameter Pengamatan dan Analisis Data

Parameter utama yang diukur adalah kepadatan sel mikroalga. Pengamatan dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada hari ke-0 (awal kultur) dan hari ke-12 (akhir kultur). Perhitungan kepadatan sel dilakukan secara mikroskopis menggunakan





Haemocytometer dan mikroskop binokuler. Penelitian ini menggunakan tiga kali ulangan untuk setiap perlakuan guna memastikan validitas data yang diperoleh. Data yang terkumpul kemudian diolah secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata dari ketiga ulangan tersebut. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel untuk membandingkan perbedaan laju pertumbuhan dan peningkatan kepadatan sel di antara kondisi autotrof, miksotrof, dan heterotrof.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengamatan kepadatan sel *Amphora* sp. selama 12 hari masa kultivasi pada berbagai kondisi trofik disajikan pada **Tabel 1**. Seluruh perlakuan menunjukkan adanya peningkatan kepadatan sel dari stok awal sebesar $1,30 \times 10^5$ sel/mL.

Tabel 1. Kepadatan sel *Amphora* sp. pada hari ke-0 dan hari ke-12.

Kondisi Trofik	Kepadatan Sel Hari ke-0 (sel/mL)	Kepadatan Sel Hari ke-12 (sel/mL)
Autotrof	$1,30 \times 10^5$	$3,81 \times 10^6$
Miksotrof	$1,30 \times 10^5$	$3,93 \times 10^6$
Heterotrof	$1,30 \times 10^5$	$1,94 \times 10^6$

Kepadatan sel tertinggi pada hari ke-12 dicapai oleh perlakuan miksotrof ($3,93 \times 10^6$ sel/mL), yang sedikit lebih tinggi dibandingkan kondisi autotrof ($3,81 \times 10^6$ sel/mL). Sementara itu, kondisi heterotrof menghasilkan kepadatan sel terendah sebesar ($1,94 \times 10^6$ sel/mL), namun tetap menunjukkan pertumbuhan yang signifikan dibandingkan dengan inokulum awal.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan sel *Amphora* sp. terjadi pada seluruh perlakuan, yang menegaskan adanya plastisitas metabolik pada diatom ini. Kepadatan sel tertinggi pada kondisi miksotrof ($3,93 \times 10^6$ sel/mL) dapat menunjukkan terjadinya sinergi antara jalur asimilasi karbon anorganik dan organik. Fenomena ini dikenal sebagai *additivity effect*, di mana sel mampu memanen energi dari cahaya sekaligus mengoksidasi substrat organik secara simultan, sehingga menghasilkan laju pertumbuhan yang melampaui kapasitas autotrof murni (Xiao *et al.*, 2020). Efisiensi ini tercapai karena proses asimilasi glukosa memerlukan ATP yang lebih sedikit dibandingkan reduksi karbon anorganik (Li *et al.*, 2023).





Peran nitrogen organik dari pepton dan suplemen *yeast extract* juga menjadi faktor kunci dalam tingginya kepadatan sel yang dicapai. Penggunaan pepton memberikan keuntungan energetik karena sel dapat menyerap nitrogen dalam bentuk peptida atau asam amino langsung, sehingga tidak perlu mengeluarkan energi besar untuk mereduksi nitrat menjadi ammonium (Ma *et al.*, 2025). Selain itu, *yeast extract* menyediakan mikronutrien dan vitamin kompleks yang berfungsi sebagai kofaktor esensial dalam jalur enzimatik metabolisme karbon diatom (Tandon *et al.*, 2017).

Temuan dalam penelitian ini adalah kemampuan *Amphora* sp. untuk tumbuh pada kondisi heterotrof ($1,94 \times 10^6$ sel/mL). Meskipun tanpa cahaya, peningkatan sel tetap terjadi, yang menandakan adanya sistem transpor glukosa aktif pada membran sel (Zheng *et al.*, 2013). Rendahnya hasil akhir dibandingkan kondisi berpencahayaan diduga karena efisiensi konversi karbon melalui respirasi gelap tidak seoptimal melalui aparatus fotosintetik (Masojídek *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *Amphora* sp. bersifat fakultatif heterotrof, keberadaan cahaya tetap menjadi pendorong utama untuk mencapai kepadatan sel maksimal.

Secara keseluruhan, fleksibilitas ini memberikan keunggulan adaptif bagi *Amphora* sp. dalam sistem bioprosin. Kemampuan sel untuk tetap produktif meski dalam kondisi cahaya rendah sangat menguntungkan untuk menjaga stabilitas kultur saat terjadi kepadatan tinggi (Saccardo *et al.*, 2022). Data ini memberikan dasar penting bagi pengembangan teknik kultivasi mikroalga yang lebih fleksibel dan tidak bergantung sepenuhnya pada ketersediaan cahaya harian di Indonesia.

KESIMPULAN

Amphora sp. menunjukkan fleksibilitas metabolik yang adaptif terhadap perbedaan kondisi trofik yang diujikan. Pengamatan pada hari ke-12 menunjukkan kepadatan sel sebesar $3,93 \times 10^6$ sel/mL pada kondisi mikсотrof dan $3,81 \times 10^6$ sel/mL pada kondisi autotrof. Adanya pertumbuhan sel hingga mencapai $1,94 \times 10^6$ sel/mL pada kondisi heterotrof murni memberikan indikasi awal bahwa *Amphora* sp. memiliki kemampuan fakultatif heterotrof melalui pemanfaatan nutrien organik. Penambahan glukosa, pepton, dan *yeast extract* terbukti mampu mendukung kelangsungan hidup dan pembelahan sel meskipun tanpa ketersediaan energi cahaya. Fenomena ini menunjukkan potensi pemanfaatan asimilasi karbon organik sebagai strategi alternatif dalam optimasi kultur *Amphora* sp. pada kondisi minim cahaya.

DAFTAR PUSTAKA

Abiusi, F., Wijffels, R. H., & Janssen, M. (2020). Doubling of microalgae productivity by oxygen balanced mixotrophy. *ACS sustainable chemistry & engineering*, 8(15), 6065-6074.





- Castillo, T., Ramos, D., García-Beltrán, T., Brito-Bazan, M., & Galindo, E. (2021). Mixotrophic cultivation of microalgae: An alternative to produce high-value metabolites. *Biochemical Engineering Journal*, 176, 108183.
- Cheah, Y. T., Ng, B. W., Tan, T. L., Chia, Z. S., & Chan, D. J. C. (2023). Biomass and eicosapentaenoic acid production from *Amphora* sp. under different environmental and nutritional conditions. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 70(2), 568-580.
- Harini, A. B., Sarangi, N. V., Nisha, N., & Rajkumar, R. (2023). Cultivation of a marine diatom, *Amphora* sp., in municipal wastewater for enhancing lipid production toward sustainable biofuel production. *South African Journal of Botany*, 155, 288-297.
- Li, G., Xiao, W., Yang, T., & Lyu, T. (2023). Optimization and process effect for microalgae carbon dioxide fixation technology applications based on carbon capture: a comprehensive review. *C*, 9(1), 35.
- Ma, P., Li, X., Wu, B., Liu, Z., Li, Z., Sun, X., Zhou, L., & Du, M. (2025). Evaluating growth and nitrogen and phosphorus removal of four microalgae in different nutrient concentrations. *Biology*, 14(9), 1155.
- Marella, T. K., Bhattacharjya, R., & Tiwari, A. (2021). Impact of organic carbon acquisition on growth and functional biomolecule production in diatoms. *Microbial Cell Factories*, 20(1), 135.
- Masojídek, J., Ranglova, K., Lakatos, G. E., Silva Benavides, A. M., & Torzillo, G. (2021). Variables governing photosynthesis and growth in microalgae mass cultures. *Processes*, 9(5), 820.
- Saccardo, A., Bezzo, F., & Sforza, E. (2022). Microalgae growth in ultra-thin steady-state continuous photobioreactors: assessing self-shading effects. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 10, 977429.
- Tandon, P., Jin, Q., & Huang, L. (2017). A promising approach to enhance microalgae productivity by exogenous supply of vitamins. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 219.
- Xiao, Y., Guo, J., Zhu, H., Muhammad, A., Deng, H., Hu, Z., & Wu, Q. (2020). Inhibition of glucose assimilation in *Auxenochlorella protothecoides* by light. *Biotechnology for biofuels*, 13(1), 146.
- Xu, Z., Theodoropoulos, C., & Pittman, J. K. (2024). Optimization of a *Chlorella*-*Saccharomyces* co-culture system for enhanced metabolite productivity. *Algal Research*, 79, 103455.
- Zheng, Y., Quinn, A. H., & Sriram, G. (2013). Experimental evidence and isotopomer analysis of mixotrophic glucose metabolism in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Microbial Cell Factories*, 12(1), 109.

