Volume 19, No. 2, 2026

ISSN: 1907-9931 (print), 2476-9991 (online)

Pengaruh Jenis Pupuk terhadap Laju Pertumbuhan dan Kepadatan Sel *Dunaliella salina*

The Effect of Fertilizer Type on the Growth Rate and Cell Density of Dunaliella salina

Abdul Rozak Bachri, Novi Indriyawati*, Dimas Chandra Winata

Progam Studi Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura
Jl. Raya Telang, PO. Box. 2 Kamal, Bangkalan, Jawa Timur

*Corresponding author email: novi_indriyawati@yahoo.co.id

Submitted: 5 August 2026 / Revised: 30 August 2026 / Accepted: 30 August 2026

http://doi.org/10.21107/jk.v19i2.35932

ABSTRAK

Dunaliella salina merupakan mikroalga hijau mikroskopis yang dikenal memiliki kemampuan hidup pada kondisi ekstrem dan laju pertumbuhan yang cepat, menjadikannya kandidat potensial dalam pengembangan teknologi budidaya mikroalga yang efisien dan berkelanjutan. Salah satu faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan Dunaliella salina adalah ketersediaan nutrien, terutama melalui pemberian pupuk yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tiga jenis pupuk, Walne, Guillard, dan Growmore terhadap laju pertumbuhan dan kepadatan sel Dunaliella salina. Penelitian dilakukan melalui kultivasi selama sembilan hari dengan lima perlakuan dan tiga ulangan. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan dengan pupuk Growmore 1 ml/L menghasilkan laju pertumbuhan spesifik tertinggi (μ = 0,883 hari $^{-1}$), diikuti oleh Walne 1,5 ml/L (μ = 0,733 hari $^{-1}$) dan Guillard 1 ml/L (μ = 0,727 hari $^{-1}$). Kesimpulan dari hasil penelitian ini bahwa jenis-jenis pupuk dapat memberikan pengaruh terhadap laju pertumbuhan dan kepadatan sel Dunaliella salina.

Kata kunci: *Dunaliella salina, kepadatan sel, laju pertumbuhan.*

ABSTRACT

Dunaliella salina is a microscopic green microalga that is known to have the ability to live in extreme conditions and a fast growth rate, making it a potential candidate in the development of efficient and sustainable microalgae cultivation technology. One of the main factors influencing the growth of Dunaliella salina is the availability of nutrients, especially through applying appropriate fertilizer. This study aims to evaluate the effectiveness of three types of fertilizer, Walne, Guillard, and Growmore on the growth rate and cell density of Dunaliella salina. The research was carried out through cultivation for nine days with five treatments and three replications. The results showed that treatment with Growmore fertilizer 1 ml/L produced the highest specific growth rate (μ = 0.883 days $^{-1}$), followed by Walne 1.5 ml/L (μ = 0.733 days $^{-1}$) and Guillard 1 ml/L (μ = 0.727 days $^{-1}$). The conclusion from the results of this research is that the types of fertilizer can influence the growth rate and cell density of Dunaliella salina.

Key words*: Dunaliella salina, cell density, growth rate.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dunaliella salina merupakan mikroalga hijau yang memiliki ukuran mikroskopis dan mampu hidup pada kondisi ekstrem. Menurut Pourkarimi *et al.,* (2020), ukuran sel *Dunaliella salina* berkisar antara 5 hingga 25 μm. Mikroalga ini memiliki laju pertumbuhan yang cukup cepat, di mana satu siklus kultivasi hanya membutuhkan waktu 7 hingga 14 hari. Kecepatan pertumbuhan, kemampuan adaptasi, serta kandungan metabolit sekundernya menjadikan *Dunaliella salina* sebagai sumber daya yang potensial dalam pengembangan teknologi budidaya mikroalga yang efisien dan berkelanjutan. Pemanfaatan potensi ini perlu didukung dengan pengelolaan budidaya yang optimal dengan memperhatikan setiap faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dari *Dunaliella salina*. Pertumbuhan *Dunaliella salina* salah satunya dipengaruhi oleh faktor

eksternal, yakni kondisi nutriennya. Menurut (Hadiyanto dan Nur, 2012) pemberian nutrien yang tidak tepat akan mempengaruhi kondisi pertumbuhan pada mikroalga. Nutrien yang diperlukan *Dunalilella salina* umumnya didapatkan dari pemberian pupuk dengan konsentrasi tertentu. Pupuk berfungsi sebagai sumber unsur hara yang dibutuhkan dalam proses metabolisme mikroalga, seperti nitrogen, fosfor, dan unsur mikro lainnya. Pemberian jenis pupuk yang sesuai dapat meningkatkan laju pertumbuhan dan kepadatan sel *Dunaliella salina* secara signifikan, sehingga perlu ditemukan jenis pupuk yang sesuai untuk menunjang proses kultivasi mikroalga agar dapat tumbuh secara optimal.

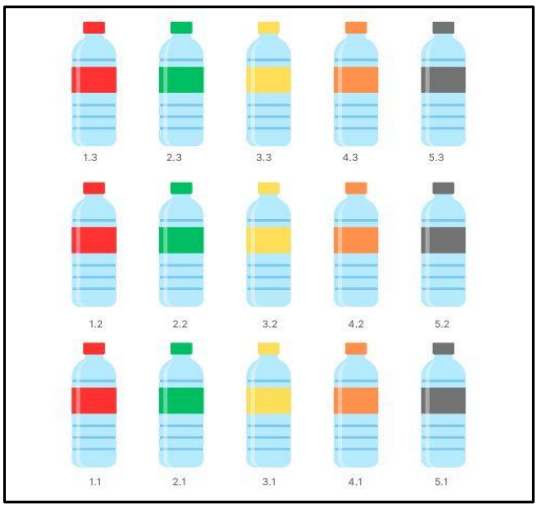
Penelitian mengenai pengaruh variasi pupuk terhadap pertumbuhan *Dunaliella salina* sendiri masih tergolong terbatas, khususnya dalam konteks penggunaan pupuk Walne, Guillard, dan Growmore sebagai variabel pembanding. Pupuk Walne dan Guillard merupakan media kultur yang umum digunakan dalam budidaya mikroalga karena memiliki kandungan nutrien makro dan mikro yang lengkap. Fatmanita *et al.,* (2023) menjelaskan bahwa pupuk Walne dan Guillard memiliki komposisi kandungan makro dan mikronutrien yang dibutuhkan mikroalga, yang berfungsi dalam sintesis protein serta asam nukleat. Growmore merupakan pupuk anorganik komersial yang telah diterapkan dalam beberapa penelitian guna meningkatkan produktivitas biomassa mikroalga, meskipun kandungan unsur hara sekundernya tidak sekompleks Walne dan Guillard (Prayitno *et al.,* 2015).

Penelitian terdahulu hanya menguji satu jenis pupuk atau menggunakan konsentrasi tunggal tanpa membandingkan efektivitas antar jenis pupuk. Wardani *et al.,* (2019) hanya menggunakan pupuk Walne sebagai media pertumbuhan tanpa melakukan perbandingan terhadap jenis pupuk lain, sehingga efektivitas Walne tidak dapat dikaji secara komprehensif. Endra *et al.,* (2012) juga menggunakan pupuk Guillard dan Walne dalam proses kultur mikroalga, tetapi tidak menyertakan variasi media lain seperti Growmore yang secara ekonomi lebih terjangkau. Penelitian ini dirancang untuk menganalisis perbedaan pemberian pupuk terhadap laju pertumbuhan dan kepadatan *Dunaliella salina*, guna memperoleh informasi yang lebih menyeluruh mengenai efektivitas masing-masing pupuk dalam mendukung pertumbuhan mikroalga. Evaluasi efektivitas pupuk dilakukan melalui pengukuran parameter laju pertumbuhan harian dan kepadatan sel selama masa kultivasi. Fatmanita *et al.,* (2023) menekankan pentingnya ketersediaan nutrien terhadap pertumbuhan mikroalga, sehingga pemilihan jenis pupuk menjadi poin utama dalam penelitian ini. Fokus utama dalam penelitian ini adalah melakukan pengujian terhadap beberapa jenis pupuk tersebut guna mengetahui efektivitas masing-masing dalam mendukung pertumbuhan mikroalga *Dunaliella salina*. Pentingnya eksperimen terkait perberian pupuk berbeda terhadap laju pertumbuhan dan kepadatan *Dunaliella salina* guna mengetahui pupuk mana yang terbaik dan dapat digunakan dalam budidaya yang efisien.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Biologi Laut jurusan Kelautan dan Perikanan Universitas Trunojoyo Madura. Bibit *Dunaliella salina* dibeli dari BBAP Situbondo. Kegiatan dilakukan pada bulan Februari hingga Maret. Penelitian ini melakukan perlakuan pupuk growmore modifikasi. Pembuatan media dilakukan dengan mencampurkan media air laut steril dan media air tawar steril hingga mencapai salinitas 30 ppt. lalu selanjutnya dilakukan penebaran bibit dan pemberian perlakuan dengan pupuk yang berbeda terhadap 5 perlakukan dengan 3 ulangan. Pada setiap perlakukan dilakukan perhitungan laju pertumbuhan spesifik dan kepadatan.



Gambar 1. Rancangan perlakuan sampel Keterangan: (1.1-1.3) kontrol Positif-KP (2.1-2.3) Walne (3.1-3.3) guillard (4.1-.4.4) Growmore(5.1-5.3) Kontrol negatif-KN

Laju pertumbuhan spesifik pada mikroalga adalah ukuran kecepatan pertambahan jumlah atau biomassa mikroalga dalam satuan waktu

tertentu selama fase pertumbuhan (log) eksponensial. Laju ini dinyatakan dengan simbol μ (mu) dan dihitung berdasarkan perubahan logaritmik jumlah sel atau kepadatan mikroalga dari waktu ke waktu. Nilai μ mencerminkan kemampuan mikroalga untuk berkembang biak di bawah kondisi lingkungan tertentu, seperti ketersediaan nutrien pada media kultivasi. Laju pertumbuhan spesifik mikroalga *Dunaliella salina* dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada penelitian Sianaga *et al.,* (2020).

$$\mu \frac{lnWt - lnW0}{t} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana, μ adalah Pertumbuha Rata-Rata; W_t adalah Jumlah Puncak Populasi (sel/ml); W_o adalah Kepadatan mikroalga awal (sel/ml); T adalah Waktu awal (hari).

Kepadatan *Dunaliella salina*

Uji kepadatan *Dunaliella salina* dilakukan untuk mengetahui jumlah sel mikroalga dalam suatu volume sampel Hasil perhitungan jumlah sel kemudian dikonversi menjadi kepadatan sel per mililiter (×10^4 sel/mL) menggunakan rumus:

N = Rata-rata jumlah sel × 10^4 sel ml × FP .. (2)

Dimana, N adalah kepadatan sel (sel/mL); FP adalah pengenceran

Hasil uji kepadatan ini dianalisis untuk mengetahui pola pertumbuhan *Dunaliella salina* dan hubungan nya dengan pemberian pupuk yang berbeda dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Pertumbuhan Spesifik *Dunaliella salina*

Pertumbuhan spesifik pada pemberian pupuk berbeda menghasilkan data yang berbeda-beda. Hasil pertumbuhan spesifik di dapatkan dari pertumbuhan tertinggi pada mikroalga (fase log), selain itu juga dilakukan perhitungan *doubling time* yang merupakan waktu yang dibutuhkan mikroalga untuk melakukan pembelahan. Tabel hasil perhitungan pertumbuhan spesifik dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Pertumbuhan Spesifik

Berdasarkan hasil perhitungan laju pertumbuhan spesifik didapatkan bahwa perlakuan Growmore 1 ml/L menunjukkan hasil terbaik dengan laju pertumbuhan spesifik tertinggi (μ = 0,883/hari^{-1}) dan waktu penggandaan tercepat (G = 0,78/hari). Hasil ini apabila dibandingkan dengan penelitian Kasim *et al.,* (2017) mengenai *Dunaliella salina* yang dibudidayakan dalam nutrien modifikasi, laju pertumbuhan spesifik tertinggi yang mereka capai adalah 0,0458 jam^{-1} atau setara dengan 1,0992 hari^{-1} pada media A9, dan 0,0251 jam−1 atau setara dengan 0,6024 hari^{-1} pada media A6. Kondisi ini menunjukkan bahwa laju pertumbuhan spesifik *Dunaliella salina* yang diperoleh dalam penelitian ini berada pada kisaran yang kompetitif dan bahkan melampaui performa media A6 yang digunakan oleh Kasim *et al.,* (2017). Kondisi ini menunjukkan bahwa komposisi pupuk Growmore dengan tambahan trace metal dan vitamin mampu mendukung pembelahan sel dan fotosintesis *Dunaliella salina* secara optimal. Hernandi *et al.,* (2019) menunjukkan bahwa pemberian pupuk Growmore meningkatkan produksi lipid hingga 32% serta pertumbuhan biomassa mikroalga secara signifikan. Pernyataan ini juga didukung oleh Nguyen *et al.,* (2014) bahwa pupuk berbasis NPK seperti Growmore menyediakan sumber nutrisi utama berupa nitrogen, fosfor, dan kalium yang penting untuk sintesis biomolekul dalam mikroalga, sehingga mendukung pertumbuhan mikroalga.

Tabel 1. Tabel laju pertumbuhan spesifik *Dunaliella salina*

Perlakuan	Laju Pertumbuhan Spesifik (μ, hari^{-1})	Waktu Penggandaan (G, hari^{-1})
KP	0,648	1,08
WALNE	0,733	0,95
GULLARD	0,727	0,95
GROMORE	0,883	0,78
KN	0,557	1,24

Perlakuan pupuk Walne 1,5 ml/L menempati posisi kedua dalam uji laju pertumbuhan spesifik dengan μ sebesar 0,733 hari^{-1} dan G sebesar 0,95 hari. Peningkatan konsentrasi pupuk Walne dari 1 ml/L ke 1,5 ml/L berkontribusi terhadap peningkatan biomassa karena tersedianya unsur hara mikro seperti Fe, Zn, Mn, dan vitamin B12 yang mendukung metabolisme mikroalga. Wardani *et al.,* (2022) menemukan bahwa Walne pada 1,5 ml/L

meningkatkan laju pertumbuhan dan kandungan protein *Tertaselmis chui* lebih tinggi dibandingkan konsentrasi di bawahnya. Penelitian oleh Wahyuni *et al.,* (2019) memperkuat bahwa Walne sebagai pupuk kompleks meningkatkan fase eksponensial pertumbuhan *Chlorella sp.* secara signifikan hingga hari ke-5 dengan kepadatan lebih tinggi dibanding kontrol.

Perlakuan Guillard 1 ml/L berada di peringkat ketiga, dengan μ sebesar 0,727 hari^{-1} dan G sebesar 0,95 hari, hampir setara dengan Walne. Medium Guillard memang diformulasikan khusus untuk mikroalga laut dan mengandung senyawa nitrogen, fosfor, serta vitamin penting untuk pertumbuhan. Hasil ini sejalan dengan temuan dari Ghasemi *et al.,* (2023) dalam jurnal *Journal of Plant Environmental Physiology*, yang juga menggunakan media Guillard (f/2) dalam budidaya *Dunaliella salina* dengan berbagai perlakuan hormon giberelin (GA_3). Dalam penelitian tersebut laju pertumbuhan spesifik mampu di optimalkan melalui dukungan unsur hara esensial dan perlakuan hormon. Kondisi ini menunjukkan bahwa kandungan nutrisi dalam pupuk guillard mendukung pertumbuhan mikroalga *Dunaliella salina*, yang kemungkinan besar disebabkan oleh ketersediaan unsur hara makro dan mikro secara seimbang yang mempercepat proses metabolisme dan pembelahan sel.

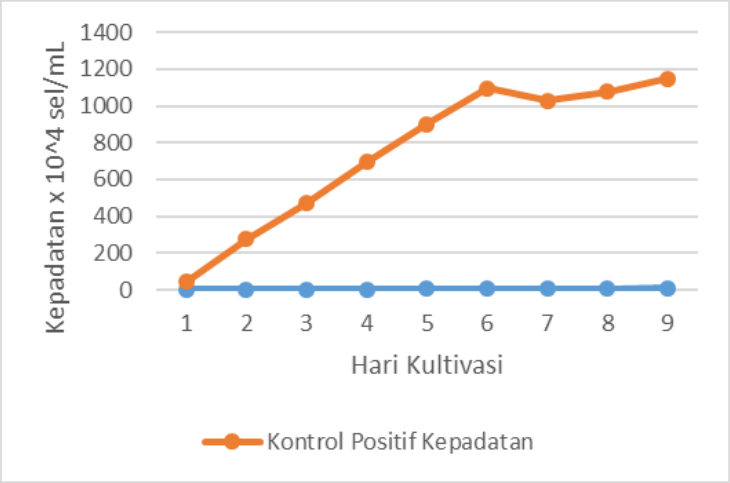
Hasil yang didapatkan dari perlakuan pupuk guillard secara data spesifik lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Kawaroe *et al*., (2015), di mana laju pertumbuhan spesifik tertinggi yang diperoleh untuk *Chlorella sp*. hanya sebesar 0,227sel/hari pada perlakuan nutrien guillard/f2, dan sebesar 0,39 sel/hari pada perlakuan fotoperiode 24 jam terang. Kondisi yang sama juga terjadi pada *Dunaliella sp.,* dengan laju pertumbuhan spesifik maksimum sebesar 0,289 sel/hari untuk variasi nutrien dan 0,329 sel /hari untuk fotoperiode. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan metode kultivasi, komposisi media, mikroalga yang dikutivasikan dan sistem kultur yang digunakan. Penelitian Kawaroe *et al*., (2015) dilakukan dengan volume kultur 100 mL dalam kondisi laboratorium terkontrol, sedangkan pada penelitian ini menggunakan volume yang lebih besar dan menggunakan komposisi nutrien yang berbeda, kondisi ini memungkinkan terjadi perbedaan hasil perolehan laju pertumbuhan spesifik.

Perlakuan KP (Walne 1 ml/L) menempati posisi ke 4 dengan μ sebesar 0,648 hari^{-1} dan G sebesar 1,080 hari. Meskipun Walne merupakan medium yang baik, dosis 1 ml/L tampaknya belum cukup optimal untuk mendukung pertumbuhan maksimal *Dunaliella salina*. Penelitian oleh Wardani *et al.,* (2022) menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi Walne dari 1 ml/L menjadi 1,5 ml/L menghasilkan pertumbuhan lebih baik dan peningkatan kandungan klorofil pada *Chlorella sp*. Mahdi *et al.,* (2012) juga menyatakan bahwa efektivitas medium tumbuh sangat dipengaruhi oleh konsentrasi nutrien, pada dosis rendah aktivitas metabolik sel tidak berkembang secara optimal, yang menyebabkan rendahnya laju pertumbuhan.

Perlakuan KN (Kontrol Negatif/Tanpa Pupuk) menempati posisi terakhir dalam perhitungan laju pertumbuhan spesifik, dengan μ sebesar 0,557 hari^{-1} dan G sebesar 1,24 hari. Pertumbuhan yang terjadi pada perlakuan ini sangat terbatas karena tidak ada suplai nutrien tambahan. Kondisi ini dijelaskan oleh Ikaran *et al.,* (2015), mikroalga yang tidak mendapat nutrisi tambahan mengalami penurunan aktivitas fotosintetik dan efisiensi metabolik. Viqram *et al.,* (2018) juga menyebutkan bahwa kontrol tanpa pupuk menghasilkan pertumbuhan mikroalga yang jauh lebih lambat dibanding perlakuan dengan medium lengkap karena keterbatasan unsur esensial seperti nitrogen dan fosfat.

Kepadatan *Dunaliella salina* Perlakuan Kontrol Positif

Pertumbuhan *Dunaliella salina* pada perlakuan pupuk Walne konsentrasi 1 mL/L mengikuti kurva pertumbuhan mikroalga yang khas, yakni meliputi empat tahap utama: lag, log, stasioner, dan kematian. Selama sembilan hari pengamatan kultur kontrol positif menunjukkan respons pertumbuhan yang bervariasi sesuai fase dan kondisi lingkungan, termasuk ketersediaan nutrien dari pupuk Walne. Pada hari pertama kultur kepadatan rata-rata sel masih rendah yakni 44,3 x 10^4 sel/mL. Data ini mengindikasikan bahwa kultur berada pada fase lag, ketika sel sedang beradaptasi dan belum aktif membelah Widayat *et al.,* (2022) menjelaskan fase lag ditandai oleh proses fisiologis yang berjalan perlahan karena sel membutuhkan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan seperti media, ph, suhu dan pencahayaan. Grafik kepadatan *Dunaliella salin* pada perlakuan kontrol positif dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Grafik Kepadatan *Dunaliella salina* perlakuan Kontrol Positif

Hari kedua hingga kelima menandai fase log (eksponesial). Fase ini pertumbuhan sel berlangsung sangat cepat, ditandai oleh peningkatan tajam kepadatannya, dimana kepadatan tertinggi mencapai 273,8 x 10^4 sel/mL. fase ini mikroalga telah berhasil beradaptasi dengan lingkungannya dan memanfaatkan nutrien dengan optimal. Menurut Fakhri *et al.,* (2024), fase log (eksponesial) merupakan periode ketika mikroalga mengalami kenaikan kepadatan dan biomasa dikarenakan pembalahan sel mulai aktif.

Hari keenam hingga ketujuh memperlihatkan melambatnya laju pertumbuhan yang mengindikasi masuknya kultur ke fase stasioner. Angreani *et al.,* (2019) menjelaskan fase ini di tandai oleh pertumbuhan sel yang mulai terhenti dan tidak stabil dikarenakan nutrisi dalam media telah habis. Penurunan terlihat jelas pada hari ke 6, dimana kepadatan mencapai 1028 x 10^4 sel/mL, dan pada hari ke 7 mengalami sedikit peningkatan mencapai 1079 x 10^4 sel/mL. Kondisi ketidakstabilan pertumbuhan mikroalga mengindikasi bahwa kandungan nutrien dalam pupuk Walne konsentrasi 1 ml/liter sudah tidak lagi mencukupi untuk mendukung pertumbuhan optimal. Suryani dan Tapiqurrahman (2021) menjelaskan bahwa pada fase ini terjadi keseimbangan antara pembelahan dan kematian sel. Pernyataan ini di perkuat oleh Bogaert *et al.,* (2019) dimana fase stasioner mikrolga terjadi karena sumber karbon dalam medium telah habis, sehingga pertumbuhan menjadi melambat.

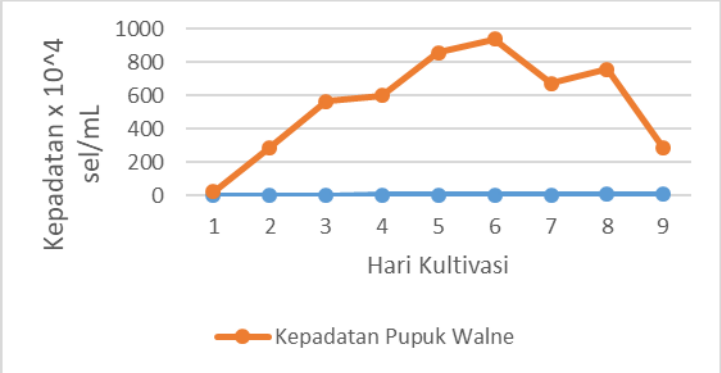
Hari kedelapan menunjukkan pola pertumbuhan yang mengalami lonjakan, dimana kepadatan rata-rata didapatkan 1149,2 x 10^4 sel/mL. Fenomena ini menunjukkan kemungkinan adanya pemanfaatan sisa nutrien atau perubahan lingkungan mikro yang mendukung pemulihan pertumbuhan. Kandungan track metal dan vitamin dalam pupuk Walne konsentrasi 1 ml/liter, meskipun jumlahnya kecil, masih dapat memberikan efek positif bagi sel yang mampu bertahan dan beradaptasi. Fitriyanto dan Soeprobowati, (2013) menjelaskan kondisi ini dapat terjadi disebabkan adanya beberapa sel mikroalga yang bertahan pada masa stasioner karena masih ada sisa nutrien dan suplai dari sisa sel mikroalga yang mati sehingga dapat dimanfaatkan sebagai nutrien tambahan.

Pola pertumbuhan *Dunaliella salina* memperlihatkan bahwa pupuk Walne konsentrasi 1 ml/liter mampu menopang siklus hidup mikroalga dengan menyediakan nutrien yang diperlukan di setiap fase. Variasi antar ulangan memperlihatkan pentingnya menjaga homogenitas lingkungan kultur agar hasil lebih konsisten. Walne konsentrasi 1 ml/liter terbukti mendukung pertumbuhan hingga fase log (eksponesial), meskipun efektivitasnya berkurang saat fase lanjut karena keterbatasan nutrien dan munculnya faktor stres lingkungan. Penelitian oleh Wardani *et al.,* (2022) juga mendapatkan hasil serupa dimana laju pertumbuhan mulai menurun setelah fase log yang di sebabkan oleh keterbatasan nutrien pada media.

Kepadatan Perlakuan Pupuk Walne

Pola pertumbuhan mikroalga *Dunaliella salina* yang diberi perlakuan pupuk Walne dengan konsentrasi 1,5 ml/liter menunjukkan perkembangan yang sesuai dengan karakteristik umum pertumbuhan mikroalga. Berdasarkan data kepadatan sel selama sembilan hari terlihat bahwa *Dunaliella salina*

mengalami fase-fase pertumbuhan yang stabil. Hari ke-0 hingga hari ke-1, kepadatan sel masih sangat rendah dengan rata-rata sebesar 24 × 10^4 sel/mL. Kondisi ini menandakan bahwa mikroalga sedang berada pada fase lag, yaitu masa adaptasi terhadap lingkungan media baru yang mengandung pupuk Walne. Fase ini aktivitas pembelahan sel belum berlangsung optimal karena sel masih menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan (Muria *et al.,* 2023). Grafik kepadatan *Dunaliella salin* pada perlakuan pupuk walne dapat dilihat pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Grafik Kepadatan *Dunaliella salina* perlakuan Walne

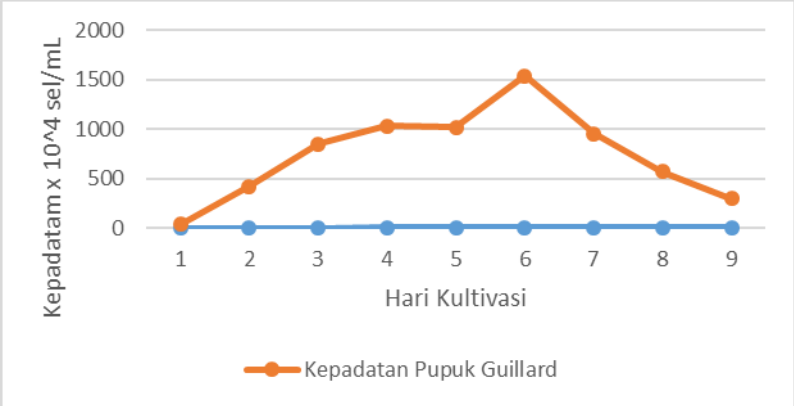
Memasuki hari ke-1 hingga hari ke-5, mikroalga mulai menunjukkan pertumbuhan cepat yang mengindikasikan fase logaritmik. Fase ini, kepadatan meningkat secara drastis, dengan puncak kepadatan tercapai pada hari ke-5, yakni 937 × 10^4 sel/mL. Pertumbuhan pesat ini menandakan bahwa sel telah berhasil beradaptasi dan memanfaatkan nutrien dari pupuk Walne secara optimal. Hasil ini konsisten dengan penelitian oleh Wardani *et al.*, (2022) menyatakan bahwa pemberian pupuk Walne dengan konsentrasi 1,5 ml/liter mampu mendukung pertumbuhan optimal *Dunaliella salina* pada fase pertumbuhan aktif.

Hari ke-6 hingga hari ke-7, terjadi fluktuasi kepadatan yang menandai masuknya mikroalga ke fase stasioner. Fase ini laju pembelahan sel mulai melambat akibat terbatasnya ketersediaan nutrien dan meningkatnya kompetisi antar sel. Terlihat pada grafik kepadatan mulai menurun dari awalnya 937 × 10^4 sel/mL di hari ke-5 menjadi 668,4 × 10^4 sel/mL pada hari ke-6, kemudian meningkat kembali menjadi 751,1 × 10^4 sel/mL pada hari ke-7. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa mikroalga mulai mencapai masa stasioner, dimana menurut Lawijaya *et al.*, (2023) pada kondisi stasinoner mikroalga mulai kehabisan nutrien dan megalami fase ketidakstabilan kultivasi sehingga sebagian mikroalga mengalami kematian yang menyebabkan penurunan kepadatan sel.

Memasuki hari ke-8 terjadi penurunan kepadatan sel yang turun drastis dari 751,1 x 10^4 sel/mL menjadi 276,3 × 10^4 sel/mL. Penurunan ini mengindikasikan fase kematian yang disebabkan oleh habisnya nutrien dalam media sehingga terjadi penurunan kepadatan sel secara drastis (Tewal *et al.,* 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun pupuk Walne efektif dalam mendukung pertumbuhan awal mikroalga, diperlukan pengelolaan lanjutan untuk mempertahankan pertumbuhan pada fase berikutnya. Hasil ini membuktikan bahwa pupuk Walne dapat digunakan sebagai media kultur yang mendukung pertumbuhan *Dunaliella salina* secara optimal, terutama selama fase adaptasi dan pertumbuhan aktif. Namun untuk mempertahankan kestabilan pertumbuhan jangka panjang, perlu dipertimbangkan strategi seperti penggantian media atau penambahan nutrien secara berkala.

Kepadatan Perlakuan Pupuk Guillard

Kepadatan sel *Dunaliella salina* pada hari ke-0 hingga hari ke-1 masih tergolong rendah dengan kepadatan rata-rata mencapai 40,5 × 10^4 sel/mL (GL 3). Nilai tersebut mencerminkan bahwa mikroalga sedang berada pada fase lag, yakni masa adaptasi sel terhadap kondisi lingkungan dan media baru yang mengandung pupuk Guillard. Fase ini menunjukkan bahwa sel mikroalga belum aktif membelah dimana mikroalga masih menyesuaikan metabolisme internal dengan ketersediaan nutrien di media. Kondisi ini sesuai dengan penelitian Sugiati *et al*., (2019), yang menjelaskan bahwa *Dunaliella salina* membutuhkan waktu adaptasi selama 24 hingga 48 jam sebelum memasuki fase pertumbuhan aktif dalam media kultur buatan. Grafik kepadatan *Dunaliella salin* pada perlakuan pupuk guillard dapat dilihat pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Grafik Kepadatan *Dunaliella salina* perlakuan Guillard

Memasuki hari ke-1 hingga hari ke-5, grafik pertumbuhan menunjukkan peningkatan kepadatan sel pada seluruh ulangan. Kepadatan sel meningkat dari 423,8 × 10^4 sel/mL menjadi 1532 × 10^4 sel/mL. Periode ini menunjukkan fase logaritmik, di mana mikroalga telah berhasil beradaptasi dan memanfaatkan nutrien secara optimal. Pertumbuhan pesat ini mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan, maupun konsentrasi nutrien masih sangat mendukung. Penelitian Charioui *et al*., (2016) menyatakan bahwa mikroalga *Dunaliella* menunjukkan pertumbuhan optimal pada fase log saat media kultur menyediakan nutrien dalam kadar ideal.

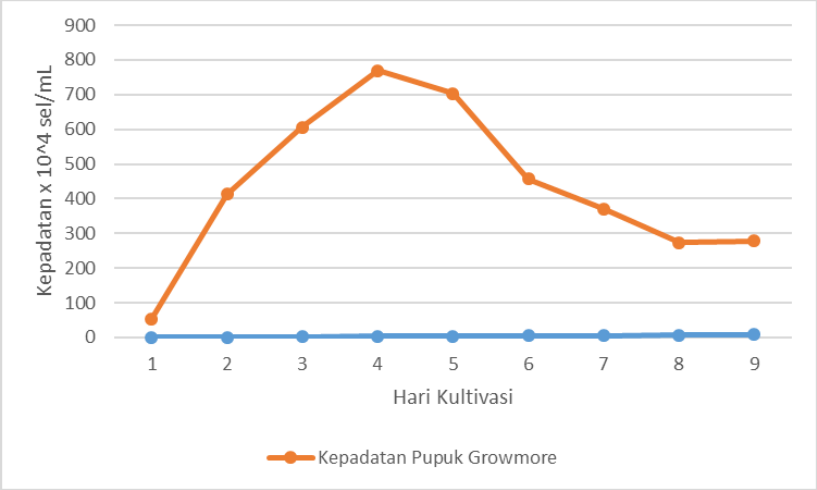
Setelah hari ke-5, laju pertumbuhan mulai melambat dan mengalami penurunan, menandai dimulainya fase stasioner. Kepadatan sel menurun menjadi 946,8 x 10^4 sel/mL pada hari ke-6. Penurunan ini menandakan bahwa sebagian besar nutrien dalam media mulai habis dan terjadi kompetisi antar sel untuk mendapatkan nutrien yang tersisa. Ketidakseimbangan antara laju pertumbuhan dan laju kematian sel menyebabkan stagnasi pertumbuhan. Bahagia *et al.,* (2019) menjelaskan bahwa saat populasi mikroalga mencapai kapasitas maksimum maka selanjutnya akan terjadi fase stasioner yang di sebabkan oleh terbatasnya ketersediaan nutrien sehingga laju pertumbuhan menurun.

Fase kematian mulai terjadi pada hari ke-7 hingga hari ke-8, di mana kepadatan sel terus menurun secara signifikan dengan kepadatan hari ke 7 berada pada 561,4 x 10^4 sel/mL dan pada hari ke 8 mencapai 288,6 x 10^4 sel/mL. Kondisi ini menunjukkan bahwa media sudah tidak mendukung pertumbuhan baik karena habisnya nutrien maupun akumulasi senyawa toksik. Masitoh *et al.,* (2024) menyatakan bahwa fase kematian ditandai dengan dominasi sel mati akibat kondisi lingkungan yang memburuk. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun pemberian nutrien dilakukan hanya sekali di awal kultivasi, kepadatan yang dihasilkan masih lebih tinggi dibandingkan penelitian Kawaroe *et al.,* (2009), yang menjelaskan dalam penelitiannya pada mikroalga *Dunaliella salina* menghasilkan kepadatan maksimal hanya mencapai 971,8 x 10^4 sel/mL meskipun pemberian nutrien dilakukan setiap dua hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas pemberian nutrien di awal dengan dosis yang tepat dapat menghasilkan kepadatan sel yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian nutrien berkala namun tidak terkontrol. Pratiwi *et al.*, (2019) turut mendukung hal ini dengan menyatakan bahwa pemberian nutrien yang berlebihan justru dapat memicu stres pada mikroalga, sehingga menghambat pertumbuhan.

Kepadatan Perlakuan Pupuk Growmore

Pertumbuhan *Dunaliella salina* pada media dengan pupuk Growmore menunjukkan hasil yang paling rendah dibandingkan dengan perlakuan menggunakan pupuk Guillard dan Walne. Selama masa kultivasi kepadatan sel yang dihasilkan tidak pernah melebihi 1000 sel/mL, sehingga menjadikan pupuk Growmore sebagai perlakuan dengan efektivitas terendah dalam mendukung pertumbuhan mikroalga. Siklus pertumbuhan *Dunaliella salina* pada media Growmore juga berlangsung lebih singkat. Pada fase awal (hari ke-0 hingga hari ke-1), mikroalga masih menunjukkan aktivitas pertumbuhan yang sangat rendah dengan kepadatan rata-rata sebesar 54,1 x 10^4 sel/mL. Kondisi ini menunjukkan bahwa mikroalga sedang berada dalam fase lag, yaitu fase adaptasi fisiologis terhadap kondisi lingkungan dan nutrien baru. Kondisi pada fase ini sel belum aktif membelah dan masih menyesuaikan metabolisme internal. Wulandari *et al.*, (2013) menjelaskan bahwa

media dengan pupuk sintetis seperti Growmore memerlukan waktu adaptasi yang cukup sebelum dapat mendukung pertumbuhan maksimal mikroalga. Grafik kepadatan *Dunaliella salin* pada perlakuan pupuk growmore dapat dilihat pada **Gambar 5.**



Gambar 5. Grafik Kepadatan Dunaliella salina perlakuan Growmore

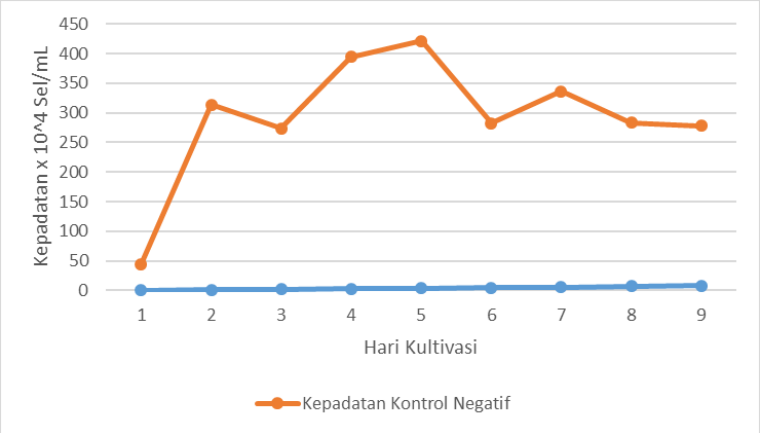
Memasuki hari ke-1 hingga ke-3, terjadi peningkatan kepadatan sel yang menandai fase logaritmik, di mana pertumbuhan berlangsung cepat karena sel telah beradaptasi dengan baik, kepadatan yang didapatkan pada periode ini dimulai di hari ke-1 dengan kepadatan 411,5 x 10^4 sel/mL. Puncak pertumbuhan terjadi pada hari ke-4, yaitu 765,9 x 10^4 sel/mL. Setelah itu, pertumbuhan mulai melambat dan memasuki fase stasioner pada hari ke-5 hingga ke-7 dengan kepadatan menurun dari 451,3 10^4 sel/mL menjadi 269,8 x 10^4 sel/mL. Fase ini nutrien dalam media mulai menipis dan laju pembelahan sel menurun karena kompetisi antar sel yang semakin tinggi. Elystia *et al.,* (2019) menyatakan bahwa kondisi ini merupakan tanda bahwa sistem kultur sudah tidak bisa menyediakan nutrien untuk berkembang sehingga metabolisme sel tidak lagi optimal.

Fase kematian pada media Growmore terjadi mulai hari ke-7 hingga hari ke-8. Pada periode ini, kepadatan sel menurun secara bertahap dari 366 x 10^4 sel/mL. menjadi 269,8 x 10^4 sel/mL Penurunan ini mengindikasikan bahwa media tidak lagi mampu mendukung pertumbuhan sel akibat habisnya nutrien dan memburuknya kondisi lingkungan. Fase ini sesuai dengan penjelasan dari Rohsadi *et al.,* (2015) yang menyatakan bahwa fase kematian ditandai dengan dominasi sel mati akibat kondisi lingkungan yang tidak lagi mendukung. Secara keseluruhan, pupuk Growmore menghasilkan pertumbuhan yang rendah dan masa hidup kultur yang lebih singkat. Meskipun demikian, penggunaan Growmore tetap dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber nutrien, sebagaimana dijelaskan oleh Prayitno *et al.*, (2014), yang menyebutkan bahwa pupuk ini dapat digunakan sebagai pupuk alternatif dalam kultivasi mikroalga namun efektivitasnya masih berada di bawah pupuk Guillard dan Walne.

Kepadan Perlakuan Kontrol Negatif

Pertumbuhan *Dunaliella salina* pada perlakuan kontrol negatif (KN) tanpa pemberian nutrien menunjukkan dinamika yang tidak konsisten dan cenderung fluktuatif. Sejak hari ke-0 hingga hari ke-1 kepadatan sel meningkat cukup signifikan dari 45 x 10^4 sel/mL menjadi 312,5 x 10^4 sel/mL. Peningkatan ini menunjukkan bahwa *Dunaliella salina* masih mampu memanfaatkan cadangan internal atau sisa nutrien dalam media alami untuk menunjang pertumbuhan awal. Kondisi ini hanya berlangsung singkat karena tidak ada suplai nutrien tambahan selama masa kultivasi. Kondisi ini sejalan dengan penelitan oleh Celente *et al.,* (2022) bahwa mikroalga masih dapat tumbuh hanya dengan memanfaatkan CO_2 dan cadangan internal tanpa tambahan nutrien. Kondisi pada hari ke-2 hingga hari ke-4, pertumbuhan sel mengalami fluktuasi. Kepadatan *Dunaliella salina sempat* menurun pada hari ke-2 menjadi 271,9 x 10^4 sel/mL, kemudian meningkat kembali hingga 417,3 x 10^4 sel/mL pada hari ke-4. Ketidakkonsistenan ini menandakan bahwa sel mulai mengalami keterbatasan nutrien dan tidak dapat mempertahankan pertumbuhan logaritmik secara berkelanjutan. Kondisi ini dijelaskan dalam penelitian oleh Lv *et al.,* (2016) yang menjelaskan bahwa *Dunaliella salina* dapat menggunakan cadangan nutrien internalnya,

terutama nitrogen dan fosfor, untuk mempertahankan pertumbuhan dalam jangka pendek ketika pasokan nutrien eksternal terbatas. Fase stasioner tidak terlihat jelas pada perlakuan ini, karena fluktuasi kepadatan sel tidak menunjukkan kestabilan fase kultivasi. Sebaliknya setelah hari ke-4, terjadi penurunan yang mengindikasikan awal dari fase kematian. Grafik kepadatan *Dunaliella salin* pada perlakuan kontrol negatif dapat dilihat pada **Gambar 6.**



Gambar 6. Grafik Kepadatan Perlakuan Negatif

Periode berikutnya kepadatan *Dunaliella salina* tetap menunjukkan tren penurunan secara bertahap setelah hari ke-4, di mana pada hari ke-8 hanya mencapai 269,9 x 10^4 sel/mL. Pola ini memperkuat indikasi bahwa tanpa suplai nutrien eksternal *Dunaliella salina* tidak dapat mempertahankan kepadatan sel yang tinggi secara konsisten. Secara keseluruhan perlakuan kontrol negatif menunjukkan bahwa nutrien eksternal memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan berkelanjutan mikroalga. Meskipun *Dunaliella salina* dikenal sebagai mikroalga yang toleran terhadap kondisi ekstrem, pertumbuhannya tetap sangat bergantung pada ketersediaan nutrien. Penelitian oleh Prayitno *et al.,* (2015) juga menyebutkan bahwa kultur *Dunaliella salina* tanpa tambahan nutrien menunjukkan efisiensi pertumbuhan yang sangat rendah dan hanya mengandalkan kemampuan adaptasi jangka pendek sel terhadap kondisi lingkungan yang terbatas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pemberian pupuk yang yang berbeda terhadap laju pertumbuhan dan kepadatan *Dunaliella salina,* dengan variasi pupuk (walne, guillard, growmore) dapat disimpulkan bahwa perlakuan Growmore 1 ml/L menghasilkan laju pertumbuhan spesifik tertinggi **(**0,883 hari^{-1}; G = 0,78 hari**),** sedangkan kontrol tanpa pupuk menghasilkan laju terendah **(**0,557 hari^{-1} dan G = 1,24 hari**).** Kepadatan tertinggi diperoleh pada perlakuan Guillard **(**2156 × 10^4 sel/mL), diikuti kontrol positif, Growmore, dan Walne.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraeni, V. J., Wahyu, T. S., Kusriani, H., Kurnia, D., & Bandung, F. (2019). Aktivitas antibakteri ekstrak mikroalga thalassiosira sp terhadap bakteri staphylococcus aureus, staphylococcus epidermidis dan propionibacterium acne. *Jurnal Kimia Riset*, *4*(1), 62-73. https://doi.org/10.20473/jkr.v4i1.13314

Bahagia, B., & Viena, V. (2019). Analisis CO2 Pertumbuhan Mikro Alga Hijau dengan Menggunakan Fermentor dalam Tanki Tertutup. *Jurnal Serambi Engineering*, *4*(1), 464-470. https://doi.org/10.32672/jse.v4i1.980

Bogaert, K. A., Perez, E., Rumin, J., Giltay, A., Carone, M., Coosemans, N., Radoux, M., Eppe, G., Levine, R. D., Remacle, F., & Remacle, C. (2019). Metabolic, Physiological, and Transcriptomics Analysis of Batch Cultures of the Green Microalga Chlamydomonas Grown on Different Acetate Concentrations. *Cells*, *8*(11), 1367. https://doi.org/10.3390/cells8111367

Charioui, I., Chikhaoui, M., Banaoui, A., Abbassi, M., El Filali, F., & Kaaya, A. (2016). Growth and carotenoid production in Dunaliella spp. isolated from hypersaline habitats in the region of essaouira (morocco): effect of NaNO3 concentration. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, *4*, 649-657. https://doi.org/10.17265/2328-2150/2016.12.001

Elystia, S., Lestari, A. S., & Muria, S. R. (2019). Peningkatan Kandungan Lipid dan

Biomassa Mikroalga Scenedesmus sp. dari Media Kultivasi Limbah Cair Tahu Sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, *5*(2). https://doi.org/10.20527/jukung.v5i2.7315

Fatmanita, F., & Nurrachmi, I. Efektivitas Kandungan Nitrogen dalam Pupuk Berbeda terhadap Klorofil pada Nannochloropsis sp. Skala Laboratorium. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, *11*(3), 192-201. https://doi.org/10.31258/jipas.11.3.p.192-201

Fitriani, F., Fendi, F., & Rochmady, R. (2017). Pengaruh pemberian pupuk anorganik (NPK+ Silikat) dengan dosis berbeda terhadap kepadatan Skeletonema costatum pada pembenihan udang windu. *Akuatisle: Jurnal Akuakultur*, *1*(1), 11-18. https://doi.org/10.29239/j.akuatikisle.1.1.11-18

Ghasemi, M., Ganjali, S., Keykhasaber, M., & Modarresi, M. (2023). The efficacy of different concentrations of gibberellic acid on physiological traits of Dunaliella salina microalgae in Guillard (f/2) medium. *Journal of Plant Environmental Physiology*, (70).

Hadiyanto, H., & Nur, M. A. (2012). Mikroalga: Sumber Pangan & Energi Masa Depan.

Hernandi, R., Dharma, A., & Armaini, A. (2019). Penapisan, isolasi, dan karakterisasi mikroalga yang berpotensi sebagai sumber biodiesel dari perairan Danau Kerinci, Jambi. *Indonesian Journal of Industrial Research*, *9*(1), 41-49. https://doi.org/10.24960/jli.v9i1.4326.41-49

Ikaran, Z., Suárez-Alvarez, S., Urreta, I., & Castañón, S. (2015). The effect of nitrogen limitation on the physiology and metabolism of Chlorella vulgaris var L3. *Algal Research*, *10*, 134-144. https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.04.023

Jelizanur, P., & Muria, S. R. (2019). Kultivasi mikroalga menggunakan media AF6 pada berbagai pH. *Jom FTEKNIK*, *6*(2), 1-5.

Kasim, S., Taba, P., Raya, I., & Ruslan, R. (2017). Potensi produksi biofuel dari biomassa fitoplankton laut spesies Chlorella Vulgaris, Dunaliella Salina Dan Spirulina sp., yang ditumbuhkan dalam nutrien unggul "Mssip" terinduksi ion logam Fe, Co, dan Ni. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, *3*(1), 89-111. https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i1.8238

Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, D. W., & Augustine, D. (2009). Laju pertumbuhan spesifik chlorella sp. dan dunaliella sp. berdasarkan perbedaan nutrien dan fotoperiode. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia Jilid*, *16*(1), 73-77.

Lawijaya, E., Siswanti, D. U., & Suyono, E. A. (2023). Optimisation of Bioflocculation Using Anabaena sp. and Navicula sp. for Harvesting of Glagah Microalgae Consortium. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, *46*(4). https://doi.org/10.47836/pjtas.46.4.01

Lv, H., Cui, X., Wahid, F., Xia, F., Zhong, C., & Jia, S. (2016). Analysis of the physiological and molecular responses of Dunaliella salina to macronutrient deprivation. *PLoS One*, *11*(3), e0152226. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152226

Mahdi, M. Z., Titisari, Y. N., & Hadiyanto, H. (2012). Evaluasi pertumbuhan mikroalga dalam medium POME: variasi jenis mikroalga, medium dan waktu penambahan nutrient. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, *1*(1), 312-319.

Masitoh, E. H. M., Widigdo, B., & Pratiwi, N. T. M. (2022). Growth of Chlorella sp. and Dunaliella sp. at Different Light Intensities. *Habitus Aquatica*, *3*(1), 35-45.

Mardalisa, M., Zalfiatri, Y., & Rahmayuni, R. (2022, December). The Effect of culture media types on the growth of marine microalgae Chlorella vulgaris. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1118, No. 1, p. 012029). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1118/1/012029

Muria, S. R., Shiddiq, F. M., Damayanti, I., & Purnama, I. (2023). Kultivasi mikroalga Chlorella sp. secara fed-batch menggunakan limbah cair tahu untuk produksi lipid. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science*, *4*(1), 37-56. https://doi.org/10.31258/jbchees.4.1.37-56

Nguyen, S., Tran, D., Portilla, S., & Vo, T. (2014). Medium improvement for higher growth and longer stationary phase of Dunaliella. *Journal of Plant Sciences*, *2*(1), 9-13.

Pourkarimi, S., Hallajisani, A., Alizadehdakhel, A., Nouralishahi, A., & Golzary, A.

(2020). Factors affecting production of beta-carotene from Dunaliella salina microalgae. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *29*, 101771. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101771

Prayitno, J. (2015). Pemberian Pupuk Komersial untuk Pembentukan Biomassa pada Kultur Mikroalga Chlorella sp. dalam Sistem Fotobioreaktor Penangkap Karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, *16*(1), 37-42. https://doi.org/10.29122/jtl.v16i1.1611

Pratiwi, A., Rohmat, & Purba, E. (2019). Penentuan Jumlah Nutrisi Magnesium Dari MgSO4.7H2O Dan Besi Dari FeSO4.7H2O Pada Kultivasi Tetraselmis chuii Terhadap Kandungan Lipid Maksimum. *INOVASI PEMBANGUNAN - JURNAL KELITBANGAN*, *7*(1), 75–86. https://doi.org/10.35450/jip.v7i1.121

Pratiwi, D. Y. (2020). Amini review: effect of Dunaliella salina on the growth and health of fish. *Asian J. Fish. Aquat. Res.*, *10*, 1-8.

Rosahdi, T. D., Susanti, Y., & Suhendar, D. (2015). Uji aktivitas daya antioksidan biopigmen pada fraksi aseton dari mikroalga chlorella vulgaris. *Jurnal Istek*, *9*(1).

Sinaga, L., Putriningtias, A., & Komariyah, S. (2021). PENGARUH INTENSITAS CAHAYA TERHADAP PERTUMBUHAN Nannochloropsis sp. *Jurnal Akuakultura Universitas Teuku Umar*, *4*(2), 31-37. https://doi.org/10.35308/ja.v4i2.3456

Suryani, Y., & Taupiqurrahman, O. (2021). *Mikrobiologi Dasar*. LP2M UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Tewal, F., Kemer, K., Rimper, J. R., Mantiri, D. M., Pelle, W. E., & Mudeng, J. D. (2021). Laju pertumbuhan dan kepadatan mikroalga Dunaliella sp. pada pemberian timbal asetat dengan konsentrasi yang berbeda. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, *9*(1), 30-37. https://doi.org/10.35800/jplt.9.1.2021.33571

Wardani, N. K., Supriyantini, E., & Santosa, G. W. (2022). Pengaruh konsentrasi pupuk Walne terhadap laju pertumbuhan dan kandungan klorofil-a Tetraselmis chuii. *Journal of Marine Research*, *11*(1), 77-85. https://doi.org/10.14710/jmr.v11i1.31732