

## EFEKTIVITAS KULTUR *Chaetoceros* sp. SEBAGAI PAKAN ALAMI KERANG MUTIARA: PERBANDINGAN METODE LABORATORIUM DAN LAPANGAN

## EFFECTIVENESS OF *Chaetoceros* sp. CULTURE AS LIVE FEED FOR PEARL OYSTER: COMPARISON OF LABORATORY AND FIELD METHODS

Fitrah Putra Amnur<sup>1</sup>, Alis Mukhlis<sup>1\*</sup>, Damai Diniariwisan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram  
Jalan Pendidikan No. 37 Mataram, Nusa Tenggara Barat

\*Korespondensi email: [alismukhlis@unram.ac.id](mailto:alismukhlis@unram.ac.id)

### ABSTRAK

Diatom *Chaetoceros* sp. merupakan mikroalga penting dalam akuakultur yang memerlukan optimasi sistem kultur untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika pertumbuhan *Chaetoceros* sp. pada sistem kultur laboratorium dan luar ruangan serta mengevaluasi parameter pertumbuhan dan kualitas air yang mempengaruhi produktivitas kultur. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua perlakuan yaitu kultur laboratorium (kontrol lingkungan) dan kultur luar ruangan (kondisi alami). Parameter yang diamati meliputi kepadatan populasi, pertumbuhan relatif, laju pertumbuhan spesifik, waktu penggandaan diri, dan parameter kualitas air (suhu, pH, salinitas, intensitas cahaya) selama 4 hari kultivasi. Kultur laboratorium menunjukkan performa superior dengan kepadatan populasi maksimum  $3,60 \times 10^6$  sel/ml, pertumbuhan relatif  $105,7 \pm 12,27$ , laju pertumbuhan spesifik  $19,7 \pm 1,8\%$ , dan waktu penggandaan diri  $3,88 \pm 0,34$  hari. Kultur luar ruangan menghasilkan kepadatan maksimum  $3,28 \times 10^6$  sel/ml, pertumbuhan relatif  $87,1 \pm 12,44$ , laju pertumbuhan spesifik  $16,9 \pm 2,0\%$ , dan waktu penggandaan diri  $4,49 \pm 0,51$  hari. Kedua metode mencapai fase eksponensial optimal pada hari ke-3. Parameter kualitas air menunjukkan stabilitas yang lebih baik pada kultur laboratorium dengan variabilitas yang lebih rendah. Kontrol lingkungan yang ketat pada kultur laboratorium dapat mengurangi variabilitas pertumbuhan dan meningkatkan prediktabilitas hasil kultur *Chaetoceros* sp. Meskipun kultur laboratorium lebih efisien secara teknis, kultur luar ruangan tetap viable untuk aplikasi komunal dengan pertimbangan efisiensi biaya dan keberlanjutan lingkungan.

Kata Kunci: *Chaetoceros* sp., kultur mikroalga, kontrol lingkungan, produktivitas, akuakultur

### ABSTRACT

*Chaetoceros* sp. is an important microalga in aquaculture that requires culture system optimization to enhance productivity and production efficiency. This study aimed to analyze the growth dynamics of *Chaetoceros* sp. in laboratory and outdoor culture

systems and evaluate growth parameters and water quality factors affecting culture productivity. The study employed a completely randomized design with two treatments: laboratory culture (environmental control) and outdoor culture (natural conditions). Parameters observed included population density, relative growth, specific growth rate, doubling time, and water quality parameters (temperature, pH, salinity, light intensity) over 4 days of cultivation. Laboratory culture demonstrated superior performance with maximum population density of  $3.60 \times 10^6$  cells/ml, relative growth of  $105.7 \pm 12.27$ , specific growth rate of  $19.7 \pm 1.8\%$ , and doubling time of  $3.88 \pm 0.34$  days. Outdoor culture yielded maximum density of  $3.28 \times 10^6$  cells/ml, relative growth of  $87.1 \pm 12.44$ , specific growth rate of  $16.9 \pm 2.0\%$ , and doubling time of  $4.49 \pm 0.51$  days. Both methods achieved optimal exponential phase on day 3. Water quality parameters showed better stability in laboratory culture with lower variability. Strict environmental control in laboratory culture can reduce growth variability and improve predictability of *Chaetoceros* sp. culture results. Although laboratory culture is more technically efficient, outdoor culture remains viable for community applications considering cost efficiency and environmental sustainability.

Keywords: *Chaetoceros* sp., microalgae culture, environmental control, productivity, aquaculture

## PENDAHULUAN

Budidaya kerang mutiara (*Pinctada maxima*) merupakan salah satu sektor akuakultur yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Keberhasilan budidaya kerang mutiara sangat bergantung pada ketersediaan dan kualitas pakan alami untuk tahap larva dan juvenil. Salah satu mikroalga yang telah terbukti efektif sebagai pakan alami kerang mutiara adalah *Chaetoceros* sp. *Chaetoceros* sp. merupakan diatom laut yang menjadi pakan alami utama untuk larva kerang mutiara karena kandungan nutrisinya yang tinggi dan ukurannya yang sesuai untuk dikonsumsi. Spesies ini memiliki variasi morfologi dengan bentuk bulat berdiameter 4-6  $\mu\text{m}$  dan bentuk persegi panjang berukuran 8-12  $\times$  7-18  $\mu\text{m}$ . Kandungan nutrisi *Chaetoceros* sp. meliputi protein 35%, karbohidrat 6,6%, lemak 6,9%, dan abu 28% (Sopian *et al.*, 2019).

Dalam upaya optimalisasi produksi *Chaetoceros* sp., pemilihan metode kultur yang efisien dan berkelanjutan menjadi faktor krusial. Saat ini, terdapat dua pendekatan utama dalam kultur fitoplankton ini: kultur laboratorium dengan kondisi terkontrol dan kultur lapangan yang lebih ekonomis namun kurang terkontrol. Kultur laboratorium menawarkan kontrol yang lebih baik atas parameter lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya, sehingga memungkinkan produksi yang lebih konsisten dan minim kontaminasi (Yu *et al.*, 2024). Namun, metode ini memerlukan investasi infrastruktur dan biaya operasional yang lebih tinggi. Sebaliknya, kultur lapangan memanfaatkan sumber daya alam seperti sinar matahari dan suhu lingkungan yang dapat mengurangi biaya produksi secara signifikan. Namun, metode ini rentan terhadap fluktuasi kondisi lingkungan dan risiko kontaminasi yang lebih tinggi, yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas produksi (Febrinawati *et al.*, 2020). Faktor-faktor seperti stabilitas populasi, kualitas media kultur, dan ketersediaan nutrisi menjadi tantangan utama dalam kedua metode kultur tersebut.

Meskipun kedua metode ini telah digunakan secara luas, belum ada studi komprehensif yang membandingkan efektivitas keduanya dalam konteks spesifik produksi *Chaetoceros* sp. sebagai pakan kerang mutiara di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan sistematis antara kultur *Chaetoceros* sp. dalam kondisi laboratorium terkontrol dan kultur lapangan, serta menganalisis

efektivitas masing-masing metode dalam mendukung produksi pakan alami kerang mutiara yang optimal dan ekonomis.

### METODE PENELITIAN

- Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-Februari 2025 di PT. Mutiara Surya Indonesia, Desa Sugian, Kecamatan Sambelia, Kabupaten Lombok Timur, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Kultur laboratorium dilakukan di fasilitas laboratorium PT. Mutiara Surya Indonesia, sedangkan kultur lapangan dilakukan di area terbuka dengan kondisi lingkungan alami.

- Metode dan Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 2 perlakuan dengan 6 ulangan. Perlakuan A (Laboratorium): Kultur dalam laboratorium dengan kondisi terkontrol (suhu  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , intensitas cahaya 2000 lux). Perlakuan B (Lapangan): Kultur di lapangan dengan kondisi lingkungan alami (suhu dan cahaya tidak terkontrol)

- Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aerator (Hiblow Air Pump HP-100 untuk laboratorium, Air Pump LP-10 untuk lapangan), haemocytometer, mikroskop cahaya, pH meter, refraktometer, termometer, toples kultur kapasitas 5 L, lampu TL 20 watt, gelas ukur, pipet tetes, kamera, dan alat tulis. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan yaitu air laut steril (salinitas 33-34 ppt), bibit *Chaetoceros* sp., pupuk KW21, alkohol 70%, air tawar, dan tisu.

- Prosedur Penelitian

Wadah kultur berupa toples transparan kapasitas 5 L disterilisasi dengan air laut mendidih ( $100^{\circ}\text{C}$ ) selama 5 menit. Sebanyak 12 toples disiapkan untuk kedua perlakuan (6 toples per perlakuan). Air laut dengan salinitas 33-34 ppt disterilisasi dengan cara direbus pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 3 menit, kemudian didinginkan hingga suhu ruang. Media kultur diperkaya dengan pupuk KW21 dengan konsentrasi 1 ml per liter media air dan penambahan silikat dengan konsentrasi 30 mg/l. Sistem aerasi menggunakan Blower Hiblow Air Pump HP-100 (AC220V, 50 Hz, 95 Watt) untuk perlakuan laboratorium dan Air Pump LP-10 (AC 220/240V, 50Hz, 10 Watt) untuk perlakuan lapangan. Aerasi dilakukan kontinyu selama 24 jam dengan intensitas sedang.

Bibit *Chaetoceros* sp. dengan kepadatan awal  $1,75 \times 10^6$  sel/mL diinokulasi ke dalam masing-masing wadah kultur. Volume inokulasi ditentukan berdasarkan rumus pengenceran. Pemeliharaan dilakukan selama 4 hari dengan pengamatan harian.

- Parameter Penelitian

Parameter yang diamati dan diuji dalam penelitian ini meliputi parameter pertumbuhan *Chaetoceros* sp. selama 4 hari masa kultur, yaitu kepadatan sel maksimum, laju pertumbuhan relatif, laju pertumbuhan spesifik, dan waktu penggandaan sel.

Kepadatan sel *Chaetoceros* sp. ditentukan menggunakan metode penghitungan langsung dengan haemocytometer. Sebanyak 8  $\mu\text{L}$  sampel diambil dari setiap wadah kultur dan diletakkan pada haemocytometer, kemudian diamati menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x. Kepadatan sel dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Mukhlis *et al.* (2017):  $P = N \times 10^4$  sel/mL dimana P adalah kepadatan sel (sel/mL) dan N adalah jumlah total sel pada bidang hemositometer seluas 1  $\text{mm}^2$ . Laju pertumbuhan relatif dihitung untuk mengetahui persentase pertambahan populasi sel hingga mencapai kepadatan maksimum.

Perhitungan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Arfah *et al.* (2019):  $RGR = ((C_t - C_0) / C_0) \times 100\%$ , dimana RGR adalah laju pertumbuhan relatif (%),  $C_0$  adalah kepadatan sel awal (sel/mL), dan  $C_t$  adalah kepadatan sel akhir (sel/mL). Laju pertumbuhan spesifik harian menunjukkan laju pertumbuhan per satuan waktu (hari). Perhitungan dilakukan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Mukhlis *et al.* (2017):  $SGR = ((C_t/C_0)^{(1/t)} - 1) \times 100\%$ , dimana SGR adalah laju pertumbuhan spesifik (% per hari),  $C_0$  adalah kepadatan sel awal (sel/mL),  $C_t$  adalah kepadatan sel akhir (sel/mL), dan  $t$  adalah waktu kultivasi (hari). Waktu penggandaan menunjukkan waktu yang diperlukan untuk menggandakan jumlah populasi sel. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Mukhlis *et al.* (2017):  $DT = \log(2) \times \Delta t / (\log C_t - \log C_0)$  dimana DT adalah waktu penggandaan (hari),  $\Delta t$  adalah selang waktu pengamatan (hari),  $C_0$  adalah kepadatan sel awal (sel/mL), dan  $C_t$  adalah kepadatan sel akhir (sel/mL). Pengamatan dan pengukuran semua parameter dilakukan setiap 24 jam selama periode kultur berlangsung.

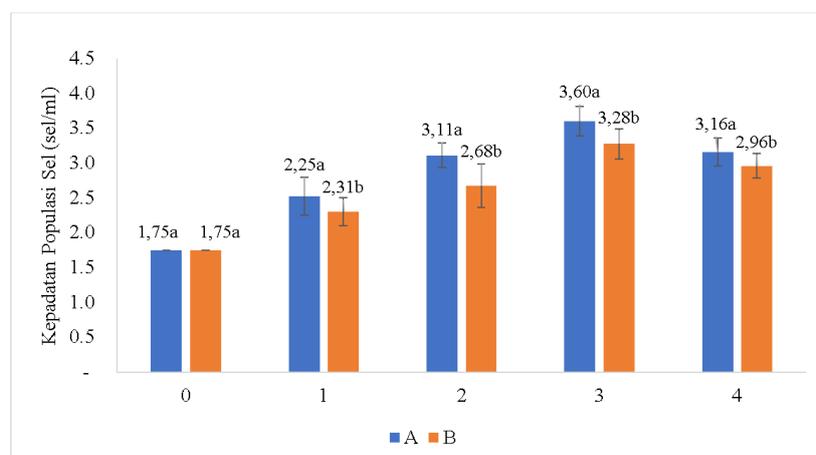
Parameter Kualitas Air Parameter kualitas air yang diukur meliputi suhu, salinitas, pH, dan keberadaan kontaminan biologis. Pengukuran dilakukan setiap 24 jam selama periode kultur.

Analisis Data hasil penelitian dianalisis menggunakan uji-*t* (*independent sample t-test*) untuk membandingkan rata-rata parameter pertumbuhan antara kultur laboratorium dan lapangan. Analisis dilakukan dengan software statistik pada tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

## HASIL

- Kepadatan Populasi Sel *Chaetoceros* sp.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan ( $p < 0,05$ ) antara kepadatan populasi sel *Chaetoceros* sp. yang dikultur dalam laboratorium dibandingkan dengan kultur lapangan. Kultur laboratorium menunjukkan kepadatan populasi yang lebih tinggi selama periode pengamatan. Kepadatan populasi pada kultur laboratorium mengalami peningkatan dari hari ke-0 hingga mencapai puncak pada hari ke-3 dengan nilai  $3,60 \times 10^6$  sel/mL, kemudian mengalami penurunan pada hari ke-4 menjadi  $3,16 \times 10^6$  sel/mL. Pola pertumbuhan serupa diamati pada kultur lapangan, namun dengan nilai yang lebih rendah. Kepadatan maksimum pada kultur lapangan tercapai pada hari ke-3 dengan nilai  $3,28 \times 10^6$  sel/mL dan menurun menjadi  $2,96 \times 10^6$  sel/mL pada hari ke-4 (Gambar 1).

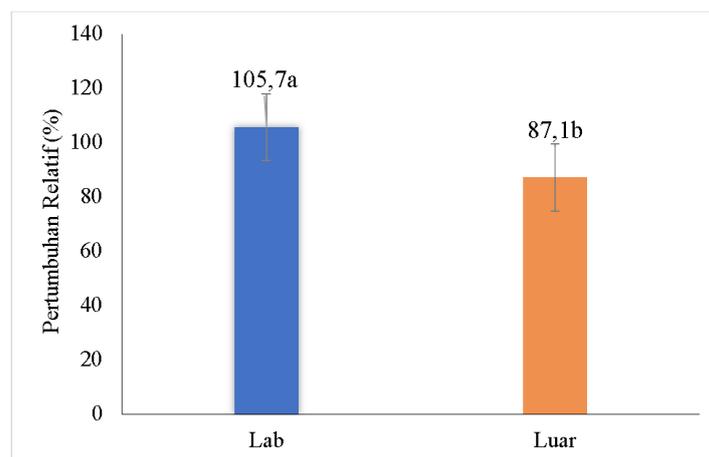


Gambar 1 Rata-rata Kepadatan Populasi *Chaetoceros* sp. yang dikultur dalam Laboratorium (A) dan di Luar Laboratorium (B).

Penurunan kepadatan populasi yang terjadi pada hari ke-4 menunjukkan bahwa kultur *Chaetoceros* sp. telah memasuki fase stasioner atau bahkan fase kematian. Hal ini diduga disebabkan oleh berkurangnya nutrisi dalam media kultur dan akumulasi metabolit sekunder yang dapat menghambat pertumbuhan sel.

- Pertumbuhan Relatif

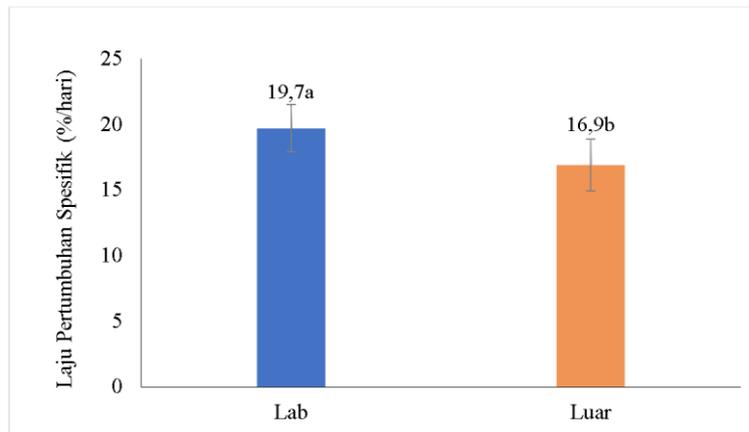
Analisis statistik menunjukkan bahwa laju pertumbuhan relatif *Chaetoceros* sp. berbeda signifikan antara kedua metode kultur ( $p < 0,05$ ). Kultur laboratorium menghasilkan pertumbuhan relatif yang lebih tinggi dengan nilai rata-rata  $105,7 \pm 12,27\%$  dibandingkan dengan kultur lapangan yang mencapai  $87,1 \pm 12,44\%$  (Gambar 2). Perbedaan ini menunjukkan bahwa kondisi laboratorium yang terkontrol memberikan lingkungan yang lebih optimal untuk pertumbuhan *Chaetoceros* sp. dibandingkan dengan kondisi lapangan. Meskipun demikian, kedua metode kultur menunjukkan laju pertumbuhan yang positif, mengindikasikan bahwa *Chaetoceros* sp. dapat beradaptasi dengan baik pada kedua kondisi kultur, namun dengan efisiensi yang berbeda.



Gambar 2. Perbandingan Pertumbuhan Relatif *Chaetoceros* sp. yang dikultur dalam laboratorium dan di luar laboratorium

- Laju Pertumbuhan Spesifik Harian

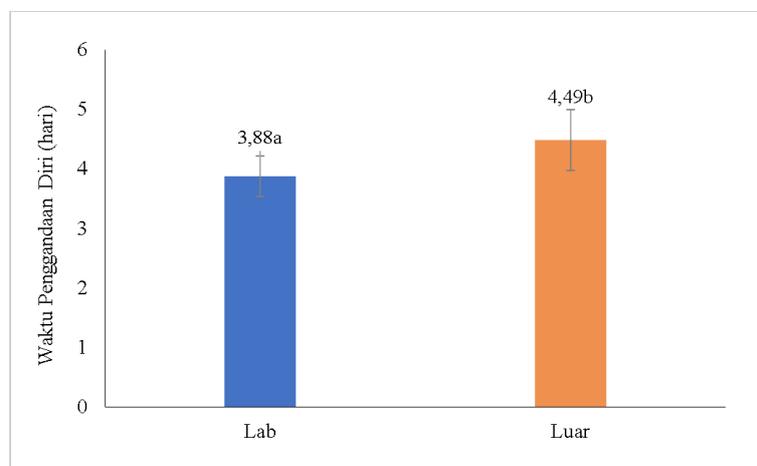
Laju pertumbuhan spesifik harian *Chaetoceros* sp. menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kultur laboratorium dan lapangan ( $p < 0,05$ ). Kultur laboratorium memiliki laju pertumbuhan spesifik  $19,7 \pm 1,8\%$  per hari, sedangkan kultur lapangan mencapai  $16,9 \pm 2,0\%$  per hari (Gambar 3). Perbedaan ini menunjukkan bahwa kondisi laboratorium yang terkontrol lebih optimal untuk pertumbuhan *Chaetoceros* sp. dibandingkan kondisi alami. Fluktuasi kondisi lingkungan alami pada kultur lapangan kemungkinan menjadi faktor utama penyebab laju pertumbuhan yang lebih rendah dibandingkan kultur laboratorium.



Gambar 3. Perbandingan Pertumbuhan Spesifik *Chaetoceros* sp. yang dikultur dalam laboratorium dan di luar laboratorium.

- Waktu Penggandaan Diri (double time)

Waktu penggandaan *Chaetoceros* sp. menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua metode kultur ( $p < 0,05$ ). Kultur laboratorium memiliki waktu penggandaan  $3,88 \pm 0,34$  hari, sedangkan kultur lapangan memerlukan waktu yang lebih lama yaitu  $4,49 \pm 0,51$  hari (Gambar 4). Waktu penggandaan yang lebih pendek pada kultur laboratorium menunjukkan efisiensi pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan kultur lapangan. Hasil ini konsisten dengan parameter pertumbuhan lainnya yang menunjukkan superioritas kultur laboratorium dalam menghasilkan pertumbuhan *Chaetoceros* sp. yang optimal.



Gambar 4. Perbandingan waktu penggandaan diri *Chaetoceros* sp. yang dikultur dalam laboratorium dan di luar laboratorium.

- Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diamati selama penelitian meliputi suhu, salinitas, pH, dan intensitas cahaya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semua parameter kualitas air pada kedua metode kultur berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan *Chaetoceros* sp. (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter kualitas air selama kultur *Chaetoceros* sp.

Parameter	Laboratorium	Lapangan	Kisaran Optimal	Referensi
Suhu (°C)	30,1	30,7	29-31	Sas et al. (2023)
Salinitas (ppt)	30,9	30,4	30-31	Sas et al. (2023)
pH	7,4	7,8	7,5-8,5	Kumar Singh <i>et al.</i> (2022)
Intensitas Cahaya (Lux) 7.418		4.676-7.747*	2.500-4.500	Maharajan et al. (2020)

\*Fluktuasi harian (pagi-malam)

Suhu dan salinitas pada kedua metode kultur berada dalam kisaran optimal. Nilai pH pada kultur laboratorium (7,4) dan lapangan (7,8) sedikit lebih rendah dari kisaran optimal (8,0-8,5), namun masih dalam batas toleransi untuk pertumbuhan fitoplankton. Intensitas cahaya pada kultur laboratorium konsisten sepanjang hari (7.418 lux), sedangkan pada kultur lapangan mengalami fluktuasi alami dari 4.676 lux hingga 7.747 lux tergantung waktu pengamatan.

Stabilitas parameter kualitas air pada kultur laboratorium kemungkinan menjadi faktor utama yang berkontribusi terhadap performa pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan kultur lapangan yang mengalami fluktuasi kondisi lingkungan.

## PEMBAHASAN

### Dinamika Pertumbuhan *Chaetoceros* sp. pada Sistem Kultur Berbeda

- Perbandingan Kepadatan Populasi

Analisis statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan ( $p < 0,05$ ) antara kepadatan populasi *Chaetoceros* sp. yang dikultur di laboratorium dengan sistem kultur luar ruangan. Kultur laboratorium menghasilkan kepadatan populasi yang konsisten lebih tinggi sepanjang periode pengamatan, dengan kepadatan tertinggi mencapai  $3,60 \times 10^6$  sel/ml pada hari ke-3, sedangkan kultur luar ruangan hanya mencapai  $3,28 \times 10^6$  sel/ml pada periode yang sama. Superioritas kultur laboratorium ini konsisten dengan temuan Kumar Singh *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa sistem kultur tertutup memberikan hasil optimal karena faktor lingkungan yang dapat dikontrol dengan lebih baik. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Masojídek *et al.* (2022) pada studi mikroalga lain, dimana sistem kultur laboratorium memberikan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan sistem outdoor.

- Karakteristik Pola Pertumbuhan

Kedua metode kultur menunjukkan pola pertumbuhan klasik mikroorganisme yang terdiri dari tiga fase distingtif. Fase lag (hari ke-0 sampai ke-1) ditandai dengan proses adaptasi *Chaetoceros* sp. terhadap lingkungan kultur baru. Pada fase ini, sel-sel mensintesis kofaktor dan enzim yang diperlukan untuk metabolisme nutrisi, sehingga kepadatan populasi relatif stabil dan rendah. Fase pertumbuhan eksponensial (hari ke-2 sampai ke-3) menunjukkan peningkatan kepadatan populasi yang dramatis akibat pembelahan biner yang cepat dengan aktivitas metabolik tinggi. Kedua perlakuan mencapai puncak kepadatan pada hari ke-3, sesuai dengan laporan Mirón *et al.* (1999) bahwa fase eksponensial *Chaetoceros* sp. umumnya terjadi pada hari ke-2 hingga ke-4 dalam kondisi kultur optimal.

Fase penurunan (hari ke-4) menunjukkan penurunan kepadatan pada kedua perlakuan, dimana kultur laboratorium turun dari  $3,60 \times 10^6$  menjadi  $3,16 \times 10^6$  sel/ml, sedangkan kultur luar ruangan turun dari  $3,28 \times 10^6$  menjadi  $2,96 \times 10^6$  sel/ml.

Fenomena ini mengindikasikan deplesi nutrisi dalam media kultur dan akumulasi produk metabolisme yang menghambat pertumbuhan, sesuai dengan teori pertumbuhan mikroorganisme Monod (2008) dimana pertumbuhan menurun ketika nutrisi esensial terbatas atau terjadi akumulasi produk toksik.

- **Optimalisasi Waktu Panen**

Pencapaian kepadatan maksimum pada hari ke-3 untuk kedua metode kultur menunjukkan titik optimal panen mikroalga. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mata *et al.* (2010) yang melaporkan fase eksponensial *Chaetoceros muelleri* berlangsung selama dua hari dengan laju pertumbuhan spesifik maksimal. Hasil ini mengindikasikan bahwa siklus kultur yang efisien dapat dirancang dengan periode 3 hari untuk memaksimalkan produktivitas, dan konsistensi hasil menunjukkan pola yang dapat diprediksi dan direplikasi untuk kultur selanjutnya.

### **Analisis Parameter Pertumbuhan**

- **Pertumbuhan Relatif dan Variabilitas**

Kultur *Chaetoceros* sp. di laboratorium menunjukkan pertumbuhan relatif yang signifikan lebih tinggi ( $105,7 \pm 12,27$ ) dibandingkan kultur luar ruangan ( $87,1 \pm 12,44$ ) yang mengalami penurunan sebesar 17,6% dari kepadatan populasi di dalam laboratorium. Superioritas kondisi laboratorium ini dapat dijelaskan melalui optimalisasi faktor-faktor pertumbuhan seperti intensitas cahaya, suhu, pH, dan nutrisi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik mikroalga (Guillard & Hargraves, 1993). Hal ini sejalan dengan pernyataan Mirón *et al.* (1999) bahwa kontrol lingkungan merupakan kunci utama dalam meningkatkan produktivitas kultur mikroalga.

Standar deviasi yang relatif rendah pada kedua kondisi menunjukkan konsistensi data yang baik, namun variabilitas yang sedikit lebih tinggi pada kultur luar ruangan (12,44 vs 12,27) mengindikasikan adanya fluktuasi kondisi lingkungan yang tidak dapat dikontrol sepenuhnya. Menurut Lee (2015), variabilitas lingkungan alami seperti perubahan suhu harian, intensitas cahaya, dan curah hujan dapat mempengaruhi stabilitas pertumbuhan mikroalga.

- **Laju Pertumbuhan Spesifik**

Laju pertumbuhan spesifik *Chaetoceros* sp. di laboratorium ( $19,7 \pm 1,8\%$ ) menunjukkan efisiensi kultur yang lebih baik dibandingkan kultur luar ruangan ( $16,9 \pm 2,0\%$ ). Laju pertumbuhan spesifik merupakan parameter penting yang menggambarkan kemampuan mikroalga untuk berkembang biak dalam periode waktu tertentu (Beardall, 1988). Nilai yang diperoleh berada dalam kisaran normal untuk genus *Chaetoceros* sp., dimana menurut Lavens dan Sorgeloos (1996), laju pertumbuhan spesifik umumnya berkisar antara 15-25% per hari dalam kondisi optimal.

Standar deviasi yang lebih rendah pada kultur laboratorium (1,8%) dibandingkan kultur luar ruangan (2,0%) menunjukkan konsistensi pertumbuhan yang lebih baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kong *et al.* (2021) bahwa kontrol lingkungan yang ketat dapat mengurangi variabilitas pertumbuhan dan meningkatkan prediktabilitas hasil kultur.

- **Waktu Penggandaan Diri**

Waktu penggandaan diri (*doubling time*) merupakan parameter kritis yang menunjukkan efisiensi reproduksi mikroalga. Kultur di laboratorium menunjukkan waktu penggandaan diri yang signifikan lebih cepat ( $3,88 \pm 0,34$  hari) dibandingkan kultur di luar ruangan ( $4,49 \pm 0,51$  hari). Perbedaan ini menunjukkan efisiensi yang signifikan secara praktis. Menurut Lee (2015), waktu penggandaan diri yang lebih

cepat mengindikasikan kondisi kultur yang lebih optimal dan metabolisme sel yang lebih aktif.

Dalam konteks produksi komersial, perbedaan waktu penggandaan diri ini dapat berdampak signifikan terhadap produktivitas dan efisiensi ekonomi. Kultur dengan waktu penggandaan diri yang lebih cepat memungkinkan pencapaian densitas sel target dalam waktu yang lebih singkat, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan waktu dan sumber daya. Hasil ini sejalan dengan penelitian Mata *et al.* (2010) yang menunjukkan bahwa sistem kultur tertutup dengan kontrol lingkungan yang ketat umumnya menghasilkan waktu penggandaan diri yang lebih cepat dibandingkan sistem kultur terbuka.

### **Implikasi Praktis dan Ekonomi**

- Efisiensi Kultur dan Produktivitas

Efisiensi kultur yang lebih tinggi di laboratorium memiliki implikasi praktis yang signifikan. Dari aspek produktivitas, kultur laboratorium dapat menghasilkan biomassa yang lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat. Menurut Pulz & Gross (2004), peningkatan efisiensi kultur sebesar 20-25% dapat berdampak signifikan terhadap kelayakan ekonomi produksi mikroalga dalam skala komersial. Dari aspek kontrol kualitas, kondisi laboratorium memungkinkan standarisasi proses yang lebih baik, yang penting dalam aplikasi mikroalga untuk pakan akuakultur dimana konsistensi kualitas nutrisi sangat diperlukan (Muller & Feuga, 2024).

Kultur laboratorium juga mengurangi risiko kontaminasi dan memungkinkan monitoring yang lebih ketat terhadap parameter kualitas air. Dari aspek skalabilitas, hasil kultur laboratorium dapat dijadikan acuan untuk pengembangan sistem kultur skala pilot atau komersial. Menurut Carvalho *et al.* (2006), data pertumbuhan dari kultur laboratorium dapat digunakan untuk merancang sistem kultur yang lebih besar dengan mempertimbangkan faktor-faktor scaling-up yang diperlukan.

- Pertimbangan Ekonomi dan Keberlanjutan

Meskipun kultur laboratorium menunjukkan efisiensi pertumbuhan yang lebih tinggi, kultur di luar ruangan tetap memiliki keunggulan dalam hal efisiensi biaya operasional dan keberlanjutan lingkungan. Kultur luar ruangan memanfaatkan sumber daya alam seperti sinar matahari dan tidak memerlukan input energi yang tinggi untuk pencahayaan dan kontrol suhu (Wijffels *et al.*, 2010). Oleh karena itu, pemilihan metode kultur harus mempertimbangkan tujuan akhir penggunaan dan analisis ekonomi yang komprehensif.

Meskipun kultur di laboratorium menunjukkan efisiensi pertumbuhan yang lebih tinggi, kultur di luar ruangan tetap memiliki keunggulan dalam hal efisiensi biaya operasional dan keberlanjutan lingkungan. Kultur di luar ruangan memanfaatkan sumber daya alam seperti sinar matahari dan tidak memerlukan input energi yang tinggi untuk pencahayaan dan kontrol suhu (Wijffels *et al.*, 2010).

Hasil kultur luar ruangan dari penelitian ini menunjukkan peluang yang menjanjikan bagi masyarakat komunal untuk mengaplikasikan metode ini dalam menerapkan pemberian pakan alami. Metode kultur luar ruangan yang relatif sederhana dan mudah diaplikasi berpotensi diintegrasikan dengan sistem budidaya kerang mutiara yang telah dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya. Mayunita *et al.* (2024), Istiqomah *et al.* (2024), Mukhlis *et al.* (2024a), Mukhlis *et al.* (2024b), Septiani *et al.* (2023), Fajry *et al.* (2022) dan Mukhlis *et al.* (2021) telah menunjukkan potensi penerapan perendaman spat dan benih kerang mutiara untuk mempercepat pertumbuhan benih kerang mutiara *P. maxima*. Penggunaan *Chaetoceros* sp. hasil kultur luar ruangan sebagai pakan alami dalam metode perendaman tersebut

dapat memberikan nilai tambah yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi pertumbuhan dan kelangsungan hidup benih kerang mutiara.

Kemudahan aplikasi sistem kultur di luar ruangan memungkinkan adopsi teknologi oleh masyarakat pesisir dengan investasi yang relatif terjangkau, sehingga dapat mendukung pengembangan budidaya kerang mutiara secara berkelanjutan di tingkat komunal. Oleh karena itu, pemilihan metode kultur harus mempertimbangkan tujuan akhir penggunaan dan analisis ekonomi yang komprehensif.

### **Analisis Parameter Kualitas Air**

- **Stabilitas Parameter Fisika-Kimia**

Kualitas air merupakan faktor fundamental yang menentukan keberhasilan kultur mikroalga *Chaetoceros* sp. Parameter fisika-kimia air yang diamati meliputi suhu, salinitas, pH, dan intensitas cahaya, dimana keempat parameter tersebut saling berinteraksi dan mempengaruhi pertumbuhan mikroalga.

Hasil pengukuran suhu menunjukkan rentang 28,5-30,1°C untuk kultur laboratorium dan 27,8-30,7°C untuk kultur luar ruangan. Kedua rentang suhu tersebut berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan *Chaetoceros* sp. yaitu 20-32°C, sesuai dengan laporan Prayoga & Arifin (2015) bahwa suhu optimal untuk kultur *Chaetoceros calcitrans* berkisar antara 25-30°C. Stabilitas suhu yang dicapai menunjukkan keunggulan sistem kultur terkontrol dibandingkan kondisi lingkungan alami yang mengalami fluktuasi harian. Fluktuasi suhu yang berlebihan dapat menyebabkan stres fisiologis pada mikroalga dan menurunkan produktivitasnya (Luo *et al.*, 2023).

- **Salinitas dan pH**

Parameter salinitas menunjukkan nilai yang sangat stabil, yaitu 30,7-30,9 ppt untuk kultur laboratorium dan 30,7-30,8 ppt untuk kultur luar ruangan. Nilai ini berada dalam kisaran optimal 24-33 ppt. Menurut Sas *et al.* (2023), salinitas optimal untuk kultur *Chaetoceros* adalah 30 ‰, sehingga nilai yang diperoleh mendekati kondisi optimal tersebut. Stabilitas salinitas yang tinggi menunjukkan konsistensi dalam pemeliharaan media kultur.

Nilai pH dalam penelitian ini yaitu 7,4 untuk kultur laboratorium dan 7,8 untuk kultur luar ruangan, berada dalam kisaran optimal 7-8. Menurut Kumar Singh *et al.* (2022) kondisi pH optimal untuk kultur *Chaetoceros* sp. berkisar 7,5-8,5, namun nilai yang diperoleh masih dalam rentang toleransi yang baik untuk pertumbuhan mikroalga. pH media kultur cenderung mengalami perubahan selama proses kultivasi karena aktivitas fotosintesis mikroalga yang mengonsumsi CO<sub>2</sub> dan melepaskan O<sub>2</sub>.

- **Intensitas Cahaya sebagai Faktor Pembatas**

Parameter intensitas cahaya menunjukkan nilai konstan 7.747 lux untuk kultur laboratorium dan bervariasi antara 4.214-7.747 lux untuk kultur luar ruangan. Secara teoretis, kultur luar ruangan dengan kisaran intensitas cahaya yang mendekati nilai optimal 2.500-4.500 lux (Maharajan *et al.*, 2020) dan seharusnya menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik. Namun, data pertumbuhan menunjukkan sebaliknya, dimana kultur laboratorium dengan intensitas cahaya tinggi namun stabil menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan kultur luar ruangan yang mengalami fluktuasi intensitas cahaya yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa konsistensi intensitas cahaya lebih penting daripada mencapai kisaran optimal yang tidak stabil. Fluktuasi intensitas cahaya yang besar dapat menyebabkan stres fisiologis, gangguan ritme fotosintesis, dan penurunan efisiensi metabolisme pada *Chaetoceros* sp. Oleh karena itu, optimalisasi kultur *Chaetoceros* sp. memerlukan

sistem pencahayaan yang stabil dan terkontrol, bahkan jika intensitas cahayanya sedikit di atas kisaran optimal.

Parameter suhu, pH, dan salinitas saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya, dimana perubahan salah satu parameter akan mempengaruhi parameter lainnya. Oleh karena itu, kontrol yang baik terhadap keseluruhan parameter kualitas air sangat penting untuk keberhasilan kultur mikroalga.

### KESIMPULAN

Kultur *Chaetoceros* sp. di laboratorium menunjukkan performa yang secara signifikan lebih unggul dengan kepadatan populasi yang lebih tinggi dan konsisten ( $3,60 \times 10^6$  sel/ml vs  $3,28 \times 10^6$  sel/ml), pertumbuhan relatif yang lebih tinggi ( $105,7 \pm 12,27$  vs  $87,1 \pm 12,44$ ), laju pertumbuhan spesifik yang lebih efisien ( $19,7 \pm 1,8\%$  vs  $16,9 \pm 2,0\%$ ), dan waktu penggandaan diri yang lebih cepat ( $3,88 \pm 0,34$  hari vs  $4,49 \pm 0,51$  hari). Penelitian ini membuktikan bahwa kontrol lingkungan yang ketat dapat mengurangi variabilitas pertumbuhan dan meningkatkan prediktabilitas hasil kultur, yang terlihat dari standar deviasi yang lebih rendah pada kultur laboratorium dan stabilitas parameter fisika-kimia yang lebih terjaga. Kedua metode kultur menunjukkan pola pertumbuhan klasik mikroorganisme dengan tiga fase distinktif dan mencapai titik optimal panen pada hari ke-3, menunjukkan pola yang dapat diprediksi dan direplikasi. Meskipun kultur laboratorium unggul dalam efisiensi teknis, kultur luar ruangan tetap memiliki keunggulan dalam hal efisiensi biaya operasional, keberlanjutan lingkungan, dan kemudahan aplikasi untuk masyarakat komunal, sehingga pemilihan metode kultur harus disesuaikan dengan tujuan akhir penggunaan dan analisis ekonomi yang komprehensif.

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan untuk menggunakan sistem kultur laboratorium dengan kontrol lingkungan yang ketat untuk tujuan penelitian dan produksi skala komersial guna memaksimalkan produktivitas dan konsistensi hasil, sementara sistem kultur luar ruangan tetap viable untuk aplikasi komunal dan budidaya skala kecil dengan pertimbangan efisiensi biaya. Optimalisasi kultur *Chaetoceros* sp. memerlukan sistem pencahayaan yang stabil dan terkontrol serta kontrol parameter kualitas air yang terintegrasi, dimana konsistensi parameter lebih penting daripada mencapai kisaran optimal yang tidak stabil. Untuk pengembangan lebih lanjut, kultur luar ruangan dapat diintegrasikan pada kegiatan produksi pakan alami dalam sistem budidaya kerang mutiara komunal, sementara penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengoptimalkan sistem yang menggabungkan keunggulan kedua metode kultur guna mencapai efisiensi teknis dan ekonomi yang optimal.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan manajemen PT Mutiara Surya Indonesia, Desa Sugian, Kabupaten Lombok Timur, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk melakukan penelitian di lokasi perusahaan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staf dan karyawan PT Mutiara Surya Indonesia yang telah membantu dalam pengumpulan data dan pelaksanaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

Arfah, Y., Cokrowati, N., & Mukhlis, A. (2019). Pengaruh konsentrasi pupuk urea terhadap pertumbuhan populasi sel *Nannochloropsis* sp. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 12(1), 45.

- <https://doi.org/10.21107/jk.v12i1.4925>
- Beardall, J. (1988). *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*. *Phycologia*, 27(1), 180–181. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-27-1-180.1>
- Carvalho, A. P., Meireles, L. A., & Malcata, F. X. (2006, November). Microalgal reactors: A review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology Progress*. <https://doi.org/10.1021/bp060065r>
- Febrinawati, N. ., Putri, B., & Hudaidah, S. (2020). Utilization waste vanamei shrimp farming (*Litopenaeus vanamei*) as a media cultur *Chaetoceros amami*. *Jurnal Perikanan Unram*, 10(1), 20–28. <https://doi.org/10.29303/jp.v10i1.199>
- Fajry, S. ., Setyowati, D.N., & Mukhlis, A. (2022). The effect of the soaking period in natural feed tatts of *Chaetoceros* sp. on the growth and viability of pearl class (*Pinctada maxima*) seeds . *Journal of Fish Health*, 2(2), 97–108. <https://doi.org/10.29303/jfh.v2i2.1473>
- Guillard, R. R. L., & Hargraves, P. E. (1993). *Stichochrysis immobilis* is a diatom, not a chrysophyte. *Phycologia*, 32(3), 234–236. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-3-234.1>
- Istiqomah, S.N., Mukhlis, A., Mulyani, L.F. (2024). Effects of stocking density on growth and survival of pearl oyster spat (*Pinctada maxima*) in laboratory rearing. *Jurnal Biologi Tropis*, 24 (2): 548 – 555. <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6853>
- Kong, F., Ran, Z., Zhang, J., Zhang, M., Wu, K., Zhang, R., ... Yan, X. (2021). Synergistic effects of temperature and light intensity on growth and physiological performance in *Chaetoceros calcitrans*. *Aquaculture Reports*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100805>
- Kumar Singh, P., Bhattacharjya, R., Kiran Marella, T., Saxena, A., Mishra, B., Savio, S., ... Tiwari, A. (2022). Production of lipids and proteins from marine diatoms under changing pH and silica. *Bioresource Technology*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127766>
- Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1996). Manual on the production and use of live food for aquaculture. *Fao Fisheries Technical Paper* (Vol. 361, pp. 1–295).
- Lee, E., Jalalizadeh, M., Zhang, Q. (2015). Growth kinetic models for microalgae cultivation: A review, *Algal Research*, 12, 497-512. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.10.004>.
- Luo, Y., Ding, Y., Jiang, X., Zeng, G., Peng, R., Han, Q., & Jiang, M. (2023). Effects of low temperature and highlight stress on lipid accumulation and cell structure of *Tropidoneis maxima*. *Journal of Basic Microbiology*, 63(10), 1139–1152. <https://doi.org/10.1002/jobm.202300092>
- Maharajan, K. K., Karthikeyan, P., Marigoudar, S. R., Sharma, K. V., & Revathi, K. (2020). Optimization of culture conditions for growth of marine phytoplankton. *Journal of Tropical Life Science*, 10(1), 79–87. <https://doi.org/10.11594/jtls.10.01.10>
- Masojidek, J., *et al.* (2022). Photosynthesis monitoring in microalgae cultures grown on municipal wastewater as a nutrient source in large-scale outdoor bioreactors. *Biology*, 11(10), 1380. <https://doi.org/10.3390/biology11101380>
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010, January). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- Mayunita, A. L., Mukhlis, A., & Mulyani, L. F. (2024). Pengaruh suhu pemeliharaan yang berbeda terhadap pertumbuhan, laju filtrasi pakan, dan kelangsungan hidup spat kerang mutiara (*Pinctada maxima*). *Journal of Fish Nutrition*, 4(2), 57–68.

- <https://doi.org/10.29303/jfn.v4i2.5231>
- Mukhlis, A., Abidin, Z., & Rahman, I. (2017). Pengaruh konsentrasi pupuk ammonium sulfat terhadap pertumbuhan populasi sel *Nannochloropsis* sp. *BioWallacea Jurnal Ilmiah Ilmu Biologi*, 3(3), 149–155.
- Mukhlis, A., Ilmi, N. K. ., Rahmatullah, S., Ilyas, A. P. ., & Dermawan, A. (2021). Accelerated growth of pearl oyster seeds (*Pinctada maxima*) using immersion method in natural feed container. *Jurnal Perikanan Unram*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.29303/jp.v11i1.224>
- Mukhlis, A., Abidin, Z., Scabra, A. R., Istiqomah, S. N., Mayunita, A. L., Ramadhan, D. A., & Auliyah, A. N. (2024a). Penyuluhan pembesaran benih kerang mutiara *Pinctada maxima* untuk mendukung minawisata dan mata pencaharian berkelanjutan bagi generasi muda di desa Sugian Kecamatan Sambelia, Lombok Timur. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(2), 701–706. <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v7i2.8291>
- Mukhlis, A., Cokrowati, N., Diamahesa, W.A., Alim, S. & Mulyani, L.F. (2024b). Edukasi teknik perendaman benih kerang mutiara *Pinctada maxima* dalam bak pakan alami untuk meningkatkan pertumbuhan benih: program pengabdian masyarakat di Desa Sugian, Lombok Timur. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(4), 1927–1936. <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v7i4.10026>
- Pulz, O., & Gross, W. (2004, November). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>
- Mirón, A. S., Gómez, A. C., Camacho, F. G., Grima, E. M., & Chisti, Y. (1999). Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae. *Progress in Industrial Microbiology*, 35(C), 249–270. [https://doi.org/10.1016/S0079-6352\(99\)80119-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6352(99)80119-2)
- Sas, A. A. A., Arshad, A., Das, S. K., Pau, S. S. N., & Cob, Z. C. (2023). Optimum temperature and salinity conditions for growth, lipid contents, and fatty acids composition of centric diatoms *Chaetoceros calcitrans* and *Thalassiosira weissflogii*. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 31(2), 689–707. <https://doi.org/10.47836/pjst.31.2.04>
- Septiani, N., Amir, S., & Mukhlis, A. (2023). The effect of the interval time immersion in the natural feed tank of *Chaetoceros simplex* on Growth and Survival Rate of Pearl Oyster (*Pinctada maxima*). *Journal of Fish Health*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.29303/jfh.v3i1.2117>
- Sopian, T., Junaidi, M., & Azhar, F. (2019). Laju pertumbuhan *Chaetoceros* sp. Pada pemeliharaan dengan pengaruh warna cahaya lampu yang berbeda. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 12(1), 36. <https://doi.org/10.21107/jk.v12i1.4873>
- Wijffels, R. H., Barbosa, M. J., & Eppink, M. H. M. (2010, May). Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. <https://doi.org/10.1002/bbb.215>
- Yu, B.S., Pyo, S., Lee, J. *et al.* (2024). Microalgae: a multifaceted catalyst for sustainable solutions in renewable energy, food security, and environmental management. *Microb Cell Fact*, 23, 308. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02588-7>