

[Journal of Fish Nutrition](#)
Volume 6 No. 2, June 2026
DOI: 10.29303/jfn.v6i2.10851

**UJI TOKSISITAS LETAL AKUT HIPOKLORIT TERHADAP
KEPADATAN POPULASI SEL *Nannochloropsis* sp.
ACUTE LETHAL TOXICITY TEST OF HYPOCHLORITE AGAINST
POPULATION CELL DENSITY OF *Nannochloropsis* sp.**

Dewi Septianingsih¹⁾, Alis Mukhlis^{1*)}, Yuliana Asri¹⁾, Sumiyati Andriani²⁾,
Awan Dermawan¹⁾

¹⁾ Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram
Jalan Pendidikan Nomor 37 Kota Mataram

²⁾ Program Vokasi Universitas Mataram Program Studi di
Luar Domisili Kabupaten Bima
Jl. Raya Lintas Sumbawa-Sondosia, Kabupaten Bima

^{*)} Korespondensi email: alismukhlis@unram.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai konsentrasi letal akut hipoklorit yang menyebabkan kematian 50% populasi sel *Nannochloropsis* sp. dalam waktu pemaparan 2 jam (LC50-2 jam). Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdiri atas 5 taraf konsentrasi (0; 7,5; 15; 22,5; dan 30 ppm) dengan 4 kali ulangan. Data persentase kematian dianalisis menggunakan analisis probit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi hipoklorit berbanding lurus dengan peningkatan mortalitas sel, dengan persamaan regresi probit $y = 1,5657x + 2,2921$ ($R^2 = 0,9101$). Nilai LC50-2 jam yang diperoleh adalah sebesar 53,64 ppm. Nilai ambang batas ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penentuan konsentrasi aplikasi kalsium hipoklorit yang aman pada kultur massal *Nannochloropsis* sp., serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan mengenai efektivitas selektifnya terhadap kontaminan zooplankton.

Kata kunci: *Nannochloropsis* sp., kalsium hipoklorit, toksisitas letal akut, LC50

ABSTRACT

This study aimed to determine the acute lethal concentration of hypochlorite causing 50% mortality of *Nannochloropsis* sp. cell population within a 2-hour exposure period (LC50-2 hours). The study employed a Completely Randomized Design (CRD) with

five concentration levels (0, 7.5, 15, 22.5, and 30 ppm) and four replications. Mortality percentage data were analyzed using probit analysis. The results showed that increasing hypochlorite concentration was linearly associated with increasing cell mortality, yielding the probit regression equation $y = 1.5657x + 2.2921$ ($R^2 = 0.9101$). The resulting LC50-2 hours value was 53.64 ppm. This threshold value is expected to serve as a reference for determining safe application concentrations of calcium hypochlorite in mass culture of *Nannochloropsis* sp., as well as a basis for further research on its selective effectiveness against zooplankton contaminants.

Keywords: *Nannochloropsis* sp., calcium hypochlorite, acute lethal toxicity, LC50

PENDAHULUAN

Pakan alami fitoplankton memiliki peranan penting dalam kegiatan budidaya udang, ikan, dan kerang, terutama pada tahap pembenihan. Ketersediaan pakan alami yang memadai dan berkesinambungan merupakan komponen krusial yang mendukung keberhasilan pengelolaan benih (Guedes & Malcata, 2012; Anikuttan, 2024; Roslina *et al.*, 2025). Hingga saat ini peran pakan alami belum dapat tergantikan secara menyeluruh oleh pakan buatan, karena fungsinya sebagai sumber protein, karbohidrat, dan lemak, terutama sebagai sumber asam lemak esensial yang sangat potensial bagi pertumbuhan organisme budidaya (Shah *et al.*, 2018; Bratosin *et al.*, 2021; Zehra *et al.*, 2026). Pada stadium awal perkembangan organisme (larva atau benih), pakan alami merupakan sumber nutrisi yang sangat penting karena ukurannya yang sesuai dengan bukaan mulut larva serta kandungan nutrisinya yang mudah dicerna (Guedes & Malcata, 2012; Félix *et al.*, 2025).

Salah satu jenis pakan alami yang banyak digunakan adalah *Nannochloropsis* sp., mikroalga laut yang lazim dimanfaatkan sebagai pakan larva ikan, udang, dan kerang, serta sebagai pakan bagi zooplankton seperti rotifer dan artemia (Brown & Blackburn, 2013; Anikuttan, 2024). Tingginya pemanfaatan *Nannochloropsis* sp. tidak terlepas dari kandungan nutrisinya yang relatif lebih tinggi dibandingkan mikroalga lain, yaitu protein 52,11%, karbohidrat 16%, lemak 27,64%, vitamin C 0,85%, dan klorofil 0,89% (Erlania, 2009). Untuk memenuhi kebutuhan pakan alami secara konsisten dan tepat waktu, kultur fitoplankton skala massal menjadi strategi yang umum diterapkan dalam mendukung target produksi benih (Pan *et al.*, 2022). Namun, kegagalan kultur atau penurunan kualitas sel sering menjadi kendala dalam kultur massal. Permasalahan ini disebabkan oleh kontaminasi mikroorganisme patogen maupun organisme lain seperti protozoa (Molina *et al.*, 2019). Selanjutnya, penyediaan dan perawatan fitoplankton yang kurang tepat dapat menyebabkan ketidakmurnian kultur, bahkan berpotensi menjadikan fitoplankton sebagai media penyebaran penyakit (Wang *et al.*, 2013; Nicolas *et al.*, 2004; Nakase & Eguchi, 2007). Salah satu bentuk kontaminasi yang sering dijumpai pada kultur massal *Nannochloropsis* sp. adalah masuknya zooplankton, khususnya *Brachionus* sp., yang dapat memangsa sel-sel fitoplankton secara cepat sehingga menurunkan kepadatan populasi dan mengganggu kontinuitas ketersediaan pakan alami (Carney *et al.*, 2016).

Berbagai upaya pengendalian kontaminasi telah dilakukan, salah satunya melalui proses klorinasi pada media kultur mikroalga. Di antara senyawa klorin yang umum digunakan, kalsium hipoklorit (kaporit) dipilih karena memiliki kestabilan yang lebih baik selama penyimpanan dibandingkan klorin cair, sehingga lebih praktis diaplikasikan pada skala kultur massal. $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ atau kaporit dikenal sebagai bahan desinfektan yang dimanfaatkan untuk memurnikan atau membersihkan air pada

kegiatan budidaya pemijahan ikan air tawar maupun air laut (Drogui & Daghrir, 2015). Mekanisme kerjanya didasari oleh kesetimbangan kaporit dalam larutan yang terhidrolisis dan terdisosiasi membentuk asam hipoklorit (HOCl) serta ion hipoklorit (ClO^-), dengan proporsi keduanya bergantung pada pH media. Kedua jenis hipoklorit tersebut bersifat oksidator kuat yang bekerja secara langsung merusak komponen seluler, termasuk membran sel, protein, dan asam nukleat, sehingga bersifat letal terhadap bakteri dan mikroorganisme dalam air (Russell, 2002; Valerie, 2025).

Meskipun kaporit berpotensi digunakan untuk mengendalikan kontaminasi zooplankton dalam kultur fitoplankton, penerapannya pada media kultur *Nannochloropsis* sp. perlu memperhatikan ambang batas konsentrasi yang aman, mengingat sifat oksidatif kaporit yang tidak selektif berpotensi menimbulkan efek letal pula terhadap fitoplankton itu sendiri apabila diaplikasikan pada konsentrasi yang tidak terkontrol. Hingga saat ini, informasi mengenai ambang batas toksisitas akut kalsium hipoklorit terhadap *Nannochloropsis* sp. masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai konsentrasi letal akut hipoklorit yang menyebabkan kematian 50% populasi sel *Nannochloropsis* sp. dalam waktu paparan 2 jam (LC50-2 jam). Nilai ambang batas yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan dasar dalam penentuan konsentrasi aplikasi kalsium hipoklorit yang aman pada kultur massal *Nannochloropsis* sp., serta menjadi landasan bagi penelitian lanjutan mengenai efektivitas selektifnya sebagai agen pengendali kontaminasi zooplankton, khususnya *Brachionus* sp. Perlu digarisbawahi bahwa nilai LC50 yang ditentukan dalam penelitian ini bersifat spesifik terhadap durasi paparan 2 jam (LC50-2 jam), sehingga lingkup penerapannya terbatas pada skenario klorinasi jangka pendek dan belum mencerminkan dinamika toksisitas pada durasi paparan yang lebih panjang atau lebih singkat.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus–Oktober 2023 di Laboratorium Produksi dan Reproduksi Ikan, Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdiri atas 5 (lima) taraf perlakuan konsentrasi hipoklorit (HClO/ClO^-) yaitu 0 ppm (kontrol), 7,5 ppm, 15 ppm, 22,5 ppm, dan 30 ppm, dengan 4 (empat) kali ulangan pada setiap taraf perlakuan, sehingga diperoleh 20 unit percobaan.

Bahan dan Alat

Bahan uji yang digunakan adalah bibit *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh dari stok kultur Laboratorium Produksi dan Reproduksi Ikan, Universitas Mataram, dengan kepadatan awal 833.333 sel/mL pada setiap unit percobaan. Bahan desinfektan yang digunakan adalah kalsium hipoklorit $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (kaporit komersial) dengan kandungan bahan aktif (HClO/ClO^-) sebesar 60% dari bobot bahan. Media kultur menggunakan air laut steril. Alat yang digunakan meliputi botol kultur kapasitas 600 mL, mikropipet, gelas ukur, haemositometer Neubauer Improved, cover glass, dan mikroskop binokuler.

Persiapan Larutan Uji

Konsentrasi kaporit yang diujikan ditetapkan berdasarkan kandungan bahan aktif (60%) dalam produk komersial, sehingga konsentrasi bahan aktif 0; 7,5; 15; 22,5; dan 30 ppm setara dengan konsentrasi kaporit komersial sebesar 0; 12,5; 25; 37,5; dan 50 ppm, yang dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Konsentrasi kaporit (ppm)} = \frac{\text{Konsentrasi bahan aktif yang diinginkan (ppm)}}{60\%} \times 100\%$$

Prosedur Uji Toksisitas Letal Akut

Uji toksisitas letal akut dilakukan untuk menentukan tingkat toksisitas hipoklorit terhadap *Nannochloropsis* sp., sebagai dasar penentuan ambang konsentrasi kaporit yang efektif mengendalikan kontaminan namun tidak menyebabkan kematian total populasi fitoplankton uji.

Sebanyak 20 unit botol kultur disiapkan, masing-masing diisi dengan 215 mL bibit *Nannochloropsis* sp. dan ditambahkan air laut hingga volume akhir 500 mL, sehingga diperoleh kepadatan awal 833.333 sel/mL pada setiap botol unit percobaan. Larutan kaporit dengan konsentrasi bahan aktif 0; 7,5; 15; 22,5; dan 30 ppm (setara 0; 12,5; 25; 37,5; dan 50 ppm kaporit komersial) ditambahkan ke dalam media uji sesuai taraf perlakuan, masing-masing dengan 4 kali ulangan. Pengamatan kepadatan populasi sel *Nannochloropsis* sp. dilakukan pada jam ke-2 setelah pemaparan (klorinasi).

Persentase kematian populasi sel pada setiap konsentrasi dihitung menggunakan rumus:

$$\% \text{Kematian} = [(N_0 - N_t) / N_0] \times 100\%$$

Keterangan:

N_0 = kepadatan populasi sel awal (sel/mL)

N_t = kepadatan populasi sel pada jam ke-2 (sel/mL)

Hubungan antara konsentrasi kaporit dan persentase kematian populasi sel dianalisis menggunakan analisis probit untuk memperoleh persamaan garis regresi linear. Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan nilai *Lethal Concentration* (LC) pada tingkat kematian 50%.

Pengamatan Kepadatan Populasi Sel *Nannochloropsis* sp.

Kepadatan populasi sel diamati menggunakan mikroskop binokuler dengan pembesaran 40x. Sampel diambil sebanyak 0,1 mL menggunakan mikropipet dari setiap unit percobaan, kemudian diteteskan pada haemositometer Neubauer Improved dan ditutup dengan cover glass. Penghitungan dilakukan pada 5 sub-unit kotak berukuran $0,2 \times 0,2 \times 0,1 \text{ mm}^3$ yang tersebar pada bidang hitung haemositometer (4 kotak sudut dan 1 kotak tengah), dengan masing-masing sampel dihitung secara duplo. Kepadatan sel dihitung menggunakan rumus mengikuti Mukhlis *et al.*, (2017):

$$K (\text{sel/mL}) = N/n \times 25 \times 10^4$$

Keterangan:

K = kepadatan sel (sel/mL)

N = jumlah total sel pada kotak hitung yang diamati

n = jumlah kotak yang diamati

25 = faktor jumlah total kotak berukuran $0,2 \times 0,2 \times 0,1 \text{ mm}^3$ dalam haemositometer

10^4 = faktor konversi volume kotak hitung ke volume 1 mL

Parameter yang Diamati

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah kepadatan populasi sel *Nannochloropsis* sp. dan persentase kematian sel setelah pemaparan hipoklorit selama 2 jam (LC50-2 jam) pada masing-masing konsentrasi yang diuji.

Analisis Data

Data persentase kematian populasi sel *Nannochloropsis* sp. dianalisis menggunakan analisis probit dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel untuk memperoleh nilai LC50-2 jam. Data persentase kematian populasi sel pada setiap perlakuan disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ standar deviasi.

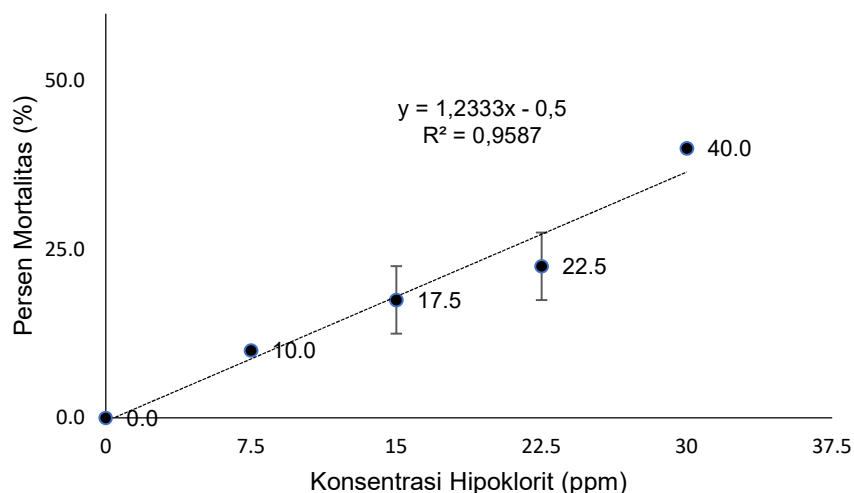
Analisis probit digunakan dengan pertimbangan bahwa hubungan antara konsentrasi suatu toksikan dan persentase kematian organisme uji secara biologis membentuk kurva sigmoid (*S-curve*), bukan hubungan linear sederhana, karena respons kematian dibatasi pada rentang 0–100% dan tidak dapat melebihi batas tersebut. Apabila persentase kematian dianalisis secara langsung menggunakan regresi linear sederhana terhadap konsentrasi, model yang dihasilkan berpotensi tidak akurat, khususnya pada nilai mortalitas yang mendekati batas 0% atau 100%, serta berisiko menghasilkan prediksi konsentrasi di luar rentang nilai yang valid secara biologis (mortalitas negatif atau lebih dari 100%). Oleh karena itu, dilakukan transformasi data persentase kematian ke dalam nilai probit, yaitu unit deviasi normal standar yang berkorespondensi dengan proporsi kumulatif distribusi normal. Transformasi ini, dikombinasikan dengan transformasi logaritmik pada konsentrasi, menghasilkan hubungan yang lebih linear antara dosis dan respons, sehingga persamaan regresi yang diperoleh dapat digunakan secara lebih akurat untuk menduga nilai *Lethal Concentration* pada taraf kematian tertentu, termasuk LC50 (Gad, 2014). Titik kontrol (0 ppm) tidak disertakan dalam analisis regresi probit karena nilai logaritma dari konsentrasi nol secara matematis tidak terdefinisi, sehingga regresi hubungan log konsentrasi-probit hanya dilakukan terhadap empat taraf konsentrasi aktif yang diuji (7,5–30 ppm); data mortalitas pada perlakuan kontrol tetap dilaporkan secara deskriptif sebagai pembanding. Untuk memastikan kondisi media uji tetap layak bagi pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. selama pengujian, dilakukan pula pengukuran parameter kualitas air (suhu, pH, oksigen terlarut, salinitas, dan intensitas cahaya) pada awal dan akhir periode pemeliharaan menggunakan termometer, pH meter, DO meter, refraktometer, dan lux meter.

HASIL

Mortalitas (Persen Kematian) Populasi Sel *Nannochloropsis* sp.

Hasil uji toksisitas letal akut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi hipoklorit (HClO/ClO^-) berbanding lurus dengan peningkatan persentase kematian populasi sel *Nannochloropsis* sp. setelah periode pemaparan 2 jam. Pada perlakuan kontrol (0 ppm), tidak teramati kematian populasi sel yang signifikan, sedangkan pada

konsentrasi 7,5; 15; 22,5; dan 30 ppm, persentase kematian meningkat secara progresif yaitu sebesar $10,0 \pm 0,0\%$; $17,5 \pm 5,0\%$; $22,5 \pm 5,0\%$; dan $40,0 \pm 0,0\%$ (Gambar 1). Hasil analisis ragam (ANOVA) terhadap kepadatan populasi sel pada jam ke-2 menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi memberikan pengaruh yang berbeda nyata (F hitung = 218,82 > F tabel = 3,06; $p < 0,05$), yang mengonfirmasi bahwa pola peningkatan mortalitas tersebut signifikan secara statistik dan bukan sekadar tren deskriptif. Pola ini menunjukkan hubungan dosis-respons (*dose-response*) yang konsisten antara konsentrasi kalsium hipoklorit dan tingkat mortalitas sel fitoplankton pada rentang konsentrasi yang diujikan.



Gambar 1. Persentase mortalitas populasi sel *Nannochloropsis* sp. setelah periode pemaparan 2 jam pada konsentrasi hipoklorit (ClO^-) 0 (kontrol), 7,5; 15; 22,5; dan 30 ppm

Analisis Probit terhadap Mortalitas *Nannochloropsis* sp.

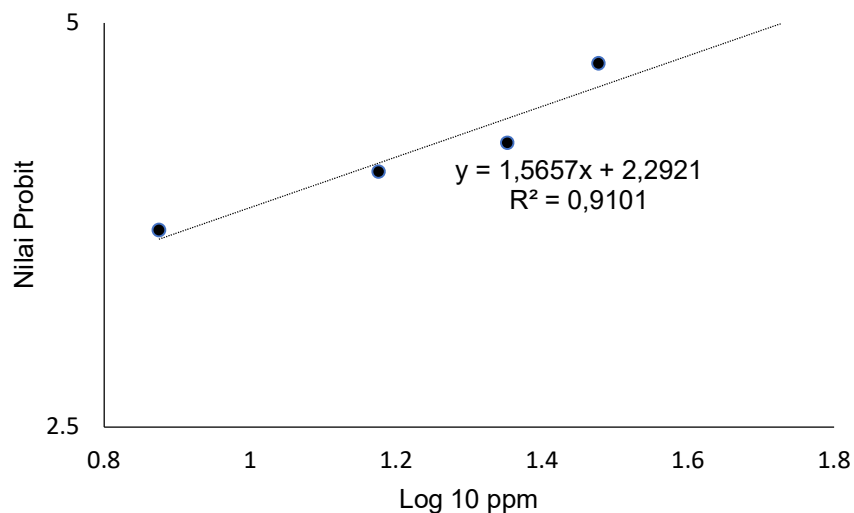
Hubungan antara log konsentrasi hipoklorit dan nilai probit kematian dianalisis lebih lanjut menggunakan analisis probit untuk menentukan nilai *Lethal Concentration* 50% (LC50-2 jam). Hasil transformasi data konsentrasi dan persentase kematian ke dalam nilai log dan probit disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Antara Konsentrasi Hipoklorit, Log Konsentrasi, Nilai Probit, dan Persentase Mortalitas *Nannochloropsis* Sp. pada Periode Pemaparan 2 Jam

Konsentrasi Hipoklorit (ppm)	Log 10 ppm (X)	Probit (Y)	Mortalitas (%)
7,5	0,875061	3,72	$10,0 \pm 0,0$
15	1,176091	4,08	$17,5 \pm 5,0$
22,5	1,352183	4,26	$22,5 \pm 5,0$
30	1,477121	4,75	$40,0 \pm 0,0$

Analisis regresi linear antara nilai probit (Y) dan log konsentrasi hipoklorit (X) menghasilkan persamaan garis $y = 1,5657x + 2,2921$, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9101 (Gambar 2). Nilai R^2 tersebut menunjukkan bahwa 91,01% variasi nilai probit kematian dapat dijelaskan oleh variasi log konsentrasi hipoklorit yang

diujikan, mengindikasikan tingkat kesesuaian (*goodness of fit*) model regresi yang tinggi terhadap data pengamatan.



Gambar 2. Kurva regresi linear hubungan antara $\log_{10}$ konsentrasi hipoklorit (ppm) dengan nilai probit kematian populasi sel *Nannochloropsis* sp.

Berdasarkan persamaan regresi tersebut, nilai probit yang berkorespondensi dengan tingkat kematian 50% (probit = 5) dicapai pada nilai $x = 1,73$. Hasil antilog dari nilai tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi hipoklorit yang menyebabkan kematian 50% populasi sel *Nannochloropsis* sp. dalam waktu pemaparan 2 jam (LC50-2 jam) adalah sebesar 53,64 ppm.

Kualitas Air Media Kultur

Hasil pengukuran parameter kualitas air selama pengujian toksisitas menunjukkan kisaran suhu 28°C, pH 7,82, oksigen terlarut (DO) 5,7 mg/L, salinitas 34 ppt, dan intensitas cahaya 3.520–4.380 lux. Seluruh parameter tersebut berada pada kisaran yang layak untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. sehingga perubahan mortalitas sel yang teramati pada setiap perlakuan dapat diatribusikan pada pengaruh konsentrasi hipoklorit yang diuji dan bukan pada faktor kualitas air yang tidak optimal. Nilai pH media yang relatif basa (7,82) juga relevan untuk diperhatikan karena proporsi disosiasi hipoklorit menjadi asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (ClO^-) bergantung pada pH media, sehingga kondisi pH ini turut memengaruhi bentuk dominan hipoklorit yang berinteraksi dengan sel *Nannochloropsis* sp. selama pengujian.

PEMBAHASAN

Toksisitas Letal Akut Hipoklorit terhadap *Nannochloropsis* sp.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LC50-2 jam hipoklorit (HClO/ClO^-) terhadap populasi sel *Nannochloropsis* sp. adalah sebesar 53,64 ppm, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9101. Nilai R^2 yang tinggi tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara konsentrasi hipoklorit dan respons mortalitas sel, setelah ditransformasikan ke dalam skala probit dan log konsentrasi, bersifat linear dan konsisten. Transformasi ini diperlukan karena hubungan dosis-

respons antara konsentrasi toksikan dan persentase kematian organisme pada dasarnya bersifat sigmoid, sehingga analisis probit memberikan pendugaan nilai LC50 yang lebih akurat dibandingkan apabila digunakan regresi linear langsung terhadap data persentase kematian (Gad, 2014). Pola peningkatan mortalitas yang progresif, dari 10,0% pada konsentrasi 7,5 ppm hingga 40,0% pada konsentrasi 30 ppm, juga menguatkan validitas hubungan dosis-respons tersebut, sejalan dengan prinsip umum toksikologi bahwa intensitas efek toksik suatu bahan kimia berbanding lurus dengan dosis atau konsentrasi paparannya. Perlu dicatat bahwa mortalitas 50% tidak teramati secara langsung pada rentang konsentrasi yang diuji (7,5–30 ppm, dengan mortalitas maksimum yang teramati sebesar 40,0%), sehingga nilai LC50-2 jam sebesar 53,64 ppm yang dilaporkan merupakan hasil ekstrapolasi berdasarkan persamaan regresi probit, bukan hasil pengamatan langsung. Ekstrapolasi di luar rentang data yang diamati berpotensi mengandung ketidakpastian yang lebih besar dibandingkan pendugaan di dalam rentang data, sehingga nilai LC50 ini sebaiknya digunakan sebagai estimasi acuan awal dan perlu dikonfirmasi melalui pengujian pada taraf konsentrasi yang lebih tinggi (mendekati atau melampaui 50 ppm) pada penelitian lanjutan.

Mekanisme toksisitas hipoklorit terhadap sel fitoplankton berkaitan dengan sifat oksidatifnya yang kuat. Dalam larutan, kalsium hipoklorit ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) akan terhidrolisis dan terdisosiasi membentuk asam hipoklorit (HOCl) serta hipoklorit (ClO^-), yang keberadaannya bergantung pada pH media (Drogui & Daghrir, 2015). Kedua jenis klorin tersebut, baik HOCl maupun ClO^- , bersifat oksidator kuat yang dapat bereaksi langsung dengan komponen seluler, termasuk lipid penyusun membran sel, protein enzimatik, asam nukleat, serta pigmen fotosintetik seperti klorofil (Jiesheng *et al.*, 2006). Reaksi oksidasi ini menyebabkan kerusakan struktural pada membran sel, terganggunya integritas protein dan jalur metabolisme, serta terhentinya aktivitas fotosintesis, yang pada akhirnya dapat berujung pada kematian sel apabila kerusakan yang ditimbulkan bersifat ireversibel. Pada konsentrasi yang relatif rendah, efek oksidatif hipoklorit ini cenderung bersifat menghambat aktivitas metabolisme dan pertumbuhan sel, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi, kerusakan struktural yang ditimbulkan dapat bersifat letal dan menyebabkan kematian sel secara langsung.

Kategori Toksisitas dan Implikasinya bagi Pengelolaan Kultur Massal

Nilai LC50-2 jam sebesar 53,64 ppm yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa *Nannochloropsis* sp. memiliki tingkat ketahanan tertentu terhadap paparan hipoklorit dalam jangka waktu pemaparan singkat. Nilai ambang batas ini menjadi dasar penting bagi penentuan konsentrasi aplikasi kaporit yang aman pada kultur massal, yakni konsentrasi yang berada di bawah nilai LC50 agar tidak menyebabkan penurunan populasi sel *Nannochloropsis* sp. secara drastis. Penentuan ambang batas semacam ini merupakan langkah awal yang esensial sebelum suatu bahan kimia diaplikasikan secara rutin dalam sistem budidaya, sebagaimana ditekankan oleh Gad (2014) bahwa uji *Lethal Concentration* berfungsi untuk menentukan batas konsentrasi suatu bahan yang masih dapat ditoleransi oleh organisme uji dalam suatu lingkungan tertentu.

Dalam konteks pengendalian kontaminasi pada kultur massal *Nannochloropsis* sp., hasil ini memberikan implikasi praktis yang penting. Permasalahan kontaminasi zooplankton, khususnya *Brachionus* sp., merupakan kendala umum dalam kultur fitoplankton skala massal karena kemampuannya memangsa sel-sel fitoplankton secara cepat sehingga mengganggu kontinuitas produksi pakan alami (Deore *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2021). Mengingat ambang ketahanan *Nannochloropsis* sp. terhadap

hipoklorit berada pada kisaran 53,64 ppm untuk mencapai mortalitas 50%, maka aplikasi kaporit pada konsentrasi di bawah nilai tersebut berpotensi digunakan sebagai strategi pengendalian biologis yang selektif, dengan asumsi bahwa zooplankton kontaminan memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap hipoklorit dibandingkan *Nannochloropsis* sp. Asumsi ini sejalan dengan prinsip umum bahwa organisme dengan struktur sel yang lebih kompleks dan permeabilitas membran yang berbeda, seperti zooplankton, umumnya menunjukkan respons toksik yang berbeda terhadap bahan oksidator dibandingkan mikroalga uniseluler. Perlu ditegaskan bahwa asumsi selektivitas ini belum diuji secara langsung dalam penelitian ini dan baru merupakan hipotesis yang diturunkan dari prinsip toksikologi umum, bukan temuan empiris; pembuktiannya memerlukan pengujian langsung terhadap mortalitas *Brachionus* sp. pada konsentrasi di bawah LC50-2 jam *Nannochloropsis* sp. dalam kondisi kultur campuran, sebagaimana diusulkan pada bagian saran penelitian lanjutan.

Perbandingan dengan Penelitian Lain

Nilai LC50-2 jam yang diperoleh dalam penelitian ini relatif sejalan dengan kisaran konsentrasi efektif kalsium hipoklorit yang dilaporkan pada penelitian aplikasi serupa di bidang akuakultur dan pengolahan air, meskipun perbandingan langsung perlu memperhatikan perbedaan spesies uji, durasi pemaparan, dan kondisi lingkungan media. Cheng et al., (2022) melaporkan penggunaan natrium hipoklorit pada konsentrasi tertentu sebagai oksidator yang efektif dalam pengolahan limbah cair, sementara Ali et al. (2022) menunjukkan bahwa penambahan kalsium hipoklorit pada konsentrasi tertentu mampu memperbaiki karakteristik fisik dan kimia air. Perbedaan nilai ambang batas antar penelitian tersebut menegaskan bahwa sensitivitas terhadap hipoklorit bersifat spesifik tergantung pada jenis organisme target dan karakteristik media uji, sehingga penentuan nilai LC50 yang spesifik untuk *Nannochloropsis* sp. seperti pada penelitian ini menjadi penting dan tidak dapat digeneralisasi dari hasil penelitian pada organisme atau media lain.

Keterbatasan Penelitian dan Saran Pengembangan

Penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain pengamatan hanya dilakukan pada satu titik waktu pemaparan (2 jam), sehingga belum dapat menggambarkan dinamika toksisitas pada durasi pemaparan yang lebih panjang atau lebih singkat. Selain itu, pengujian dilakukan dalam kondisi terkontrol di laboratorium tanpa kehadiran kontaminan zooplankton secara langsung, sehingga nilai LC50 yang diperoleh hanya menggambarkan respons *Nannochloropsis* sp. terhadap hipoklorit secara tunggal, belum mencerminkan efektivitas selektif kaporit dalam mengendalikan *Brachionus* sp. pada kondisi kultur campuran yang sesungguhnya. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang menguji efektivitas konsentrasi di bawah ambang LC50 ini secara langsung terhadap mortalitas *Brachionus* sp. dalam media kultur campuran sangat diperlukan untuk memvalidasi potensi aplikasinya sebagai strategi pengendalian kontaminasi pada kultur massal *Nannochloropsis* sp.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hipoklorit (HOCl dan ClO^-) yang berasal dari kalsium hipoklorit ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) bersifat toksik terhadap populasi sel *Nannochloropsis* sp. dengan pola dosis-respons yang konsisten, ditunjukkan oleh peningkatan persentase mortalitas sel secara progresif seiring dengan peningkatan konsentrasi paparan. Nilai *Lethal Concentration* 50%

pada periode pemaparan 2 jam (LC50-2 jam) hipoklorit terhadap *Nannochloropsis* sp. adalah sebesar 53,64 ppm, dengan persamaan regresi probit $y = 1,5657x + 2,2921$ ($R^2 = 0,9101$). Nilai ini menunjukkan tingkat kesesuaian model yang tinggi dan dapat dijadikan acuan ambang batas toksisitas akut kalsium hipoklorit terhadap *Nannochloropsis* sp. dalam jangka waktu pemaparan singkat.

Berdasarkan hasil dan keterbatasan penelitian ini, beberapa saran dapat dikemukakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menguji efektivitas konsentrasi kalsium hipoklorit di bawah nilai LC50-2 jam (53,64 ppm) secara langsung terhadap mortalitas zooplankton kontaminan, khususnya *Brachionus* sp., dalam kondisi kultur campuran bersama *Nannochloropsis* sp., guna memvalidasi selektivitas kaporit sebagai agen pengendali kontaminasi pada kultur massal.
2. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji durasi pemaparan yang lebih bervariasi (misalnya 1, 4, 6, dan 24 jam) agar dapat menggambarkan profil toksisitas kalsium hipoklorit terhadap *Nannochloropsis* sp. secara lebih komprehensif, mengingat penelitian ini hanya mengamati respons pada satu titik waktu pemaparan, yaitu 2 jam.
3. Pengujian sub-lethal pada konsentrasi di bawah LC50 perlu dilakukan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap parameter pertumbuhan populasi sel *Nannochloropsis* sp. jangka panjang, seperti laju pertumbuhan spesifik, fase eksponensial, dan kandungan nutrisi sel, sebagai dasar penentuan konsentrasi aplikasi yang optimal pada skala kultur massal.
4. Hasil penelitian ini disarankan untuk diuji lebih lanjut pada skala kultur yang lebih besar (skala massal/lapangan) guna memverifikasi konsistensi ambang batas toksisitas yang diperoleh pada skala laboratorium, mengingat kondisi lingkungan dan parameter kualitas air pada skala lapangan dapat berbeda dengan kondisi terkontrol di laboratorium.

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 kegiatan penelitian yang didanai melalui DIPA BLU (PNBP) dengan nomor kontrak 1537/UN18.L1/PP/2023. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada kemajuan pengetahuan ilmiah dan aplikasi praktis di bidang budidaya mikroalga.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., Donoriyanto, D. S., & Rahmawati, N. (2022). Improvement of clean water product quality through disinfection process. *Journal of Scientech Research and Development*, 4(2), 438–449. <https://doi.org/10.56670/jsrd.v4i2.105>
- Anikuttan, K. K. (2024). Marine Microalgae: An Inevitable Live Feed in Fish Hatcheries. In *Algal Biotechnology: Applications for Industrial Development and Human Welfare*, 292–306. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003219194-23>
- Bratosin, B. C., Darjan, S., & Vodnar, D. C. (2021). Single Cell Protein: A Potential Substitute in Human and Animal Nutrition. *Sustainability*, 13(16), 9284. <https://doi.org/10.3390/SU13169284>

- Bratosin, B. C., Darjan, S., & Vodnar, D. C. (2021). Single cell protein: A potential substitute in human and animal nutrition. *Sustainability*, 13(16), MDPI. <https://doi.org/10.3390/su13169284>
- Brown, M. R., & Blackburn, S. I. (2013). Live microalgae as feeds in aquaculture hatcheries. 117–156. <https://doi.org/10.1533/9780857097460.1.117>
- Carney, L., Wilkenfeld, J. S., Lane, P. D., Solberg, O. D., Fuqua, Z. B., Cornelius, N. G., Gillespie, S., Williams, K. P., Samocha, T. M., & Lane, T. W. (2016). Pond Crash Forensics: Presumptive identification of pond crash agents by next generation sequencing in replicate raceway mass cultures of *Nannochloropsis salina*. *Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts*, 17, 341–347. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2016.05.011>
- Cheng, X., Wang, S., Huang, W., Wang, F., Fang, S., Ge, R., ... Luo, J. (2022). Current status of hypochlorite technology on the wastewater treatment and sludge disposal: Performance, principals and prospects. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150085>
- Deore, P., Deore, P., Deore, P., Beardall, J., & Noronha, S. (2020). A perspective on the current status of approaches for early detection of microalgal grazing. *Journal of Applied Phycology*, 32(6), 3723–3733. <https://doi.org/10.1007/S10811-020-02241-X>
- Drogui, P., & Daghrir, R. (2015). Chlorine for water disinfection: Properties, applications and health effects. Di dalam: Lichtfouse, E. *et al.*, Editor. *CO2 sequestration, biofuels and depollution. Environmental Chemistry for a Sustainable World* (Vol. 5). 1–32. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11906-9_1
- Erlania, (2009). Prospek Pemanfaatan Mikroalga Sebagai Sumber Pangan Alternatif dan Bahan Fortifikasi Pangan. *Jurnal Media Akuakultur*, 4(1). 59-66. <http://dx.doi.org/10.15578/ma.4.1.2009.59-66>
- Félix, D. M., Martínez-Porchas, M., Garibay-Valdez, E., Cicala, F., Martínez, Y. M., & Albores, F. V. (2025). *The use of natural food in aquaculture*. 43–70. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-27358-2.00003-8>
- Gad, S. C. (2014). LD 50 /LC 50 (Lethal Dosage 50/Lethal Concentration 50). 58–60. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00867-8>
- Guedes, A. C., & Malcata, F. X. (2012). Nutritional Value and Uses of Microalgae in Aquaculture, Di dalam : *Aquaculture*, 59-78. www.intechopen.com. <https://doi.org/10.5772/30576>
- Jiesheng, L., WeiDong, Y., Heng, Z., & Yan, W. (2006). Effects of Chlorine Dioxide on Contents of Chlorophyll a, Proteins and DNA in *Phaeocystis globosa*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 14(5), 427–432. <https://europepmc.org/article/CBA/623413>
- Molina, D., Carvalho, J. C. de, Júnior, A. I. M., Faulds, C. B., Bertrand, E., & Soccol, C. R. (2019). Biological contamination and its chemical control in microalgal mass cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23), 9345–9358. <https://doi.org/10.1007/S00253-019-10193-7>

- Mukhlis, A.Z., Abidin, & Rahman, I. (2017). Pengaruh Konsentrasi Pupuk Amonium Sulfat Terhadap pertumbuhan Populasi Sel *Nannochloropsis* sp. *Jurnal Ilmiah Ilmu Biologi*, 3(3), 149-155.
- Nakase, G., & Eguchi, M. (2007). Analysis of bacterial communities in *Nannochloropsis* sp. cultures used for larval fish production. *Fisheries Science*, 73(3), 543–549. <https://doi.org/10.1111/J.1444-2906.2007.01366.X>
- Nicolas, J.-L., Corre, S., & Cochard, J.-C. (2004). Bacterial population association with phytoplankton cultured in a bivalve hatchery. *Microbial Ecology*, 48(3), 400–413. <https://doi.org/10.1007/S00248-003-2031-6>
- Pan, Y.-J., Dahms, H.-U., Hwang, J.-S., & Souissi, S. (2022). Recent Trends in Live Feeds for Marine Larviculture: A Mini Review. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.864165>
- Roslina, R., Rizky, P. N., & Arifin, Moh. Z. (2025). Feed management innovations for enhancing the growth performance of vannamei shrimp larvae (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Perikanan*, 15(2), 966–979. <https://doi.org/10.29303/jp.v15i2.1499>
- Russell, A. D. (2002). Mechanisms of antimicrobial action of antiseptics and disinfectants: an increasingly important area of investigation. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 49(4), 597–599. <https://doi.org/10.1093/JAC/49.4.597>
- Shah, M., Lutz, G. A., Alam, A., Sarker, P. K., Chowdhury, M. A. K., Parsaeimehr, A., Liang, Y., & Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 197–213. <https://doi.org/10.1007/S10811-017-1234-Z>
- Valerie, E.-J. (2025). Hypochlorous Acid in Healthcare: A Comprehensive Review of Applications, Production and Safety. *International Journal of Biomedical and Clinical Analysis*, 5(2), 61–70. <https://doi.org/10.61797/ijbca.v5i2.603>
- Wang, H., Zhang, W., Chen, L., Wang, J., & Liu, T. (2013). The contamination and control of biological pollutants in mass cultivation of microalgae. *Bioresour Technol*, 128(2013), 745–750. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.10.158>
- Zehra, S., Mohamed, A. H., Pantanella, E., & Al Shaikhi, A. (2026). Use of Microalgae as a Sustainable Source for Aquaculture. Di dalam : *Recent Advances in Sustainable Aquaculture and Fisheries*, 63–82. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781998511372-4>
- Zhao, L., Zhang, Y., Geng, X., Hu, X., Zhang, X., Xu, H., ... Jiang, Y. (2021). Potential to resist biological contamination in marine microalgae culture: Effect of extracellular substances of *Nannochloropsis oceanica* on population growth of *Euplotes vannus* and other protozoa. *Marine Pollution Bulletin*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112868>