

**PENGARUH KONSENTRASI NITROGEN TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN PRODUKTIVITAS *Chaetoceros amami*
SEBAGAI PAKAN ALAMI LARVA KERANG MUTIARA**

**EFFECT OF NITROGEN CONCENTRATION ON GROWTH AND
PRODUCTIVITY OF *Chaetoceros amami* AS LIVE FEED FOR PEARL
OYSTER LARVAE**

Siti Royatunnahdiah¹, Alis Mukhlis^{1*}, Muhammad Sumsanto¹

¹Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram

email : alismukhlis@unram.ac.id

ABSTRAK

Kerang mutiara (*Pinctada maxima*) merupakan komoditas perikanan bernilai ekonomi tinggi yang keberhasilan budidayanya sangat bergantung pada ketersediaan pakan alami berkualitas pada fase larva. *Chaetoceros amami* merupakan mikroalga dari kelompok diatom yang berperan untuk mendukung pertumbuhan larva. Nitrogen merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga karena berperan fundamental dalam sintesis protein, asam nukleat, dan klorofil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi nitrogen terhadap pertumbuhan dan produktivitas *Chaetoceros amami* sebagai pakan alami larva *Pinctada maxima*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pembenihan Kerang Mutiara PT. Mutiara Surya Indonesia menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan lima perlakuan konsentrasi nitrogen (0; 2,5; 5; 7,5; 10 ppm) dan tiga ulangan. Parameter yang diamati meliputi kepadatan puncak, laju pertumbuhan relatif, dan waktu penggandaan diri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen memberikan pengaruh sangat nyata ($p < 0,05$) terhadap pertumbuhan *Chaetoceros amami*. Konsentrasi nitrogen 7,5 ppm menghasilkan rata-rata kepadatan puncak dan laju pertumbuhan relatif tertinggi dengan nilai masing-masing secara berurutan 1.985×10^3 sel/mL dan 133%, serta waktu penggandaan diri tercepat (39 jam), berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Peningkatan konsentrasi nitrogen hingga 10 ppm justru menurunkan performa pertumbuhan sebesar 31,8% akibat efek toksisitas nitrogen berlebih. Penelitian ini menyimpulkan bahwa konsentrasi nitrogen 7,5 ppm merupakan konsentrasi optimal untuk kultivasi *Chaetoceros amami* sebagai pakan alami larva kerang mutiara *Pinctada maxima*, dengan peningkatan produktivitas biomassa sebesar 43% dibandingkan kontrol.

Kata Kunci: *Chaetoceros amami*, diatom, kepadatan populasi sel, nitrogen, produktivitas

ABSTRACT

Pearl oyster (*Pinctada maxima*) is a high economic value fisheries commodity whose aquaculture success highly depends on the availability of quality live feed during the larval phase. *Chaetoceros amami* is a microalgae that plays an important role in supporting the oyster growth. Nitrogen is an important factor affecting microalgae growth as it plays a fundamental role in the synthesis of proteins, nucleic acids, and chlorophyll. This study aimed to analyze the effect of nitrogen concentration on growth and productivity of *Chaetoceros amami* as live feed for *Pinctada maxima* larvae. The research was conducted at the Pearl Oyster Hatchery Laboratory of PT. Mutiara Surya Indonesia using a Completely Randomized Design with five nitrogen concentration treatments (0; 2.5; 5; 7.5; 10 ppm) and three replications. Parameters observed included peak density, relative growth rate, and doubling time. The results showed that nitrogen concentration had a highly significant effect ($p < 0.05$) on the growth of *Chaetoceros amami*. The nitrogen concentration of 7.5 ppm resulted in the highest mean peak density and relative growth rate of $1,985 \times 10^3$ cells/mL and 133%, respectively, as well as the shortest doubling time of 39 hours, which were significantly different from other treatments. Increasing nitrogen concentration up to 10 ppm actually decreased growth performance by 31.8% due to excessive nitrogen toxicity effects. This study concluded that nitrogen concentration of 7.5 ppm is the optimal concentration for cultivating *Chaetoceros amami* as natural feed for pearl oyster *Pinctada maxima* larvae, with a 43% increase in biomass productivity compared to control.

Keywords: *Chaetoceros amami*, population cell density, diatom, nitrogen, productivity

PENDAHULUAN

Kerang mutiara (*Pinctada maxima*) merupakan salah satu komoditas perikanan bernilai ekonomi tinggi yang banyak dibudidayakan di kawasan Asia Pasifik, termasuk Indonesia. Selain menghasilkan mutiara yang memiliki nilai jual tinggi di pasar Internasional, kerang mutiara juga berperan penting dalam membuka peluang usaha di sektor budidaya laut dan berkontribusi terhadap peningkatan pendapatan masyarakat pesisir (Vasquez *et al.*, 2025). Kerang mutiara merupakan biota laut yang hampir semua bagian dari tubuhnya mempunyai nilai jual, baik mutiara, cangkang, daging dan organisme tiram itu sendiri (benih maupun induk). Namun keberhasilan budidaya kerang mutiara sangat ditentukan oleh tahap awal kehidupannya terutama pada fase larva yang merupakan fase yang sangat rentan terhadap perubahan lingkungan dan kualitas pakan (Mukhlis *et al.*, 2021; Janah *et al.*, 2025).

Pakan alami merupakan unsur terpenting dalam menunjang pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme yang dibudidaya khususnya pada fase larva atau benih. Larva organisme laut seperti kerang mutiara (*Pinctada maxima*) memiliki kebutuhan nutrisi yang tinggi dan spesifik untuk menunjang pertumbuhan, perkembangan dan kelangsungan hidupnya (Venter *et al.*, 2025). Salah satu jenis pakan alami yang umum digunakan di hatchery adalah fitoplankton, khususnya dari kelompok diatom seperti *Chaetoceros* yang sudah berhasil dikultur dan umum dibudidayakan (Prasetyo *et al.*, 2022; Haque *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025).

Chaetoceros amami merupakan salah satu spesies mikroalga dari kelompok diatom yang dikenal memiliki peran penting dalam akuakultur, khususnya sebagai pakan alami bagi larva organisme laut, termasuk larva kerang mutiara (*Pinctada*

maxima). Mikroalga ini memiliki keunggulan berupa laju pertumbuhan yang relatif cepat, ukuran sel yang sesuai untuk pakan larva, serta kandungan nutrisi yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan larva, seperti protein, karbohidrat dan asam lemak tak jenuh (PUFA) (Kurpan *et al.*, 2025). Dalam budidaya larva kerang mutiara, kualitas dan kuantitas pakan alami seperti *C. amami* sangat menentukan tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan larva (Haque *et al.*, 2025). Oleh karena itu, optimasi kondisi pertumbuhan mikroalga ini menjadi kunci utama dalam mendukung keberhasilan budidaya (Ramadhan *et al.*, 2024; Alamsjah *et al.*, 2024).

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga adalah ketersediaan nutrisi, khususnya nitrogen (N). Nitrogen berperan fundamental dalam pertumbuhan diatom dan kualitas nutrisi fitoplankton. Variasi konsentrasi nitrogen dapat memodulasi komposisi asam lemak dalam fitoplankton, yang selanjutnya berdampak langsung pada kualitas nutrisi pakan untuk organisme konsumen (Dammak *et al.*, 2024). Konsentrasi nitrogen dapat secara signifikan mempengaruhi produksi asam lemak tidak jenuh rantai panjang (PUFA), khususnya eicosapentaenoic acid (EPA) dan docosahexaenoic acid (DHA). Perubahan komposisi PUFA dapat mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan perkembangan larva kerang (Okcu, 2019; Gurr *et al.*, 2025). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi nitrogen terhadap pertumbuhan *Chaetoceros amami* dan implikasinya pada pertumbuhan larva kerang mutiara (*Pinctada maxima*).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Juli-September 2025 di Laboratorium Pembenihan Kerang Mutiara PT. Mutiara Surya Indonesia, Desa Sugian, Kecamatan Sambelia, Lombok Timur, NTB (8°24'S, 116°38'E).

Alat dan Bahan

Peralatan penelitian meliputi toples plastik 5 L, sistem aerasi, lampu neon 40 watt, mikroskop binokuler (100-400×), *haemocytometer* Neubauer Improved (kedalaman 0,1 mm), *hand counter* digital, pipet mikro (100-1000 µL), labu ukur, timbangan analitik (0,0001 g), botol gelap, DO meter, pH meter, refraktometer optik, termometer batang, dan *luxmeter* digital (Lutron LX-101A).

Bahan penelitian terdiri dari bibit *Chaetoceros amami* dari kultur stok laboratorium, air laut steril (salinitas 29±1 ppt), pupuk urea (CO(NH₂)₂, 46% N), MKP (52% P₂O₅ dan 34% K₂O), KCl (60% K₂O), Sodium Metasilicate Nonahydrate (Na₂SiO₃·9H₂O) dengan kandungan SiO₂ sebanyak 21,1%, vitamin B₁ (C₁₂H₁₇ClN₄OS·HCl), vitamin B₁₂ (C₆₃H₈₈CoN₁₄O₁₄P), alkohol 70%, dan akuades.

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 5 perlakuan konsentrasi nitrogen dan 3 ulangan (15 unit percobaan): A (0 ppm N/kontrol), B (2,5 ppm N), C (5 ppm N), D (7,5 ppm N), dan E (10 ppm N). Kisaran konsentrasi didasarkan pada penelitian pendahuluan dan literatur kebutuhan nitrogen optimal diatom laut (Abdelhay *et al.*, 2025; Katayama *et al.*, 2022). Variabel kontrol dijaga konstan: fosfor 1 ppm, kalium 3 ppm, silikat 15 ppm SiO₂, vitamin B₁ dan B₁₂ dengan konsentrasi masing-masing 150 µg/L dan 0,75 µg/L, volume media 3 L, kepadatan

awal 850.000 sel/mL, suhu 28-30°C, salinitas 29±1 ppt, pH 7,5-8,5, intensitas cahaya 4.000-5.000 lux dengan fotoperiode 24:0 jam (terang:gelap).

Prosedur Penelitian

Sterilisasi dan Preparasi Media

Toples plastik 5 L (15 unit) dicuci dengan deterjen, dibilas air tawar dan air laut steril, kemudian disterilkan dalam air mendidih (100°C) selama 15 menit bersama peralatan aerasi (Sales *et al.*, 2022). Air laut salinitas 29 ppt disaring menggunakan *plankton net* 60 µm, direbus 30 menit untuk sterilisasi termal untuk menghindari presipitasi mineral yang dapat terjadi pada autoklaf, kemudian didinginkan hingga suhu ruang (28-30°C).

Pembuatan Larutan Stok

Larutan stok fosfor-kalium dibuat dengan melarutkan MKP (880 mg) dan KCl (707 mg) dalam 200 mL air laut steril. Larutan stok nitrogen dibuat terpisah dengan melarutkan urea (4.438 mg; setara dengan 2.041 mg N atau 46% N dari berat urea) dalam 200 mL air laut steril, dengan volume aplikasi bervariasi sesuai perlakuan menggunakan rumus pengenceran. Pemisahan stok nitrogen-fosfor mencegah presipitasi akibat reaksi kimia antar komponen (Moschonas *et al.*, 2017). Sebanyak 28,4 gram Sodium Metasilicate Nonahydrate dilarutkan dalam 200 mL air laut steril untuk mendapatkan konsentrasi stok 30.000 ppm SiO₂. Vitamin B₁ (15 mg) dan vitamin B₁₂ (75 µg) digerus pada mortar dan dilarutkan dalam 50 mL air laut steril menghasilkan konsentrasi stok B₁ (tiamin) 300 µg/mL dan B₁ (sianokobalamin) 1,5 µg/mL. Semua stok disimpan dalam botol gelap pada suhu ruang (nutrien) atau 4°C (vitamin) dengan masa pakai maksimal 7 hari.

Persiapan Bibit dan Inokulasi

Bibit *Chaetoceros amami* dipanen dari kultur stok fase eksponensial akhir (hari ke-4) untuk memastikan viabilitas tinggi dan laju pertumbuhan maksimal (Melchor-Martínez *et al.*, 2025). Kepadatan bibit diukur menggunakan *haemocytometer* dengan menghitung 5 kotak besar (masing-masing 1 mm²). Air media steril (2 L) diisikan ke toples berlabel, kemudian ditambahkan nutrien secara bertahap: (1) silikat 0,5 mL/L (15 ppm SiO₂) (2) MKP-KCl 1 mL/L, (3) campuran vitamin B₁ dan B₁₂ sebanyak 0,5 mL/L (150 µg vit. B₁/L dan 0,75 µg vit. B₁₂/L), dan (4) urea sesuai perlakuan (A=0 mL; B=0,75 mL; C=1,50 mL; D=2,25 mL; E=3,00 mL). Setiap penambahan diikuti pengadukan lembut untuk distribusi homogen. Bibit ditebar dengan kepadatan awal 850.000 sel/mL menggunakan perhitungan: Volume bibit (mL) = (Kepadatan target × Volume kultur) / Kepadatan stok bibit. Air media ditambahkan hingga volume total 3 L, kemudian aerasi dihidupkan dengan intensitas rendah-sedang (3-5 gelembung/detik) untuk penyediaan CO₂ dan sirkulasi tanpa stres mekanik (Dewi *et al.*, 2023).

Pengukuran dan Pengamatan

Kepadatan sel dihitung setiap 24 jam (pukul 08.00 WITA) menggunakan *haemocytometer* pada pembesaran 400×. Prosedur: kultur diaduk homogen, sampel 1 mL diambil, diencerkan 10× jika kepadatan >500.000 sel/mL, kemudian dihitung pada minimal 5 kotak diagonal. Sel pada garis batas dihitung hanya di sisi kiri dan atas. Kepadatan dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kepadatan sel (sel/mL)} = (\sum n/V) \times \text{FP} \times 10^4 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

Σn = total sel terhitung;

V = jumlah kotak dihitung;

FP = faktor pengenceran;

10^4 = faktor konversi volume *haemocytometer*.

Parameter kualitas air (suhu, salinitas, pH, intensitas cahaya) diukur bersamaan dengan kepadatan sel menggunakan termometer batang, refraktometer, pH meter terkalibrasi (buffer pH 4,0; 7,0; 10,0), dan *luxmeter* pada jarak tetap antara toples dan lampu.

Parameter yang Diamati

Kepadatan Puncak (sel/mL), yaitu kepadatan tertinggi selama periode kultur, menunjukkan daya dukung media media dan efektivitas konsentrasi nitrogen.

Laju Pertumbuhan Relatif (LPR, %), yaitu persentase peningkatan kepadatan dari awal hingga akhir, mencerminkan efisiensi pemanfaatan nutrisi (Mukhlis *et al.*, 2017):

$$\text{LPR (\%)} = (C_t - C_0) / C_0 \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

C_0 = kepadatan sel awal periode pengamatan (sel/mL)

C_t = kepadatan sel akhir periode pengamatan atau kepadatan puncak (sel/mL).

Waktu Penggandaan Diri (WPD, jam), yaitu waktu populasi menggandakan diri, menunjukkan kecepatan pembelahan sel (Mukhlis *et al.*, 2017):

$$\text{WPD (jam)} = (\log 2 \times \Delta t) / (\log C_t - \log C_0) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Δt = lama waktu periode pengamatan dari C_0 ke C_t (jam)

$\log 2$ = konstanta penggandaan (0,301)

Analisis Data

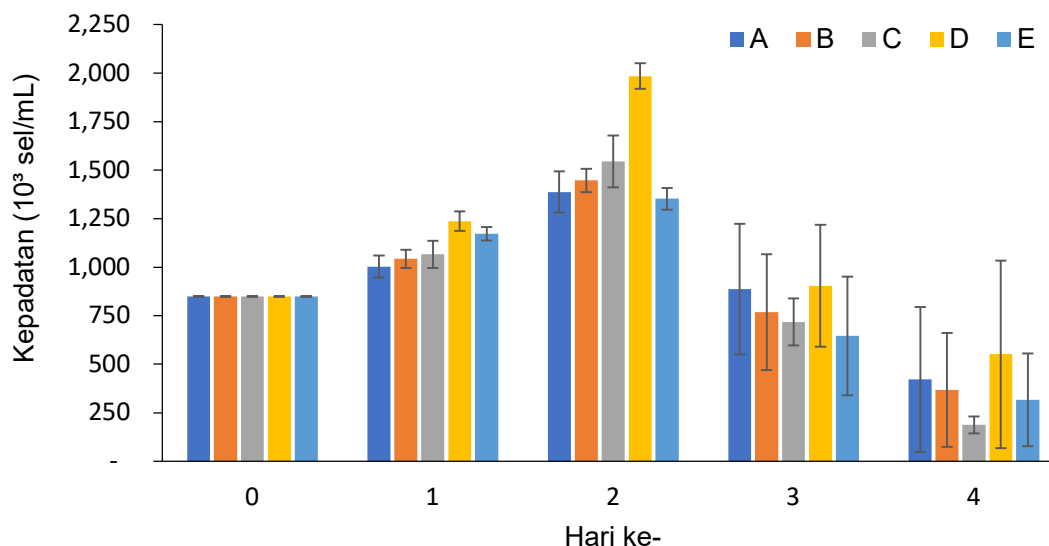
Data ditabulasi menggunakan Microsoft Excel 2019. Kurva pertumbuhan dibuat dengan memplot kepadatan sel terhadap waktu untuk identifikasi fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian. Data kepadatan puncak, LPR, dan WPD dianalisis menggunakan ANOVA satu arah ($\alpha=0,05$). Jika signifikan ($p<0,05$), dilanjutkan uji BNT 5% untuk membandingkan antar perlakuan. Data disajikan sebagai rata-rata $\pm$ standar deviasi ($n=3$) dan divisualisasikan menggunakan Microsoft Excel 2019.

HASIL

Dinamika Kepadatan Populasi *Chaetoceros amami*

Dinamika pertumbuhan *Chaetoceros amami* selama periode kultur menunjukkan pola pertumbuhan khas mikroalga dengan empat fase berbeda (Gambar 1). Seluruh perlakuan memiliki kepadatan awal seragam sebesar 850×10^3 sel/mL pada hari ke-0. Fase lag berlangsung singkat (0-24 jam) dengan kepadatan

berkisar $900\text{--}1.200 \times 10^3$ sel/mL, mengindikasikan periode adaptasi sel terhadap kondisi kultur baru.



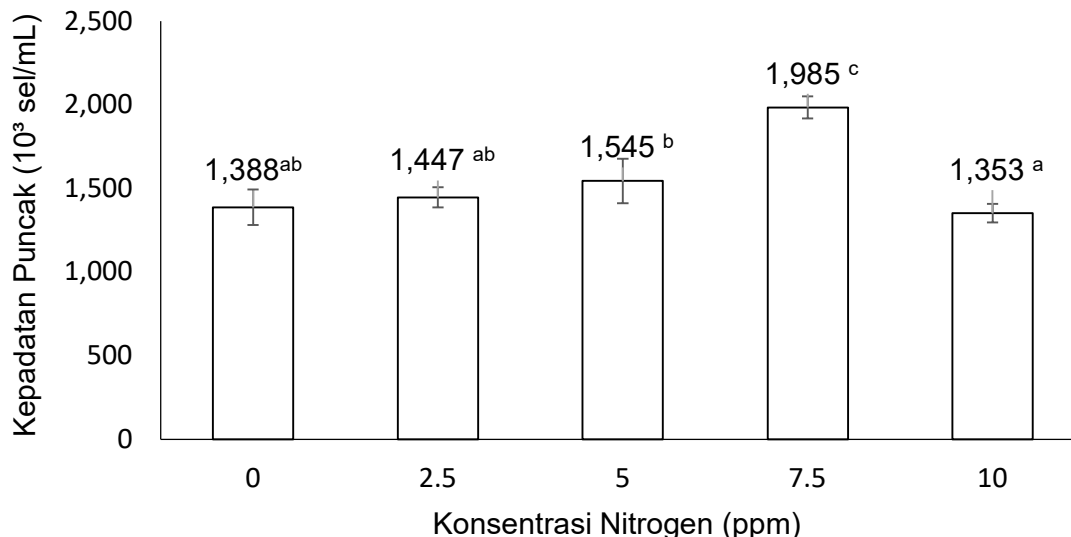
Gambar 1. Dinamika kepadatan populasi *Chaetoceros amami* selama periode kultur pada berbagai konsentrasi nitrogen. A = 0 ppm N (kontrol); B = 2,5 ppm N; C = 5 ppm N; D = 7,5 ppm N; E = 10 ppm N. Data merupakan rata-rata dari tiga ulangan $\pm$ standar deviasi.

Fase eksponensial terjadi pada 24-48 jam dengan peningkatan kepadatan yang sangat pesat. Perlakuan D (7,5 ppm N) menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi dan mencapai kepadatan puncak 1.985×10^3 sel/mL pada hari ke-2, diikuti secara berurutan oleh perlakuan C (1.545×10^3 sel/mL), B (1.447×10^3 sel/mL), A (1.388×10^3 sel/mL), dan E (1.353×10^3 sel/mL). Pola pertumbuhan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi nitrogen hingga 7,5 ppm meningkatkan kepadatan sel secara progresif, namun konsentrasi lebih tinggi (10 ppm) justru menurunkan performa pertumbuhan.

Fase stasioner berlangsung singkat pada akhir hari ke-2, yang segera diikuti oleh fase kematian mulai hari ke-3. Penurunan kepadatan sel terjadi secara drastis pada semua perlakuan, dengan kepadatan menurun menjadi $600\text{--}900 \times 10^3$ sel/mL pada hari ke-3 dan $300\text{--}500 \times 10^3$ sel/mL pada hari ke-4. Penurunan ini mengindikasikan deplesi nutrisi dalam media kultur dan akumulasi metabolit sekunder yang menghambat pertumbuhan.

Kepadatan Puncak *Chaetoceros amami*

Analisis statistik menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen memberikan pengaruh nyata terhadap kepadatan puncak *Chaetoceros amami* ($p < 0,05$). Perlakuan D (7,5 ppm N) menghasilkan kepadatan puncak tertinggi sebesar 1.985×10^3 sel/mL, meningkat 43% dibandingkan Perlakuan A sebagai kontrol (Gambar 2). Uji lanjut BNT 5% menunjukkan bahwa perlakuan D berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya ($p < 0,05$).



Gambar 2. Kepadatan puncak *Chaetoceros amami* pada berbagai konsentrasi nitrogen. Huruf superskrip berbeda menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($p < 0,05$) berdasarkan uji BNT. Bar error menunjukkan standar deviasi ($n=3$).

Terdapat peningkatan kepadatan puncak yang konsisten dari perlakuan A hingga D, dengan persentase peningkatan berturut-turut sebesar 4,2% (A ke B), 6,8% (B ke C), dan 28,5% (C ke D). Namun, peningkatan konsentrasi nitrogen lebih lanjut hingga 10 ppm (perlakuan E) justru menurunkan kepadatan puncak sebesar 31,8% dibandingkan perlakuan D. Fenomena ini mengindikasikan adanya ambang batas konsentrasi nitrogen optimal, dimana konsentrasi berlebih menimbulkan efek inhibisi pertumbuhan.

Laju Pertumbuhan Relatif (LPR)

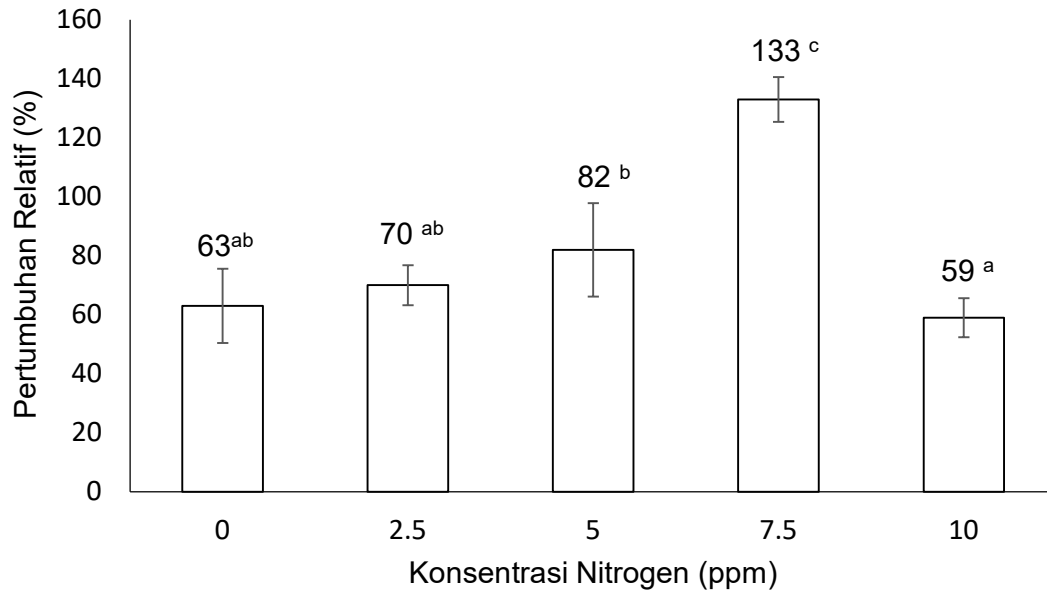
Konsentrasi nitrogen berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan relatif *Chaetoceros amami* ($p < 0,05$). Perlakuan D (7,5 ppm N) menunjukkan LPR tertinggi sebesar 133%, meningkat 111% dibandingkan kontrol (Gambar 3). Berdasarkan uji BNT 5%, perlakuan D berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya, mengindikasikan efisiensi pemanfaatan nitrogen yang optimal pada konsentrasi tersebut.

Pola LPR menunjukkan hubungan positif dengan konsentrasi nitrogen hingga 7,5 ppm, dengan peningkatan berturut-turut sebesar 11,1% (A ke B), 17,1% (B ke C), dan 62,7% (C ke D). Namun, LPR pada perlakuan E (10 ppm N) mengalami penurunan drastis menjadi 59%, bahkan lebih rendah 6,3% dibandingkan kontrol. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa konsentrasi nitrogen berlebih bersifat toksik dan mengganggu metabolisme sel mikroalga.

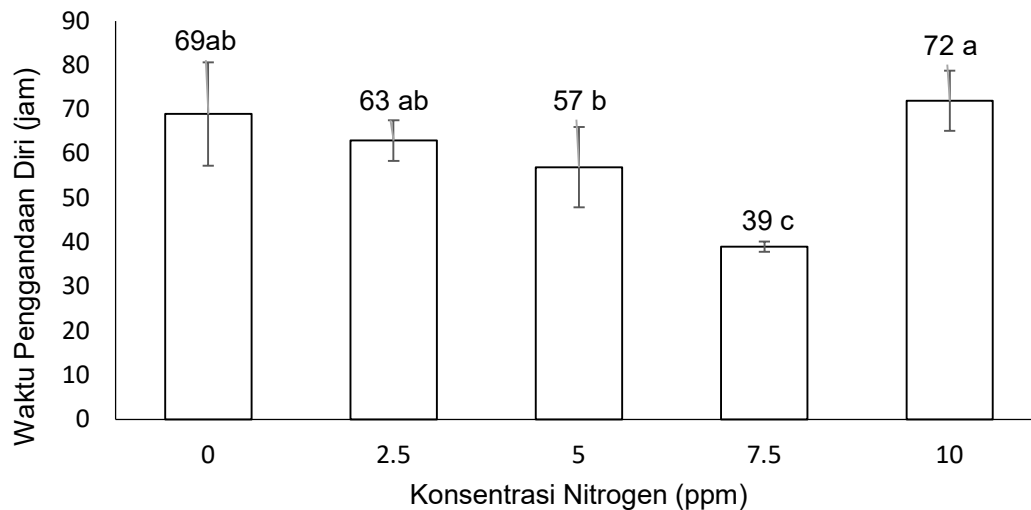
Waktu Penggandaan Diri (WPD)

Waktu penggandaan diri *Chaetoceros amami* dipengaruhi secara nyata oleh konsentrasi nitrogen ($p < 0,05$). Perlakuan D (7,5 ppm N) menghasilkan waktu penggandaan tercepat sebesar 39 jam, 43,5% lebih cepat dibandingkan kontrol

(Gambar 4). Uji BNT 5% menunjukkan bahwa perlakuan D berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya.



Gambar 3. Laju pertumbuhan relatif *Chaetoceros amami* pada berbagai konsentrasi nitrogen. Huruf superskrip berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$) berdasarkan uji BNT. Bar error menunjukkan standar deviasi ($n=3$).



Gambar 4. Waktu pengandaan diri (WPD) *Chaetoceros amami* pada berbagai konsentrasi nitrogen. Huruf superskrip berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$) berdasarkan uji BNT. Bar error menunjukkan standar deviasi ($n=3$).

Waktu pengandaan menunjukkan pola berbanding terbalik dengan kepadatan puncak dan parameter pertumbuhan. Peningkatan konsentrasi nitrogen hingga 7,5

ppm mempercepat waktu penggandaan secara progresif, dengan penurunan berturut-turut sebesar 8,7% (A ke B), 9,5% (B ke C), dan 31,6% (C ke D). Sebaliknya, perlakuan E (10 ppm N) menunjukkan waktu penggandaan terlama (72 jam), mengindikasikan hambatan dalam siklus pembelahan sel akibat toksisitas nitrogen berlebih.

Kualitas Air Selama Periode Kultur

Hasil pengukuran parameter kualitas air menunjukkan kondisi lingkungan kultur berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan *Chaetoceros amami* (Tabel 1). Suhu air konsisten pada $28 \pm 0,5^\circ\text{C}$, salinitas 29 ± 1 ppt, pH $8,5 \pm 0,3$, dan intensitas cahaya 5.450 ± 250 lux. Stabilitas parameter kualitas air ini mengkonfirmasi bahwa perbedaan pertumbuhan yang diamati antar perlakuan murni disebabkan oleh variasi konsentrasi nitrogen sebagai variabel bebas yang diuji, bukan oleh faktor lingkungan lain yang tidak terkontrol.

Tabel 1. Parameter kualitas air selama periode kultur *Chaetoceros amami*

No	Parameter	Nilai Terukur	Kisaran Optimal	Referensi
1	Suhu ($^\circ\text{C}$)	$28 \pm 0,5$	28-30	Dewi <i>et al.</i> (2023)
2	Salinitas (ppt)	29 ± 1	25-35	Mukti (2018)
3	pH	$8,5 \pm 0,3$	7-9	Dewi <i>et al.</i> (2023)
4	Intensitas cahaya (lux)	5.450 ± 250	500-10.000	Mukti (2018)

Keterangan: Data merupakan rata-rata dari pengukuran harian selama periode kultur $\pm$ standar deviasi.

PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi Nitrogen Terhadap Kepadatan Populasi dan Kepadatan Puncak *Chaetoceros amami*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen memberikan pengaruh sangat nyata terhadap dinamika pertumbuhan *Chaetoceros amami*, dengan kepadatan puncak tertinggi dicapai pada konsentrasi 7,5 ppm N (1.985×10^3 sel/mL). Temuan ini sejalan dengan penelitian Abdelhay *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa nitrogen merupakan faktor kunci dalam mengoptimalkan pertumbuhan dan komposisi biokimia diatom *Chaetoceros calcitrans* dan *Thalassiosira weissflogii*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa ammonium nitrat secara signifikan meningkatkan kandungan protein dan lipid dibandingkan dengan sumber nitrogen lain seperti urea dan potassium nitrat.

Pola pertumbuhan *Chaetoceros amami* menunjukkan empat fase khas: fase lag (0-24 jam), fase eksponensial (24-48 jam), fase stasioner (akhir 48 jam), dan fase kematian (>72 jam). Fase lag yang relatif singkat mengindikasikan kemampuan adaptasi yang baik terhadap kondisi kultur baru, dimana sel mengalami perubahan fisiologis untuk menyesuaikan aktivitas metabolisme dengan lingkungan baru. Melchor-Martínez *et al.* (2025) menjelaskan bahwa fase lag yang singkat merupakan indikator positif untuk aplikasi mikroalga dalam akuakultur, karena mempercepat pencapaian kepadatan optimal untuk pemanenan.

Fase eksponensial yang berlangsung cepat (24 jam) pada perlakuan optimal (7,5 ppm N) mengindikasikan bahwa konsentrasi nitrogen tersebut mampu mendukung laju fotosintesis dan sintesis biomassa secara maksimal. Nitrogen berperan fundamental dalam sintesis protein, asam nukleat (DNA dan RNA), klorofil, dan enzim-enzim yang terlibat dalam jalur metabolisme utama (Katayama *et al.*,

2022). Pada konsentrasi optimal, nitrogen tersedia dalam jumlah yang cukup untuk mendukung replikasi DNA dan pembelahan sel tanpa menimbulkan efek toksisitas.

Penurunan kepadatan puncak pada perlakuan 10 ppm N (1.353×10^3 sel/mL) mengkonfirmasi adanya efek inhibisi dari nitrogen berlebih. Fenomena serupa dilaporkan oleh Gao *et al.* (2015) yang menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen berlebih dapat menyebabkan ketidakseimbangan rasio C:N:P dan akumulasi ammonia dalam bentuk tidak terionisasi (NH_3) yang bersifat toksik terhadap sel mikroalga. Ammonia berlebih dapat mengganggu fungsi membran sel, menginduksi stres oksidatif, dan menghambat aktivitas enzim-enzim fotosintesis.

Optimasi Konsentrasi Nitrogen dan Implikasinya Terhadap Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan relatif tertinggi pada perlakuan 7,5 ppm N (133%) dan waktu penggandaan tercepat (39 jam) mengindikasikan efisiensi metabolisme sel yang optimal pada konsentrasi tersebut. Temuan ini konsisten dengan penelitian Abdelhay *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa pakan campuran *Chaetoceros calcitrans* dan *Thalassiosira weissflogii* yang diperkaya dengan ammonium nitrat secara signifikan meningkatkan performa pertumbuhan dan menurunkan tingkat mortalitas larva udang *Litopenaeus vannamei*.

Hubungan antara konsentrasi nitrogen dengan laju pertumbuhan menunjukkan pola non-linear dengan titik optimum pada 7,5 ppm. Peningkatan konsentrasi dari 0 ppm ke 7,5 ppm meningkatkan LPR sebesar 111%, mengindikasikan respons positif yang kuat terhadap penambahan nitrogen. Namun, peningkatan lebih lanjut ke 10 ppm justru menurunkan LPR menjadi 59%, bahkan lebih rendah dari kontrol. Okcu (2019) menjelaskan bahwa baik defisiensi (*nitrogen starvation*) maupun kelebihan nitrogen (*nitrogen excess*) keduanya mengganggu homeostasis seluler melalui mekanisme yang berbeda dimana defisiensi nitrogen menyebabkan penurunan sintesis protein dan klorofil akibat kurangnya substrat, sementara kelebihan nitrogen menginduksi stres oksidatif dan toksisitas ammonia.

Waktu penggandaan diri yang berbeda antar perlakuan mencerminkan efisiensi siklus sel mikroalga. Pada konsentrasi optimal (7,5 ppm N), sel dapat menyelesaikan fase G1, S, G2, dan M dengan cepat karena semua substrat yang diperlukan untuk replikasi DNA dan sintesis protein tersedia dalam proporsi seimbang. Sebaliknya, waktu penggandaan yang lebih lama pada perlakuan defisiensi nitrogen (0 ppm) mengindikasikan penundaan dalam fase G1 dan S, dimana sel memerlukan waktu lebih lama untuk mengakumulasi komponen seluler yang diperlukan sebelum dapat melakukan pembelahan (Li *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2020).

Pengaruh Konsentrasi Nitrogen Terhadap Kualitas Nutrisi *Chaetoceros amami* untuk Pakan Larva Kerang Mutiara

Meskipun penelitian ini tidak mengukur secara langsung komposisi biokimia *Chaetoceros amami*, kajian literatur menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen berpengaruh signifikan terhadap kualitas nutrisi mikroalga ($p < 0,05$), khususnya kandungan asam lemak tidak jenuh ganda (PUFA). Abdelhay *et al.* (2025) melaporkan bahwa *Chaetoceros calcitrans* yang dikultur dengan ammonium nitrat menghasilkan kandungan protein (41,2%) dan lipid (18,7%) yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber nitrogen lain, serta meningkatkan kandungan eicosapentaenoic acid (EPA) yang merupakan asam lemak esensial untuk pertumbuhan larva akuatik.

Katayama *et al.* (2022) dalam penelitiannya tentang *Thalassiosira weissflogii* strain TRG10-p105 menunjukkan bahwa optimasi sumber nitrogen dapat meningkatkan kandungan EPA hingga 21,4% dari total asam lemak dan kandungan

karotenoid total hingga 20,2 mg/g berat kering. EPA memiliki peran krusial dalam perkembangan sistem saraf, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup larva bivalvia (Parrish, 2024). Kandungan EPA yang tinggi dalam *Chaetoceros* menjadikannya pakan alami yang superior dibandingkan dengan mikroalga lain untuk larva kerang mutiara. Lebih lanjut, Pereto *et al.* (2025) dalam penelitiannya terhadap *Chaetoceros calcitrans* dan *Chaetoceros tenuissimus* menunjukkan bahwa cahaya dan konsentrasi nitrogen secara sinergis mempengaruhi komposisi asam lemak. Penelitian tersebut menemukan bahwa *Chaetoceros tenuissimus* memiliki kandungan DHA (docosahexaenoic acid) yang lebih tinggi dengan rasio DHA:EPA yang lebih seimbang dibandingkan *Chaetoceros calcitrans*. Rasio DHA:EPA yang seimbang sangat penting untuk optimasi pertumbuhan dan perkembangan larva bivalvia (Vogeler *et al.*, 2022).

Penelitian Acharjee *et al.* (2025) pada *Crassostrea belcheri* menunjukkan bahwa pakan campuran *Chaetoceros gracilis* dan *Tetraselmis chuii* menghasilkan aktivitas enzim lipase dan pepsin yang lebih tinggi serta meningkatkan kelangsungan hidup tiram. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas nutrisi mikroalga, yang dipengaruhi oleh konsentrasi nitrogen selama kultivasi, secara langsung berdampak pada performa fisiologis organisme konsumen. Pakan yang kaya akan EPA dari *Chaetoceros* dapat meningkatkan efisiensi pencernaan dan penyerapan nutrisi pada larva kerang mutiara.

Komposisi Biokimia dan Asam Lemak *Chaetoceros* dalam Konteks Budidaya Larva

Komposisi asam lemak *Chaetoceros* sangat dipengaruhi oleh konsentrasi nitrogen dalam media kultur. Ma & Hu (2023) dalam review komprehensif mereka mengenai mikroalga sebagai pakan akuakultur menjelaskan bahwa defisiensi nitrogen cenderung meningkatkan akumulasi lipid netral (triacylglycerols) namun menurunkan kandungan lipid membran (phospholipids) yang kaya akan PUFA. Sebaliknya, kecukupan nitrogen mendukung sintesis phospholipids yang mengandung EPA dan DHA tinggi, yang lebih penting untuk nutrisi larva dibandingkan lipid netral.

Penelitian Lora-Vilchis *et al.* (2025) mengidentifikasi profil asam lemak dari delapan strain diatom termasuk genus *Chaetoceros*, menunjukkan bahwa *palmitic acid* (C16:0), *linolenic acid* (C18:3n3), dan EPA (C20:5n3) merupakan asam lemak dominan. Penelitian tersebut mengkonfirmasi bahwa *Chaetoceros muelleri* memiliki kandungan PUFA yang tinggi dan profil asam lemak yang sesuai untuk pakan larva bivalvia. Temuan ini mendukung penggunaan *Chaetoceros amami* sebagai pakan alami untuk larva *Pinctada maxima*, mengingat kedekatan karakteristik antar spesies dalam genus yang sama.

Jordan *et al.* (2025a) dalam penelitiannya tentang nutrisi larva *Perna canaliculus* menunjukkan bahwa kandungan EPA dalam pakan mikroalga berkorelasi positif dengan laju pertumbuhan dan kondisi nutrisi larva. Larva yang diberi pakan dengan kandungan EPA tinggi menunjukkan akumulasi lipid hingga 30% lebih tinggi dan peningkatan kandungan karbohidrat hingga 3,5 kali lipat dibandingkan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa optimasi konsentrasi nitrogen dalam kultivasi *Chaetoceros amami* tidak hanya meningkatkan produktivitas biomassa tetapi juga kualitas nutrisi yang berdampak langsung pada performa larva konsumen. Lebih lanjut, Kallau & Yang (2025) mengembangkan metodologi kuantifikasi lipid total dalam mikroalga akuakultur menggunakan pewarnaan BODIPY™ 505/515 dan flow cytometry. Penelitian mereka menunjukkan bahwa akumulasi lipid total dalam *Chaetoceros muelleri*, *Tetraselmis suecica*, dan *Tisochrysis lutea* bervariasi tergantung pada tahap pertumbuhan, dengan akumulasi tertinggi pada fase stasioner.

Temuan ini mengindikasikan pentingnya timing pemanenan untuk mengoptimalkan kandungan nutrisi *Chaetoceros amami* sebagai pakan larva.

Implikasi Praktis untuk Budidaya Larva *Pinctada maxima*

Keberhasilan budidaya larva kerang mutiara sangat bergantung pada ketersediaan pakan alami berkualitas tinggi pada fase kritis perkembangan. Lovegrove *et al.* (2025) dalam penelitiannya pada *Magallana gigas* menunjukkan bahwa *Isochrysis galbana* meningkatkan biomassa dan ekspresi gen nacrein yang terlibat dalam biomineralisasi. Namun, *Chaetoceros* memiliki keunggulan komplementer dalam hal kandungan EPA yang lebih tinggi. Oleh karena itu, strategi pemberian pakan yang mengkombinasikan *Chaetoceros amami* dengan mikroalga lain dapat mengoptimalkan pertumbuhan dan perkembangan cangkang larva kerang mutiara.

Sun *et al.* (2025) dalam penelitiannya pada larva *Ruditapes philippinarum* menunjukkan bahwa pakan campuran *Isochrysis galbana*, *Streptotheca thamesis*, dan *Chaetoceros gracilis* memberikan hasil terbaik dalam hal efisiensi makan, laju pertumbuhan, dan komposisi biokimia. Penelitian tersebut mengkonfirmasi bahwa *Chaetoceros* berperan penting dalam menyediakan EPA yang esensial, sementara mikroalga lain menyediakan DHA dan nutrisi komplementer lainnya. Strategi pemberian pakan campuran ini dapat diadopsi untuk larva *Pinctada maxima* dengan mengoptimalkan kultivasi *Chaetoceros amami* pada konsentrasi nitrogen 7,5 ppm untuk memaksimalkan kandungan EPA.

Li *et al.* (2025) menunjukkan bahwa pakan campuran yang mengandung *Isochrysis galbana* dan *Chlorella vulgaris* meningkatkan metabolisme glutamat dan mempercepat pertumbuhan larva tiram Pasifik. Penelitian tersebut mengindikasikan bahwa optimasi nutrisi pakan, termasuk kandungan asam amino dan asam lemak esensial, dapat memodulasi jalur metabolisme penting yang mendukung pertumbuhan larva. Temuan ini memperkuat pentingnya mengoptimalkan kualitas nutrisi *Chaetoceros amami* melalui pengaturan konsentrasi nitrogen yang tepat.

Peran Parameter Kualitas Air dalam Mendukung Pertumbuhan Optimal

Stabilitas parameter kualitas air selama penelitian (suhu $28 \pm 0,5^\circ\text{C}$, salinitas 29 ± 1 ppt, pH $8,5 \pm 0,3$, dan intensitas cahaya 5.450 ± 250 lux) memastikan bahwa perbedaan pertumbuhan yang diamati murni disebabkan oleh variasi konsentrasi nitrogen. Moschonas *et al.* (2017) menjelaskan bahwa interaksi antara nitrogen, suhu, dan cahaya sangat mempengaruhi struktur komunitas fitoplankton dan produktivitas primer. Suhu optimal ($28-30^\circ\text{C}$) memungkinkan aktivitas enzim fotosintesis dan respirasi bekerja pada efisiensi maksimum, sementara intensitas cahaya yang cukup mendukung laju fotosintesis tanpa menyebabkan fotoinhibisi.

pH yang sedikit basa (8,5) mendukung ketersediaan ion bikarbonat (HCO_3^-) sebagai sumber karbon anorganik untuk fotosintesis. Pada pH ini, keseimbangan antara CO_2 , HCO_3^- , dan CO_3^{2-} mengoptimalkan ketersediaan karbon untuk fiksasi oleh enzim RuBisCO dalam siklus Calvin. Salinitas 29 ppt berada dalam kisaran optimal untuk *Chaetoceros* yang merupakan diatom laut, memungkinkan sel mempertahankan tekanan turgor yang stabil tanpa memerlukan energi berlebih untuk osmoregulasi (Mukti, 2018).

Prospek Aplikasi untuk Pembenihan Kerang Mutiara

Temuan bahwa konsentrasi nitrogen 7,5 ppm menghasilkan kepadatan puncak tertinggi (1.985×10^3 sel/mL) dengan waktu penggandaan tercepat (39 jam) memiliki

implikasi praktis penting untuk produksi pakan alami di pembenihan kerang mutiara. Produktivitas kultur yang tinggi berarti efisiensi produksi yang lebih baik dalam hal waktu, ruang, dan biaya operasional. Sales *et al.* (2022) menjelaskan bahwa optimasi kultur mikroalga merupakan kunci untuk mengurangi ketergantungan pada kultur segar yang memerlukan tenaga kerja dan ruang laboratorium yang besar.

Penggunaan konsentrasi nitrogen optimal juga dapat meningkatkan konsistensi kualitas pakan alami, yang merupakan faktor kritis dalam keberhasilan pembenihan. Variabilitas kualitas pakan sering menjadi penyebab utama fluktuasi kelangsungan hidup larva dalam skala komersial (Mukhlis *et al.*, 2021). Dengan mengontrol konsentrasi nitrogen pada level optimal, pembenihan dapat memastikan produksi *Chaetoceros amami* dengan kandungan EPA konsisten yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan larva kerang mutiara secara optimal.

Jordan *et al.* (2025b) menunjukkan bahwa suplementasi nutrisi terlarut seperti glukosa dapat mengurangi ketergantungan pada mikroalga hidup dalam pembenihan bivalvia. Namun, mikroalga tetap menjadi sumber esensial EPA dan DHA yang tidak dapat digantikan oleh nutrisi terlarut sederhana. Oleh karena itu, strategi hybrid yang mengkombinasikan mikroalga berkualitas tinggi (seperti *Chaetoceros amami* yang dikultur pada konsentrasi nitrogen optimal) dengan suplementasi nutrisi terlarut dapat menjadi pendekatan yang efisien untuk produksi larva kerang mutiara dalam skala komersial.

Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi untuk Penelitian Lanjutan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, penelitian ini tidak melakukan analisis biokimia langsung terhadap kandungan protein, lipid, dan profil asam lemak *Chaetoceros amami* pada berbagai konsentrasi nitrogen. Penelitian lanjutan perlu mengukur secara kuantitatif bagaimana konsentrasi nitrogen 7,5 ppm mempengaruhi kandungan EPA, DHA, dan asam amino esensial, menggunakan metode seperti gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) untuk analisis asam lemak dan high-performance liquid chromatography (HPLC) untuk analisis asam amino.

Kedua, penelitian ini belum mengevaluasi secara langsung performa larva *Pinctada maxima* yang diberi pakan *Chaetoceros amami* dari berbagai perlakuan nitrogen. Penelitian lanjutan perlu melakukan percobaan pemberian pakan untuk mengukur tingkat konsumsi, laju pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan perkembangan larva yang diberi pakan mikroalga dari masing-masing perlakuan. Hal ini akan mengkonfirmasi apakah peningkatan produktivitas kultur pada konsentrasi nitrogen 7,5 ppm juga berkorelasi dengan peningkatan performa larva.

Ketiga, interaksi antara nitrogen dengan nutrisi lain (fosfor, silika, dan mikronutrien) perlu dieksplorasi lebih lanjut untuk mengoptimalkan rasio nutrisi. Penelitian tentang Redfield ratio (C:N:P = 106:16:1) menunjukkan bahwa keseimbangan nutrisi sangat penting untuk pertumbuhan fitoplankton (Moschonas *et al.*, 2017). Penelitian lanjutan dapat menggunakan desain response surface methodology (RSM) untuk mengoptimalkan kombinasi nitrogen, fosfor, dan silika secara simultan.

Keempat, evaluasi ekonomis perlu dilakukan untuk menilai kelayakan penerapan konsentrasi nitrogen 7,5 ppm dalam skala produksi komersial. Analisis cost-benefit harus mempertimbangkan biaya pupuk nitrogen, peningkatan produktivitas biomassa, peningkatan kualitas nutrisi, dan dampaknya terhadap kelangsungan hidup dan pertumbuhan larva kerang mutiara. Hal ini akan memberikan

dasar keputusan yang lebih komprehensif untuk adopsi teknologi di pembenihan komersial.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Konsentrasi nitrogen memberikan pengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap pertumbuhan *Chaetoceros amami*. Konsentrasi nitrogen 7,5 ppm merupakan konsentrasi optimal yang menghasilkan kepadatan puncak tertinggi (1.985×10^3 sel/mL), meningkat 43% dibandingkan kontrol (tanpa penambahan nitrogen).
- 2) Laju pertumbuhan relatif (LPR) tertinggi dicapai pada konsentrasi nitrogen 7,5 ppm sebesar 133%, meningkat 111% dibandingkan kontrol, dengan waktu penggandaan diri tercepat 39 jam. Hal ini mengindikasikan efisiensi metabolisme sel dan pembelahan sel yang optimal pada konsentrasi tersebut.
- 3) Peningkatan konsentrasi nitrogen dari 0 ppm hingga 7,5 ppm meningkatkan produktivitas kultur secara progresif, namun penambahan lebih lanjut hingga 10 ppm justru menurunkan performa pertumbuhan.
- 4) Temuan ini merekomendasikan penggunaan konsentrasi nitrogen 7,5 ppm dalam kultur massal *Chaetoceros amami* di pembenihan komersial untuk mengoptimalkan produksi pakan alami berkualitas tinggi bagi larva kerang mutiara *Pinctada maxima*, dengan pertimbangan efisiensi waktu produksi, produktivitas biomassa, dan kualitas nutrisi.

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi pengaruh konsentrasi nitrogen 7,5 ppm terhadap komposisi biokimia *Chaetoceros amami* secara kuantitatif, khususnya profil asam lemak, kandungan protein, dan asam amino esensial, serta mengevaluasi secara langsung performa pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva *Pinctada maxima* yang diberi pakan mikroalga dari perlakuan optimal tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis menyampaikan terimakasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari pengembangan materi untuk program pengabdian pada masyarakat skema kemitraan Universitas Mataram yang didanai melalui DIPA BLU (PNBP) dengan nomor kontrak 4124/UN18.L1/PP/2025. Ucapan terimakasih khusus disampaikan kepada kepala Laboratorium Pakan Alami dan Pimpinan PT. Mutiara Surya Indonesia, Sambelia, Nusa Tenggara Barat serta kepada semua kolega peneliti yang telah membantu diberbagai tahap penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhay, R. A., El-Mor, M. S., Salem, M. A. M., Al-Sagheer, A. A., Abd-Elhakim, Y. M., Hassan, B. A., & Mounes, H. A. M. (2025). Effect of nitrogen sources on diatoms growth and nutritional value for enhancing *Litopenaeus vannamei* larval performance. *Animals*, 15(4), 466. <https://doi.org/10.3390/ani15040466>
- Acharjee, M. R., Hossain, S., Newase, S., Das, T., Haque, M. E., Nur, S., Afrin, S., Minhaz, T. M., & Khatoon, H. (2025). Growth performance, dietary enzyme profiling, and antioxidant-induced immunity of *Crassostrea belcheri* fed with microalgal diet. *Aquaculture Nutrition*, 2025(1), 5513113. <https://doi.org/10.1155/anu/5513113>

- Alamsjah, M. A., Islamiyah, H. S., Rahmawati, G. A., Putri, F. A., Rizka, S. A., Triningtyas, P. H., Pujiastuti, D. Y., & Nor, A. R. M. (2024). Integration of *Tetraselmis chuii* and *Artemia* sp. culture in industrial-scale salt production. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 16(1), 119-135. <https://doi.org/10.20473/jipk.v16i1.50514>
- Dammak, M., Ben Hlima, H., Fendri, I., Smaoui, S., & Abdelkafi, S. (2024). *Tetraselmis* species for environmental sustainability: Biology, water bioremediation, and biofuel production. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(36), 48864-48887. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34247-0>
- Dewi, D. K., Santoso, P., & Dahoklory, N. (2023). Karakteristik Pertumbuhan *Chaetoceros* sp Berdasarkan Intensitas Cahaya yang berbeda. *JURNAL VOKASI ILMU-ILMU PERIKANAN (JVIP)*, 3(2), 96. <https://doi.org/10.35726/jvip.v3i2.6896>
- Gao, F., Yang, Z. H., Li, C., Zeng, G. M., Ma, D. H., & Zhou, L. (2015). A novel algal biofilm membrane photobioreactor for attached microalgae growth and nutrients removal from secondary effluent. *Bioresource Technology*, 179, 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.108>
- Gurr, S. J., Meseck, S. L., Bernatchez, G., Redman, D., Dixon, M. S., Guy, L., MacDonald, A., Stiles, S., & McFarland, K. (2025). Transcriptome-to-phenome response of larval Eastern oysters under multiple drivers of aragonite undersaturation. *Ecology and Evolution*, 15(2), 22. <https://doi.org/10.1002/ece3.70953>
- Haque, M. E., Acharjee, M. R., Newase, S., Nur, S., Das, T., Afrin, S., Minhaz, T. M., Islam, Z., & Khatoon, H. (2025). Comparative study on the growth, proximate, and amino acid profile of edible oysters cultivated in indoor and outdoor conditions. *Aquaculture Research*, 2025. <https://doi.org/10.1155/are/9668918>
- Janah, H., Ouagajjou, Y., Aghzar, A., & Presa, P. (2025). Settlement and growth of *Mytilus galloprovincialis* pediveliger larvae in response to biofilm-based microalgae and chemical neuroactive compounds. *Biology*, 15(1), 10. <https://doi.org/10.3390/biology15010010>
- Jordan, A., Thompson, K., & Jeffs, A. (2025a). Investigating dissolved glucose as an alternative nutrient source for bivalve larvae. *Aquaculture Nutrition*, 2025(1), 5203885. <https://doi.org/10.1155/anu/5203885>
- Jordan, A., Thompson, K., & Jeffs, A. (2025b). Finding the sweet spot: The use of dissolved glucose in the commercial rearing of post-settlement Greenshell™ mussels. *Aquaculture*, 611, 743140. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743140>
- Kallau, M., & Yang, H. (2025). Quantification of the total lipids in three aquaculture microalgae using BODIPY™ 505/515 stain and flow cytometry. *Journal of the World Aquaculture Society*, 56(3), e70028. <https://doi.org/10.1111/jwas.70028>
- Katayama, T., Rahman, N. A., Khatoon, H., Kasan, N. A., Nagao, N., Yamada, Y., Takahashi, K., Furuya, K., Wahid, M. E. A., Yusoff, F. M., & Jusoh, M. (2022). Bioprospecting of tropical microalgae for high-value products: n-3 polyunsaturated fatty acids and carotenoids. *Aquaculture Reports*, 27, 101406. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101406>
- Kurpan, D., Cardeiras, R., Bagnoud-Velásquez, M., Dubois, S., Lecoultre, N., Gindro, K., Wahl, F., & Brahier, A. B. (2025). Isolation, characterization, and maintenance of native Swiss microalgae for biotechnological prospection. *Scientific Reports*, 15(1), 25573. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10989-w>

- Li, D., Ren, W., Zhang, X., Si, Y., Yang, C., Wang, L., & Song, L. (2025). Mixed algal diets enhance glutamate metabolism to promote growth and development in Pacific oyster (*Magallana gigas*) larvae. *Aquaculture International*, 33(6), 452. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02116-3>
- Li, Y., Han, D., Hu, G., Sommerfeld, M., & Hu, Q. (2010). Inhibition of starch synthesis results in overproduction of lipids in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Biotechnology and Bioengineering*, 107(2), 258–268. <https://doi.org/10.1002/bit.22807>
- Lora-Vilchis, M. C., Sánchez-Sandoval, E. P., & López-Fuerte, F. O. (2025). Morphometric characterization and biochemical comparison of eight diatom strains isolated from coastal areas of Baja California Sur, México. *Aquaculture Research*, 2025(1), 7534383. <https://doi.org/10.1155/are/7534383>
- Lovegrove, A., Bray, S., Inglis, G., Wilding, M., Hambach, B., & Hauton, C. (2025). Pacific oysters (*Magallana gigas*, Thunberg 1793) preferentially consume *Isochrysis galbana*, increasing biomass and upregulating biomineralisation gene nacrein. *Aquaculture International*, 33(6), 579. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02161-y>
- Ma, M., & Hu, Q. (2023). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: Prospects and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 818-835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>
- Melchor-Martínez, E. M., Reyes, A. G., Peña-Rodríguez, A., Delgado-Cortez, I. G., & Flores-Contreras, E. A. (2025). Utilization of brown algae and pre-treatment strategies as a source of bioactive nutrients for aquaculture species. *Journal of Applied Phycology*, 37(1), 2121-2146. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03389-3>
- Moschonas, G., Gowen, R. J., Paterson, R. F., Mitchell, E., Stewart, B. M., Mcneill, S., & Davidson, K. (2017). Nitrogen dynamics and phytoplankton community structure: The role of organic nutrients. *Biogeochemistry*, 134(1), 125-145. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0351-8>
- 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). Percepatan pertumbuhan benih kerang mutiara (*Pinctada maxima*) menggunakan metoda perendaman dalam bak pakan alami. *Jurnal Perikanan Unram*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.29303/jp.v11i1.224>
- Mukti, C. R. (2018). *Pengaruh salinitas yang berbeda terhadap pertumbuhan, produksi biomassa, klorofil-a dan protein Chaetoceros muelleri* [Skripsi]. Universitas Brawijaya.
- Okcu, G. D. (2019). The impact of nitrogen starvation on the dynamics of lipid and biomass production in *Scenedesmus* sp. *Environmental Research and Technology*, 2(3), 158-170. <https://doi.org/10.35208/ert.571169>
- Parrish, C. C. (2024). Thraustochytrids and algae as sustainable sources of long-chain omega-3 fatty acids for aquafeeds. *Sustainability*, 16(21), 9142. <https://doi.org/10.3390/su16219142>
- Pereto, C., Ligorini, V., Grzebyk, D., Soudant, P., Aiello, A., Alonso, L., Cecchi, P., & Pasqualini, V. (2025). Physiological responses to light regime of a Mediterranean lagoon strain of *Chaetoceros tenuissimus* and a collection strain of *Chaetoceros calcitrans*. *Journal of Applied Phycology*, 37(3), 1735-1752. <https://doi.org/10.1007/s10811-025-03505-0>

- Prasetyo, L. D., Supriyanti, E., & Sedjati, S. (2022). Pertumbuhan Mikroalga *Chaetoceros calcitrans* Pada Kultivasi Dengan Intensitas Cahaya Berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 59–70. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.31698>
- Ramadhan, D. A., Mukhlis, A., & Diniariwisan, D. (2024). Effects of Salinity Level on The Growth, Filtration Rate and Survival of Pearl Oyster (*Pinctada maxima*) Spats. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2), 718–729. Retrieved from <http://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.7057>
- Sales, R., Lopes, R. G., Derner, R. B., & Tsuzuki, M. Y. (2022). Concentrated microalgal biomass as a substitute for fresh microalgae produced on site at hatcheries. *Aquaculture Research*, 53(17), 5771–5786. <https://doi.org/10.1111/are.16072>
- Sun, J., Chen, X., Lu, Y., Wang, J., Zhang, J., Zeng, G., Jiang, X., & Peng, R. (2025). Evaluation of different microalgal diets on feeding efficiency, growth performance, proximate composition, fatty acid composition, and digestive enzyme activities in juvenile Manila clam (*Ruditapes philippinarum*). *Aquaculture International*, 33(6), 624. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02339-4>
- Vasquez, H. E., Shangkun, W., Yang, G., Wang, L., Yu, P., Dong, M., Chao, Y., & Zheng, X. (2025). Adaptive responses in byssal growth and shedding: Insights from *Pteria penguin* under thread trimming and non-trimming conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(5), 874. <https://doi.org/10.3390/jmse13050874>
- Venter, L., Alfaro, A. C., Lindeque, J. Z., van Rensburg, P. J. J., Delorme, N. J., Ragg, N. L. C., & Zamora, L. N. (2025). Characterising sex-specific metabolite differences in New Zealand geoduck (*Panopea zelandica*) using LC-MS/MS metabolomics. *Animals*, 15(6), 860. <https://doi.org/10.3390/ani15060860>
- Vogeler, S., Wikfors, G. H., Li, X., Sauvage, J., & Joyce, A. (2022). Distribution of vitamin B12 in bivalve tissues: Investigations of larval and adult lifestages. *Aquaculture*, 561, 738712. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738712>
- Wang, Q., Feng, J., Qin, Y., & Pan, Y. (2025). Aquaculture strategy and genetic diversity of *Argopecten irradians concentricus* in Beibu Gulf, China. *Biology*, 14(8), 1103. <https://doi.org/10.3390/biology14081103>
- Wang, S., Zhao, S., Uzoejinwa, B. B., Zheng, A., Wang, Q., Huang, J., & Abomohra, A. E. F. (2020). A state-of-the-art review on dual purpose seaweeds utilization for wastewater treatment and crude bio-oil production. *Energy Conversion and Management*, 222, 113253. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113253>