

Analisis Kelayakan Nutrien Anorganik Jenis N, P, dan Si untuk Kehidupan Fitoplankton di Perairan Pesisir Tompotana Takalar Sulawesi Selatan

**Rahmadi Tambaru^{1)*}; Abdul Haris¹⁾; Muh Farid Samawi¹⁾; Ilmiyanti Aulya
Luthfiyah¹⁾**

¹⁾ Departmen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar

*E-mail: aditbr69@unhas.ac.id

Abstrak

Jenis nutrien anorganik seperti nitrat (N), fosfat (P), dan silikat (Si) banyak diserap oleh fitoplankton. Ketiga jenis nutrien itu sangat penting untuk pertumbuhannya. Melalui proses fotosintesis, ketiga nutrien itu dirubah menjadi cadangan makanan dalam bentuk senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat. Hasil proses fotosintesis digunakan organisme lainnya dalam tropik level untuk bertumbuh. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis distribusi nutrien anorganik jenis N (nitrat), P (fosfat), dan Si (silikat) untuk kehidupan fitoplankton. Pelaksanaan penelitian pada bulan Juni sampai Oktober 2021 pada tiga stasiun di perairan pesisir Tompotana, Kecamatan Kepulauan Tanakeke, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. Pada ketiga stasiun itu, dilakukan pengambilan sampel air untuk keperluan identifikasi fitoplankton dan pengukuran parameter fisika-kimia perairan. Kegiatan yang dilaksanakan di laboratorium seperti identifikasi fitoplankton, pengukuran nitrat, fosfat dan silikat. Berdasarkan analisis varians, konsentrasi nitrat dan fosfat adalah tidak signifikan berbeda ($p > 0.05$) antara stasiun, sebaliknya konsentrasi silikat justru berbeda secara signifikan ($p < 0.05$). Nutrien jenis N, P, dan Si masih dapat diserap dan digunakan oleh fitoplankton untuk bertumbuh walau tidak optimal. Sebanyak 4 kelas dan 24 jenis fitoplankton teridentifikasi. Empat kelas yang dimaksud yaitu Bacillariophyceae, Dinophyceae, Cyanophyceae, dan Coscinodiscophyceae. Dari hasil analisis korelasi Pearsons, hanya nitrat yang berpengaruh secara signifikan terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan Tompotana ($p < 0.05$).

Kata kunci: Fitoplankton, Nitrat, Fosfat, Silikat, Tompotana

Abstract

Inorganic nutrient types such as nitrates (N), phosphates (P), and silicates (Si) are widely absorbed by phytoplankton. All three types of nutrients are very important for their growth. Through the process of photosynthesis, the three nutrients are converted into food reserves in the form of organic compounds such as carbohydrates. The results of the photosynthesis process are used by other organisms in the tropics to grow. The purpose of this study was to analyze the distribution of inorganic nutrients of type N (nitrate), P (phosphate), and Si (silicate) for phytoplankton life. The research was carried out from June to October 2021 at three stations in the coastal waters of Tompotana, Tanakeke Islands District, Takalar Regency, South Sulawesi. At the three stations, water sampling was carried out for the purposes of phytoplankton identification and measurement of physico-chemical parameters of the waters. Activities carried out in the laboratory such as phytoplankton identification, nitrate, phosphate and silicate measurements. Based on the analysis of variance, nitrate and phosphate concentrations were not significantly different ($p > 0.05$) between stations, on the contrary silicate concentrations actually differed significantly ($p < 0.05$). N, P, and Si nutrients can still be absorbed and used by phytoplankton to grow even though they are not optimal. A total of 4 classes and 24 types of phytoplankton were identified. The four classes in question are Bacillariophyceae, Dinophyceae, Cyanophyceae, and Coscinodiscophyceae. From the results of the Pearsons correlation analysis, only nitrates had a significant effect on phytoplankton abundance in Tompotana waters ($p < 0.05$).

Keywords: Phytoplankton, Nitrate, Phosphate, Silicate, Tompotana

Dikirim/submitted: 31 Desember 2023

Diterima/accepted: 28 Januari 2023

1. PENDAHULUAN

Dalam perairan pesisir dan laut, keberadaan nutrien organik maupun anorganik sangat penting untuk mendukung kelangsungan hidup organisme seperti tumbuhan dan hewan (Ramos et al., 2017). Kehadiran dan penambahan konsentrasi khususnya nutrien anorganik, dipengaruhi oleh proses alami (Malagó et al., 2019) maupun antropogenik (Vicente et al., 2021).

Penambahan nutrien anorganik di perairan pesisir dan laut melalui proses alami dapat disebutkan antara lain melalui proses upwelling (Johnson et al., 2020), berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme yang memanfaatkannya (Cavicchioli et al., 2019). Demikian pula dengan penambahan nutrien yang berasal dari curah hujan (Krumme et al., 2012). Berbagai materi yang terkandung didalamnya juga menjadi faktor penyebab tingginya konsentrasi nutrien di dalam perairan. Kedua proses tersebut merupakan contoh-contoh proses yang menjelaskan perubahan konsentrasi nutrien anorganik di perairan pesisir dan laut.

Untuk contoh kasus terjadinya penambahan nutrien anorganik melalui proses antropogenik dapat disebutkan seperti dari kegiatan pertanian dan rumah tangga (Pihlainen et al., 2020) serta industri (Häder et al., 2020). Ketiga kegiatan itu selalu menjadi bahan diskusi terkait perubahan konsentrasi nutrien, dan menjadi sumber utama mempengaruhi kesuburan perairan pesisir dan laut (Diana et al., 2021).

Penambahan konsentrasi nutrien anorganik yang berlebihan dapat menimbulkan pengaruh tersendiri di dalam perairan pesisir dan laut. Eutrofikasi (pengkayaan nutrien yang berlebihan) merupakan dampak yang timbul akibat adanya penambahannya yang berlebihan (Ober et al., 2022). Dampak selanjutnya berpengaruh terhadap pertumbuhan organisme terutama organisme berklorofil seperti fitoplankton (Tambaru et al., 2021). Peristiwa seperti terjadinya *blooming* sampai memicu kemunculan fitoplankton yang berpotensi berbahaya (HABs) merupakan akibat dari kegiatan-kegiatan yang dimaksud.

Nutrien anorganik yang banyak diserap oleh fitoplankton diantaranya adalah nitrat (N), posfat (P), dan silikat (Si). Ketiga nutrien ini sangat penting untuk pertumbuhan mikroorganisme itu (Bristow et al., 2017). Melalui proses fotosintesis, ketiga nutrien ini dirubah menjadi cadangan makanan dalam bentuk senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat (Shen et al., 2016). Hasil proses fotosintesis itu selanjutnya digunakan oleh organisme lainnya dalam tropik level yang lebih tinggi untuk pertumbuhan.

Karena penyerapan secara biologis oleh fitoplankton termasuk pula organisme berklorofil lainnya, konsentrasi nutrien-nutrien anorganik dalam air laut mengalami perubahan berdasarkan waktu dan tempat (Oh et al., 2021). Untuk itu, para ahli kelautan dan perikanan menjelaskan bahwa nutrien-nutrien anorganik ini dikategorikan ke dalam nutrien non-konservatif di perairan laut (Belgacem et al., 2020). Alasannya, konsentrasi ketiganya tidak konstan, selalu bervariasi berdasarkan perubahan waktu dan tempat.

Salah satu perairan yang mengalami perubahan konsentrasi nutrien-nutrien anorganik adalah perairan pesisir Tompotana. Hal ini disebabkan pada perairan ini terhadap berbagai kegiatan antropogenik seperti budidaya rumput laut, tambak ikan dan udang serta rumah tangga. Patut diduga, kegiatan-kegiatan itu memberikan pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap perubahan konsentrasi nutrien N dan P serta Si, pada akhirnya berpengaruh terhadap kehidupan fitoplankton. Untuk memantau dampak dari kegiatan-kegiatan itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan konsentrasi nutrien anorganik jenis N dan P serta Si untuk kehidupan fitoplankton di perairan pesisir Tompotana Takalar Sulawesi Selatan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Juni sampai Oktober 2021 di perairan pesisir Tompotana Kabupaten Takalar Sulawesi Selatan (penelitian lapangan) dan di Laboratorium Oseanografi Kimia (penelitian di laboratorium) Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Sebanyak tiga stasiun ditetapkan untuk penelitian lapangan dengan karakteristik masing-masing yaitu:

- a. Stasiun I berdekatan dengan areal pembudidaya rumput laut dan eskoistem mangrove.
- b. Stasiun II berdekatan dengan pemukiman warga
- c. Stasiun III berdekatan dengan ekosistem terumbu karang.

2.2. Pengukuran konsentrasi Nutrien jenis N, P, dan Si

Jenis nutrien yang dianalisis yaitu N (nitrat), P (fosfat), dan Si (silikat). Untuk menganalisisnya, sebanyak 500 ml sampel air laut diambil pada masing-masing stasiun dan dimasukkan ke dalam botol sample. Selanjutnya, botol sampel dimasukkan ke dalam *coolbox* yang berisi es batu, lalu dibawa ke laboratorium. Metode pengukuran nitrat menggunakan *Brucine*, fosfat dengan *Stannous Chloride*, silikat dengan *Molibdosilikat* (APHA, 2005).

2.3. Pengamatan fitoplankton

Pada masing-masing stasiun, diambil sebanyak 100 L air laut lalu disaring dengan plankton net dengan ukuran mata jaring 25 μm . Rentang waktu pengambilan sampel air laut antara jam 10.00-14.00 (Tambaru, 2008). Hasil saring yang ada di *bucket* plankton net, selanjutnya dituang ke dalam botol sampel bervolume 100 ml. Sebanyak 1 ml larutan lugol 1 N sebagai pengawet diteteskan ke dalam botol sampel itu. Botol sampel selanjutnya dibawa ke laboratorium.

Dalam mengidentifikasi fitoplankton, sebanyak 1 ml sampel air dipipet dari botol sampel, lalu diteteskan ke dalam *Sedgwig Rafter Cell* (SRC). Selanjutnya, SRC diletakkan di meja preparat mikroskop. Pembesaran mikroskop yang digunakan adalah 10x10 kali. Jenis fitoplankton yang terlihat selanjutnya diidentifikasi menggunakan buku identifikasi yang disusun oleh Newell & Newell (1970) dan Thomas et al. (1997). Untuk menghitung kelimpahan jenis fitoplankton digunakan metode penyapuan (*sensus*) sebagaimana yang diusulkan oleh Rocha et al (2015).

2.4. Analisis Statistik

Untuk menganalisis distribusi nutrisi anorganik jenis N, P, dan Si serta kelimpahan fitoplankton berdasarkan stasiun digunakan Analisis *One Way Anova*. Untuk menganalisis kelayakan nutrisi anorganik jenis N, dan Si untuk kehidupan fitoplankton dilakukan uji korelasi *Perason's*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsentrasi Nutrien jenis N, P, dan Si

Nilai rata-rata konsentrasi nitrat berkisar 0,024 – 0,089 mg/L. Konsentrasi tertinggi tercatat di stasiun II dengan nilai rata-rata 0,089 mg/L, sedangkan terendah terdata pada stasiun III dengan nilai rata-rata 0,024 mg/L. Walau terdapat perbedaan, hasil analisis varians menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat tidak signifikan berbeda antara stasiun ($p > 0.05$). Selama penelitian, nitrat tidak berada dalam kisaran konsentrasi optimal untuk pertumbuhan fitoplankton. Namun, walau tidak optimal, nitrat masih dianggap mendukung pertumbuhannya. Kisaran antara 0,9-3,5 mg/L merupakan kisaran konsentrasi nitrat yang paling sesuai dan optimal (Mackentum, 1969).

Nilai rata-rata konsentrasi fosfat berkisar 0,038 – 0,065 mg/L. Pada stasiun III diperoleh konsentrasi fosfat tertinggi dengan nilai rata-rata 0,065 mg/L, kemudian terendah pada stasiun II dengan nilai rata-rata 0,038 mg/L. Walau konsentrasinya terlihat berbeda antar stasiun,

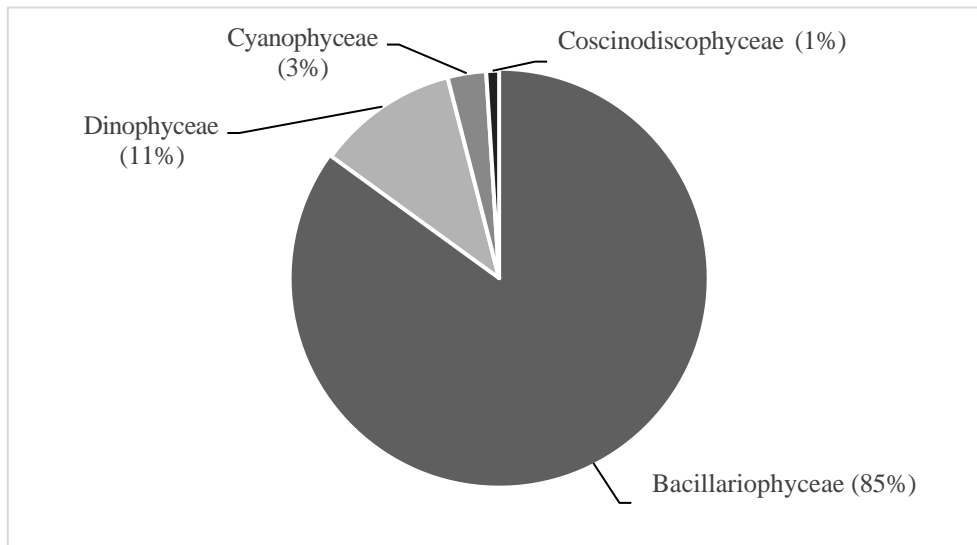
namun berdasarkan hasil analisis varians, konsentrasi fosfat juga tidak signifikan berbeda antara stasiun ($p > 0.05$). Sama dengan nitrat, fosfat selama penelitian juga tidak dalam kisaran konsentrasi yang sesuai untuk kebutuhan optimal fitoplankton. Namun, parameter ini masih dianggap mendukung pertumbuhannya. Kisaran antara 0,09-1,80 mg/L merupakan kisaran yang paling sesuai dan optimal (Mackentum, 1969).

Untuk nilai rata-rata konsentrasi silikat berkisar 0,009 – 0,023 mg/L. Konsentrasi silikat terendah terdata di stasiun III dengan nilai rata-rata 0,009 mg/L, dan tertinggi diperoleh pada stasiun I dengan nilai rata-rata 0,023 mg/L. Dari hasil analisis varians, nilai rata-rata konsentrasi silikat adalah sangat signifikan berbeda ($p < 0.01$) berdasarkan stasiun. Hal ini berarti, distribusi nilai silikat berbeda dengan nitrat dan fosfat. Nilai rata-rata konsentrasi silikat selama penelitian dikategorikan rendah. Hal ini dapat berpengaruh terhadap perkembangan fitoplankton. Agar fitoplankton khususnya diatom dapat bertumbuh dengan baik, konsentrasi silikat harus lebih besar dari 0,5 mg/l (Widjaja et al., 1994). Silikat dimanfaatkan oleh diatom dalam membentuk dinding selnya (Mao et al., 2020).

Nitrat, fosfat, dan silikat merupakan jenis-jenis nutrien anorganik yang sangat penting di dalam pertumbuhan fitoplankton (Glibert et al., 2016). Jika terjadinya perubahan konsentrasi ketiga jenis nutrien itu memberikan pengaruh terhadap perubahan kelimpahan dan total biomassa fitoplankton khususnya jenis-jenis dalam kelompok diatom dan dinoflagellata (Mutshinda et al., 2016). Namun, dibandingkan dengan dinoflagellata, perubahan pada diatom terjadi lebih cepat.

3.2. Komposisi dan Kelimpahan Fitoplankton

Berdasarkan hasil pencacahan fitoplankton, sebanyak 4 kelas dan 24 jenis ditemukan. Keempat kelas itu adalah Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Coscinodiscophyceae, dan Dinophyceae. Bacillariophyceae merupakan kelas dengan persentase kelimpahan tertinggi sebesar 85%, selanjutnya Cyanophyceae sebesar 11%, Dinophyceae 3%, dan Coscinodiscophyceae 1% (Gambar 1).



Gambar 1. Komposisi kelas fitoplankton selama penelitian

Di samping kelas, jumlah jenis fitoplankton terbanyak juga didominasi oleh kelompok dalam kelas Bacillariophyceae sebanyak 16 jenis, diikuti oleh Dinophyceae sebanyak 4 jenis, Cyanophyceae sebanyak 3 jenis, dan Coscinodiscophyceae sebanyak 1 jenis. Banyaknya jumlah jenis dari kelas Bacillariophyceae disebabkan kemampuannya yang tinggi dalam beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dimana mereka hidup. Oleh sebab itu, mereka ditemukan di berbagai jenis perairan mulai dari perairan laut sampai perairan tawar (Rimet et al., 2019). Hal ini kemudian berpengaruh terhadap kemampuan bereproduksi lebih baik, sebagai contoh jenis Diatom (Li et al., 2021), jika dibandingkan dengan kelompok fitoplankton lainnya.

Isthmia sp. dan *Oscillatoria* sp. merupakan dua jenis yang paling berlimpah di stasiun I. *Isthmia* sp. merupakan jenis fitoplankton dari kelas Bacillariophyceae. Jenis ini merupakan alga uniseluler, dinding selnya mengandung silika (*frustule*), sering berlimpah di perairan laut. Hasil yang sama juga teridentifikasi di Muara Sungai Kambang Barat, Kecamatan Lengayang, Pesisir Selatan, Sumatera Barat (Fatma et al., 2022) dan di perairan Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat (Lina et al., 2018). *Oscillatoria* sp. merupakan jenis fitoplankton dari kelas Cyanophyceae (Cyanobacteria atau alga biru hijau) (Heydari et al., 2018). Kelompok alga ini paling primitif dan memiliki sifat menyerupai bakteri yang mampu mengikat nitrogen dari udara (Khalifa et al., 2021). Mikroorganisme ini digolongkan sebagai organisme prokariotik karena tidak mempunyai struktur sel seperti nukleus dan kloroplas (Queiroz et al., 2020), namun dapat berkembang secara cepat di perairan pesisir (Palupi et al., 2022).

Jenis yang sering ditemukan pada stasiun II yaitu *Nitzschia* sp. dan *Navicula* sp., sementara itu pada stasiun III adalah *Leptocylindrus* sp. *Nitzschia* sp. Keempat jenis fitoplankton ini merupakan jenis dari kelas Bacillariophyceae. *Nitzschia* sp. merupakan salah satu organisme yang banyak mengandung lipid (Villanova & Spetea, 2021), sangat potensial dikembangkan untuk produksi biodiesel (Almutairi, 2022). Sama dengan *Nitzschia* sp, *Navicula* sp. juga merupakan jenis fitoplankton yang memiliki lipid dan sangat potensial dikembangkan untuk produksi biodiesel (Saputro et al., 2019). Mikroorganisme ini memiliki dinding sel yang terdiri dari dua katup yaitu katup atas (*epitheca*) dan katup bawah (*hipotheca*) yang saling menutup. Bagian *hipotheca* memiliki lubang-lubang dengan pola khas yang tersusun atas silikon oksida (SiO_2). Setiap selnya dipenuhi sitoplasma, mengandung pigmen karotenoid dan diatomin (Kusumaningrum et al., 2019). Mikroorganisme ini mempunyai adaptasi yang tinggi, termasuk diatom benthik yang memiliki kemampuan untuk menempel pada substrat dasar perairan (Prelle et al., 2019). *Leptocylindrus* sp. merupakan kelompok fitoplankton yang mempunyai kloroplas yang banyak dan kecil, sehingga mengandung bahan organik yang banyak, mampu berkembang secara cepat, sehingga cukup banyak ditemukan di perairan pesisir dan laut (Ajani et al., 2021).

Kelimpahan rata-rata fitoplankton teridentifikasi berbeda berdasarkan stasiun dengan kisaran antara 1133,33 – 6966,67 sel/L. Kelimpahan rata-rata fitoplankton tertinggi diperoleh pada Stasiun I sebesar 2100 sel/L, diikuti stasiun II sebesar 6966,67 sel/L dan stasiun III sebesar 1133,33 sel/L. Terjadinya perbedaan itu lebih dipertegas lagi dengan hasil analisis varians yang memang signifikan berbeda ($p < 0,05$). Dari hasil Uji lanjut dengan Tukey, Stasiun II mempunyai kelimpahan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan stasiun I dan stasiun III.

Tingginya kelimpahan fitoplankton pada stasiun II diduga karena letaknya yang berdekatan dengan pemukiman penduduk sehingga dimungkinkan stasiun ini mendapat masukan nutrisi dari aktivitas masyarakat itu sendiri. Dugaan ini dapat dibenarkan dengan mencermati konsentrasi nutrisi khususnya nitrat yang memang tinggi pada stasiun ini (sub pembahasan Konsentrasi Nutrien jenis N, P, dan Si).

3.3. Korelasi Nutrien dan Kelimpahan Fitoplankton

Nutrien jenis N (nitrat), P (fosfat), dan Si (silikat) merupakan tiga jenis nutrisi yang sangat memberikan pengaruh terhadap kehidupan fitoplankton. Para ahli dalam banyak hasil

penelitiannya, memberikan kesimpulan bahwa perubahan konsentrasi ketiga jenis nutrisi itu memberikan pengaruh terhadap perubahan kelimpahan fitoplankton dalam perairan. Namun, pengaruh masing-masing ketiga nutrisi itu dapat saja berbeda di setiap perairan.

Seperti pada kasus penelitian ini, ketiga jenis nutrisi itu memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kelimpahan fitoplankton. Berdasarkan hasil analisis Korelasi Pearson's, ternyata bahwa hanya nutrisi jenis N (nitrat) yang nyata memberikan pengaruh terhadap kelimpahan fitoplankton ($p=0.006$), sementara itu jenis nutrisi P (fosfat) dan Si (silikat) adalah sebaliknya ($p=0.676$ dan 0.348 berturut-turut) (Tabel 1).

Pada banyak kasus, kejadian serupa juga banyak terjadi di bagian perairan laut lainnya. Penelitian yang dilakukan di perairan estuaria/ekosistem mangrove Desa Bedono Demak mendapatkan hasil yang sama dimana nutrisi jenis N (nitrat) lebih berpengaruh jika dibandingkan dengan nutrisi jenis P (fosfat) terhadap kelimpahan fitoplankton (Hutami et al., 2018). Demikian pula penelitian yang dilakukan di perairan pesisir Banyuwangi Kabupaten Banyuwangi Sumatera Selatan diperoleh hasil bahwa nutrisi jenis N (nitrat) lebih berpengaruh jika dibandingkan dengan nutrisi jenis P (fosfat) terhadap struktur komunitas dan kelimpahan fitoplankton (Arazi et al., 2019).

Tabel 1. Hasil Korelasi Nutrisi dan Kelimpahan Fitoplankton

		Kelimpahan Fito	Nitrat	Posfat	Silikat
Kelimpahan Fito	Pearson Correlation	1	.830**	-.163	.355
	Sig. (2-tailed)		.006	.676	.348
	N	9	9	9	9
Nitrat	Pearson Correlation	.830**	1	.138	.234
	Sig. (2-tailed)	.006		.722	.544
	N	9	9	9	9
Posfat	Pearson Correlation	-.163	.138	1	-.402
	Sig. (2-tailed)	.676	.722		.284
	N	9	9	9	9
Silikat	Pearson Correlation	.355	.234	-.402	1
	Sig. (2-tailed)	.348	.544	.284	
	N	9	9	9	9

** . Korelasi adalah signifikan pada level 0.01

Pada kenyataannya, nutrisi jenis N (nitrat) merupakan jenis nutrisi utama yang sangat diperlukan oleh fitoplankton untuk bertumbuh di perairan pesisir dan laut. Keutamaan nutrisi ini tercermin dari rasio nutrisi yang sering disebut dengan Rasio Redfield (Tambaru et al., 2022). Berdasarkan rasio itu, kebutuhan nutrisi jenis N adalah 16 kali lebih besar jika dibandingkan dengan nutrisi jenis P dan Si (16:1:15) (Lipsewers et al., 2020). Hanya saja, ketersediaannya sering tidak mencukupi. Untuk itu, nutrisi jenis N sering menjadi faktor pembatas dalam perairan laut (Sai, 2022) jika dibandingkan dengan jenis nutrisi lainnya seperti P dan Si.

Fitoplankton khususnya jenis yang berukuran besar (berdiameter 10^2 – $10^3 \mu\text{m}$) akan bermigrasi secara vertikal ke kedalaman sub-eufotik jika di permukaan terjadi penurunan konsentrasi nitrat. Hal ini dilakukan sebagai strategi bertahan hidup (Villareal et al., 2014). Pertumbuhan dan konsumsi fitoplankton oleh mikrozooplankton distimulasi oleh penambahan konsentrasi nitrat (Kobari et al., 2020).

4. KESIMPULAN

Pada akhirnya dapat disimpulkan bahwa distribusi nutrisi anorganik jenis N (nitrat) dan P (fosfat) tidak signifikan berbeda ($p > 0.05$), kemudian nutrisi jenis Si (silikat) justru sebaliknya ($p < 0.05$). Berdasarkan uji kelayakan nutrisi anorganik untuk kehidupan fitoplankton, nutrisi jenis N (nitrat) merupakan jenis yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan fitoplankton di perairan pesisir Tompotana.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan dan Ketua Departemen Ilmu Kelautan dan Isyanita, SP, M.Si sebagai tenaga Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Laboratorium Kimia Oseanografi Departemen Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin atas dukungan dan bantuannya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajani, P. A., Petrou, K., Larsson, M. E., Nielsen, D. A., Burke, J., & Murray, S. A., (2021). Phenotypic trait variability as an indication of adaptive capacity in a cosmopolitan marine diatom. *Environmental Microbiology*, 23(1): 207–223.
- Almutairi, A. W., (2022). Evaluation of halophilic microalgae isolated from Rabigh Red Sea coastal area for biodiesel production: Screening and biochemical studies. *Saudi Journal*

- of Biological Sciences*, 29(8): 103339.
- Arazi, R., Isnaini, I., & Fauziyah, F., (2019)., Struktur Komunitas dan Kelimpahan Fitoplankton serta Keterkaitannya dengan Paramater Fisik Kimia di Perairan Pesisir Banyuasin Kabupaten Banyuasin. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(1): 1–8.
- Belgacem, M., Chiggiato, J., Borghini, M., Pavoni, B., Cerrati, G., Acri, F., Cozzi, S., Ribotti, A., Álvarez, M., & Lauvset, S. K., (2020)., Dissolved inorganic nutrients in the western Mediterranean Sea (2004–2017). *Earth System Science Data*, 12(3): 1985–2011.
- Bristow, L. A., Mohr, W., Ahmerkamp, S., & Kuypers, M. M. M., (2017)., Nutrients that limit growth in the ocean. *Current Biology*, 27(11): R474–R478.
- Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Timmis, K. N., Azam, F., Bakken, L. R., Baylis, M., Behrenfeld, M. J., Boetius, A., Boyd, P. W., & Classen, A. T., (2019)., Scientists’ warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17(9): 569–586.
- Diana, A., Zahro, N., Sari, L. A., Arsad, S., Pursetyo, K. T., & Cahyoko, Y., (2021)., Monitoring of phytoplankton abundance and chlorophyll-a content in the estuary of Banjar Kemuning River, Sidoarjo Regency, East Java. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1).
- Fatma, N. T., Nedi, S., & Nurrachmi, I.,(2022)., Relationship of Nitrate and Phosphate Content with Phytoplankton Abundance at the West Kambang River Estuary, Lengayang District, Pesisir Selatan, West Sumatra. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*, 3(1): 37–43.
- Glibert, P. M., Wilkerson, F. P., Dugdale, R. C., Raven, J. A., Dupont, C. L., Leavitt, P. R., Parker, A. E., Burkholder, J. M., & Kana, T. M., (2016)., Pluses and minuses of ammonium and nitrate uptake and assimilation by phytoplankton and implications for productivity and community composition, with emphasis on nitrogen-enriched conditions. *Limnology and Oceanography*, 61(1):165–197.
- Häder, D.-P., Banaszak, A. T., Villafañe, V. E., Narvarte, M. A., González, R. A., & Helbling, E. W.,(2020)., Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total Environment*, 713, 136586.
- Heydari, N., Fatemi, S. M. R., Mashinchian, A., Nadushan, R. M., & Raeisi, B., (2018)., Seasonal species diversity and abundance of phytoplankton from the southwestern Caspian Sea. *International Aquatic Research*, 10(4): 375–390.

- Hutami, G. H., Muskananfolo, M. R., & Sulardiono, B., (2018)., Analisis kualitas perairan pada ekosistem mangrove berdasarkan kelimpahan fitoplankton dan nitrat fosfat di desa Bedono Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 6(3) : 239–246.
- Johnson, M. D., Fox, M. D., Kelly, E. L. A., Zgliczynski, B. J., Sandin, S. A., & Smith, J. E., (2020)., Ecophysiology of coral reef primary producers across an upwelling gradient in the tropical central Pacific. *PloS One*, 15(2): e0228448.
- Khalifa, S. A. M., Shedid, E. S., Saied, E. M., Jassbi, A. R., Jamebozorgi, F. H., Rateb, M. E., Du, M., Abdel-Daim, M. M., Kai, G.-Y., & Al-Hammady, M. A. M., (2021)., Cyanobacteria—From the oceans to the potential biotechnological and biomedical applications. *Marine Drugs*, 19(5): 241.
- Kobari, T., Honma, T., Hasegawa, D., Yoshie, N., Tsutsumi, E., Matsuno, T., Nagai, T., Kanayama, T., Karu, F., & Suzuki, K., (2020)., Phytoplankton growth and consumption by microzooplankton stimulated by turbulent nitrate flux suggest rapid trophic transfer in the oligotrophic Kuroshio. *Biogeosciences*, 17(9): 2441–2452.
- Krumme, U., Herbeck, L. S., & Wang, T.,(2012)., Tide-and rainfall-induced variations of physical and chemical parameters in a mangrove-depleted estuary of East Hainan (South China Sea). *Marine Environmental Research*, 82: 28–39.
- Kusumaningrum, H. P., Suprihadi, A., Budiharjo, A., Zainuri, M., Misbach, I., & Maulidiyah, A.,(2019)., Isolation and identification of carotenoid-producing microalgae from Demak marine waters. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217(1):12183.
- Li, H., Chen, Y., Zhou, S., Wang, F., Yang, T., Zhu, Y., & Ma, Q.,(2021)., Change of dominant phytoplankton groups in the eutrophic coastal sea due to atmospheric deposition. *Science of The Total Environment*, 753: 141961.
- Lina, H., Idiawati, N., & Safitri, I., (2018)., Diversitas Mikroalga Epifit Berasosiasi pada Daun Lamun *Thalassia hemprichii* di Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 1(2): 29–36.
- Lipsewers, T., Klais, R., Camarena-Gómez, M. T., & Spilling, K., (2020)., Effects of different plankton communities and spring bloom phases on seston C: N: P: Si: chl a ratios in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 644: 15–31.
- Mackentum, K. M., (1969)., *The Practice of Water Pollution Biology*. United States Departement of Interior, Federal Water Pollution Control Administration. Division of

Technical Support.

- Malagó, A., Bouraoui, F., Grizzetti, B., & De Roo, A., (2019)., Modelling nutrient fluxes into the Mediterranean Sea. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100592.
- Mao, X., Chen, S. H. Y., Lu, X., Yu, J., & Liu, B., (2020)., High silicate concentration facilitates fucoxanthin and eicosapentaenoic acid (EPA) production under heterotrophic condition in the marine diatom *Nitzschia laevis*. *Algal Research*, 52, 102086.
- Mutshinda, C. M., Finkel, Z. V, Widdicombe, C. E., & Irwin, A. J., (2016)., Ecological equivalence of species within phytoplankton functional groups. *Functional Ecology*, 30(10) : 1714–1722.
- Ober, G. T., Thornber, C. S., & Grear, J. S., (2022)., Ocean acidification but not nutrient enrichment reduces grazing and alters diet preference in *Littorina littorea*. *Marine Biology*, 169(9): 1–12.
- Oh, Y. H., Kim, Y., Park, S. R., Lee, T., Son, Y. B., Park, S.-E., Lee, W. C., Im, D.-H., & Kim, T.-H., (2021)., Spatiotemporal change in coastal waters caused by land-based fish farm wastewater-borne nutrients: Results from Jeju Island, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112632.
- Palupi, M., Fitriadi, R., Wijaya, R., Raharjo, P., & Nurwahyuni, R., (2022)., Diversity of phytoplankton in the whiteleg (*Litopenaeus vannamei*) shrimp ponds in the south coastal area of Pangandaran, Indonesia: Diversity of Phytoplankton in the Whiteleg (*litopenaeus vannamei*) Shrimp Pond. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(1).
- Pihlainen, S., Zandersen, M., Hyytiäinen, K., Andersen, H. E., Bartosova, A., Gustafsson, B., Jabloun, M., McCrackin, M., Meier, H. E. M., & Olesen, J. E., (2020)., Impacts of changing society and climate on nutrient loading to the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 731, 138935.
- Prelle, L. R., Graiff, A., Gründling-Pfaff, S., Sommer, V., Kuriyama, K., & Karsten, U., (2019)., Photosynthesis and respiration of Baltic Sea benthic diatoms to changing environmental conditions and growth responses of selected species as affected by an adjacent peatland (Hütelmoor). *Frontiers in Microbiology*, 10, 1500.
- Queiroz, M. I., Vieira, J. G., & Maroneze, M. M.,(2020)., Morphophysiological, structural, and metabolic aspects of microalgae. In *Handbook of Microalgae-Based Processes and Products* (pp. 25–48). Elsevier.

- Ramos, J., Schulz, K. G., Voss, M., Narciso, Á., Müller, M. N., Reis, F. V., Cachão, M., & Azevedo, E. B., (2017)., Nutrient-specific responses of a phytoplankton community: a case study of the North Atlantic Gyre, Azores. *Journal of Plankton Research*, 39(4): 744–761.
- Rimet, F., Gusev, E., Kahlert, M., Kelly, M. G., Kulikovskiy, M., Maltsev, Y., Mann, D. G., Pfannkuchen, M., Trobajo, R., & Vasselon, V.,(2019)., Diat. barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Scientific Reports*, 9(1): 1–12.
- Sai, A., (2022)., *Relationship between phytoplankton abundance, available nitrate, ammonium, and temperature at Station ALOHA, and the R/V Roger Revelle Cruise RR1604.*
- Saputro, T. B., Purwani, K. I., ERMAVITALINI, D., & SAIFULLAH, A. F.,(2019)., Isolation of high lipids content microalgae from Wonorejo rivers, Surabaya, Indonesia and its identification using rbcL marker gene. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(5).
- Shen, Y., Fichot, C. G., Liang, S., & Benner, R., (2016)., Biological hot spots and the accumulation of marine dissolved organic matter in a highly productive ocean margin. *Limnology and Oceanography*, 61(4): 1287–1300.
- Tambaru, R. (2008). Dinamika komunitas fitoplankton dalam kaitannya dengan produktivitas perairan di perairan pesisir Maros Sulawesi Selatan. *Disertasi. Pascasarjana IPB, Bogor.*
- Tambaru, R., BURHANUDDIN, A. I., MASSINAI, A., & AMRAN, M. A. (2021). Detection of marine microalgae (phytoplankton) quality to support seafood health: A case study on the west coast of South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(11).
- Tambaru, R., Saru, A., Syafiuddin, S., Amri, K., Hatta, M., & Febrianti, F., (2022)., Analisis Rasio Redfield terhadap Kesesuaian Pertumbuhan Fitoplankton di Ekosistem Mangrove Lantebung Kota Makassar. *Jurnal Aquatik*, 5(2): 188–195.
- Valiela, I., Camilli, L., Stone, T., Giblin, A., Crusius, J., Fox, S., Barth-Jensen, C., Monteiro, R. O., Tucker, J., & Martinetto, P., (2012)., Increased rainfall remarkably freshens estuarine and coastal waters on the Pacific coast of Panama: Magnitude and likely effects on upwelling and nutrient supply. *Global and Planetary Change*, 92 :130–137.
- Vicente, M. C., Carvalho, A. C. B., Trevisan, C. L., Soares, F. F. L., & Wasserman, J. C., (2021)., Spatial–temporal distribution of dissolved inorganic nutrients in the hypersaline

- Araruama Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101787.
- Villanova, V., & Spetea, C.,(2021)., Mixotrophy in diatoms: Molecular mechanism and industrial potential. *Physiologia Plantarum*, 173(2): 603–611.
- Villareal, T. A., Pilskaln, C. H., Montoya, J. P., & Dennett, M., (2014)., Upward nitrate transport by phytoplankton in oceanic waters: balancing nutrient budgets in oligotrophic seas. *PeerJ*, 2, e302.
- Widjaja, F., Suwignyo, P., Yulianda, S., & Effendi, H. (1994). Komposisi Jenis, Kelimpahan dan Penyebaran Plankton Laut di Teluk Pelabuhan Ratu, Jawa Barat. *Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Bogor*.