

JURNAL METAMORFOSA

Journal of Biological Sciences

eISSN: 2655-8122

<https://ejournal3.unud.ac.id/index.php/metamorfosa/>

Optimasi Produksi Eksopolisakarida (EPS) pada Mikroalga Laut *Porphyridium cruentum* melalui Penambahan Natrium Klorida (NaCl) Secara Mendadak pada Berbagai Konsentrasi

Optimization of Exopolysaccharide (EPS) Production in the Marine Microalgae *Porphyridium cruentum* through Sudden Sodium Chloride (NaCl) Addition at Different Concentrations

Muhamad Fajrin Ode^{1*}, Ida Bagus Gede Darmayasa², Pande Gde Sasmita Julyantoro³

¹Master Student of Biology, Faculty of Math and Natural Science, Udayana University

²Biology, Faculty of Math and Natural Science, Udayana University

³Aquatic Resources Management, Faculty of Marine and Fisheries, Udayana University

*Email: muhamadfajrin.ode@gmail.com

INTISARI

Porphyridium cruentum merupakan mikroalga laut yang memiliki potensi besar sebagai penghasil eksopolisakarida (EPS) yang dapat dimanfaatkan dalam bidang pangan, farmasi, kosmetik, dan bioteknologi. Produksi EPS pada mikroalga dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, salah satunya salinitas yang berhubungan langsung dengan tekanan osmotik sel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan konsentrasi natrium klorida (NaCl) berbeda (1%, 2%, 4% b/v) secara mendadak terhadap produksi EPS dan biomassa mikroalga *P. cruentum*. Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan beberapa perlakuan konsentrasi NaCl yang diberikan secara mendadak pada fase eksponensial pertumbuhan kultur. Parameter yang diamati meliputi produksi EPS, biomassa, dan rasio efektivitas produksi EPS terhadap biomassa. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji tukey HSD pada taraf kepercayaan 95%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan NaCl secara mendadak memberikan pengaruh terhadap produksi EPS dan biomassa *P. cruentum*. Produksi EPS tertinggi diperoleh pada perlakuan penambahan NaCl 1% dengan nilai persentase sebesar 61,5%. Sementara itu, produksi biomassa tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol dengan persentase sebesar 31,4%. Rasio efektivitas produksi tertinggi diperoleh pada perlakuan NaCl 1% dengan nilai sebesar 88,37 g/g EPS per biomassa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan salinitas melalui penambahan NaCl secara mendadak mampu menginduksi stres osmotik yang memicu peningkatan produksi EPS, meskipun diikuti penurunan biomassa kultur.

Kata kunci: *Porphyridium cruentum*, Mikroalga, eksopolisakarida, NaCl

ABSTRACT

Porphyridium cruentum is a marine microalga with great potential as a producer of exopolysaccharides (EPS) that can be utilized in the food, pharmaceutical, cosmetic, and biotechnology industries. EPS production in microalgae is influenced by various environmental factors, one of which is salinity, which is directly related to cellular osmotic pressure. This study aims to analyze the effect of sudden addition of different concentrations of sodium chloride (NaCl) (1%, 2%, 4% w/v) on EPS production and biomass of *P. cruentum* microalgae. The study was conducted using a completely randomized design (CRD) with several NaCl concentration treatments applied suddenly during the exponential growth phase of the culture. The parameters observed included EPS production, biomass, and the ratio of EPS production efficiency to biomass. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and followed by Tukey's HSD test at a 95% confidence level. The results of the study indicate that a sudden addition of NaCl affects the production of EPS and biomass in *P. cruentum*. The highest EPS production was observed in the treatment with a 1% NaCl addition, with a percentage of 61.5%. Meanwhile, the highest biomass production was observed in the control treatment, with a percentage of 31.4%. The highest production efficiency ratio was obtained in the 1% NaCl treatment, with a value of 88.37 EPS per biomass. These results indicate that increasing salinity through sudden NaCl addition can induce osmotic stress, which triggers increased EPS production, although this is accompanied by a decrease in culture biomass.

Keywords: *Porphyridium cruentum*, marine microalgae, exopolysaccharides, biomass, NaCl

PENDAHULUAN

Mikroalga laut merupakan sumber biomassa dan metabolit sekunder yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan dalam bidang bioteknologi, pangan, farmasi, dan kosmetik (Barkia *et al.*, 2019; Caetano *et al.*, 2022 ; Morais *et al.*, 2022). Salah satu mikroalga laut yang banyak diteliti adalah *Porphyridium cruentum*, mikroalga merah uniseluler yang diketahui mampu menghasilkan senyawa bioaktif bernilai tinggi seperti fikobiliprotein, lipid, polisakarida sulfat, dan eksopolisakarida (EPS) (Maulina *et al.*, 2026; Raposo *et al.*, 2013; Yin *et al.*, 2022). EPS yang dihasilkan oleh *P. cruentum* memiliki aktivitas biologis penting seperti antioksidan, antivirus, antitumor, dan imunomodulator sehingga berpotensi diaplikasikan dalam industri farmasi dan nutrasetikal (Caetano *et al.*, 2022; Cristofoli *et al.*, 2023) serta dapat di manfaatkan sebagai bioflokulan (Moreira *et al.*, 2022).

Eksopolisakarida merupakan polisakarida ekstraseluler yang disekresikan mikroalga sebagai mekanisme perlindungan terhadap perubahan kondisi lingkungan (Delattre *et al.*, 2016). Produksi EPS dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, nutrisi, pH, dan salinitas (Babiak and Krzemińska, 2021). Salinitas menjadi salah satu faktor penting karena berhubungan langsung dengan tekanan osmotik yang memengaruhi metabolisme dan pertumbuhan sel mikroalga (Hotos dan Avramidou, 2021). Pada kondisi stres salinitas, mikroalga cenderung meningkatkan sintesis senyawa osmoprotektan termasuk EPS untuk mempertahankan kestabilan sel dan keseimbangan osmotik (Li *et al.*, 2023).

Komponen utama penyusun salinitas yaitu natrium klorida (NaCl) sangat berperan dalam mengatur tekanan osmotik medium kultur. Perubahan konsentrasi NaCl secara

mendadak dapat menyebabkan stres osmotik yang memicu perubahan fisiologis dan metabolisme sel (Li *et al.*, 2023; Decamp *et al.*, 2023). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan salinitas dapat meningkatkan produksi EPS pada genus *Porphyridium*, namun pada kondisi tertentu juga menyebabkan penurunan pertumbuhan dan biomassa akibat tingginya tekanan osmotik yang diterima sel. Respons tersebut menunjukkan adanya hubungan kompleks antara stres salinitas, produksi EPS, dan pertumbuhan biomassa mikroalga (Flores-Gonzales *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2023).

Selain memengaruhi produksi EPS, perubahan salinitas juga berdampak terhadap akumulasi biomassa mikroalga (Flores-Gonzales *et al.*, 2024). Biomassa merupakan parameter penting dalam kultivasi mikroalga karena menentukan produktivitas metabolit yang dihasilkan (Yin *et al.*, 2022). Stres osmotik akibat peningkatan NaCl dapat mengganggu keseimbangan ionik sel sehingga menghambat pembelahan dan pertumbuhan sel (Decamp *et al.*, 2023; Flores-Gonzales *et al.*, 2024). Akan tetapi, pada tingkat salinitas tertentu, mikroalga masih mampu beradaptasi melalui mekanisme fisiologis yang dapat meningkatkan produksi metabolit sekunder termasuk EPS (Cristofoli *et al.*, 2023).

Penelitian mengenai pengaruh salinitas terhadap *P. cruentum* umumnya menggunakan perlakuan peningkatan salinitas secara bertahap, sedangkan kajian mengenai penambahan NaCl secara mendadak (*sudden salinity shock*) masih terbatas. Padahal, perubahan salinitas secara mendadak diduga mampu memicu respons adaptasi yang berbeda karena sel mengalami tekanan osmotik secara langsung dalam waktu singkat (Decamp *et al.*, 2023). Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan sekresi EPS sebagai bentuk perlindungan terhadap stres lingkungan, tetapi juga dapat memengaruhi pertumbuhan biomassa mikroalga (Li *et al.*, 2023).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian mengenai pengaruh penambahan konsentrasi NaCl secara mendadak terhadap produksi EPS dan biomassa *Porphyridium cruentum* penting dilakukan untuk mengetahui respons fisiologis mikroalga terhadap stres salinitas. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai konsentrasi NaCl optimum yang mampu meningkatkan produksi EPS tanpa menurunkan biomassa secara signifikan, sehingga dapat mendukung pengembangan teknologi kultivasi mikroalga untuk produksi senyawa bioaktif bernilai ekonomi tinggi.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025 hingga Februari 2026 di Laboratorium Penelitian Terpadu, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana. Seluruh tahapan penelitian dilakukan secara terkontrol di laboratorium, meliputi pemeliharaan dan kultivasi mikroalga *Porphyridium cruentum*, pemberian perlakuan salinitas melalui penambahan NaCl secara mendadak, pemanenan biomassa, ekstraksi eksopolisakarida (EPS), serta pengukuran produksi EPS dan biomassa.

Kultur Mikroalga

Mikroalga *Porphyridium cruentum* diperoleh dari koleksi kultur Balai besar perikanan budidaya air payau jepara purwokerto. Tahapan pertama yaitu diambil masing-masing sebanyak 20 mL kultur mikroalga dan dipelihara menggunakan media air laut steril yang diperkaya media f/2 guillard dengan volume media akhir sebanyak 350 mL. Kultivasi dilakukan pada kondisi suhu ruangan dan pada fotoperiode 12:12 jam (terang:gelap) secara

terkontrol dengan diberikan aerasi secara kontinu untuk menjaga homogenitas kultur dan ketersediaan oksigen terlarut (Li *et al.*, 2023).

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan perlakuan penambahan variasi konsentrasi natrium klorida (NaCl) secara mendadak pada medium kultur dengan metode yang modifikasi (Flores-Gonzales *et al.*, 2024). Perlakuan terdiri atas: Kontrol (tanpa penambahan NaCl), Perlakuan 1: Penambahan NaCl sebesar 1%, Perlakuan 2: Penambahan NaCl sebesar 2%, dan Perlakuan 3: Penambahan NaCl sebesar 4% (b/v). Rentang perlakuan yang digunakan sebagai gradien variasi yang bertujuan memicu cekaman osmotik sel untuk produksi eksopolisakarida. Masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan (n=3). Penambahan NaCl dilakukan secara mendadak pada fase eksponensial pertumbuhan kultur *P. cruentum* (hari ke-8). Kultivasi dilanjutkan selama 7 hari setelah perlakuan diberikan.

Pengukuran Biomassa

Biomassa mikroalga ditentukan menggunakan metode gravimetri berdasarkan berat kering. Diambil 30 ml volume kultur kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman 0,45 µm GF/C yang telah diketahui berat awalnya (W0). Kertas saring yang mengandung biomassa dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga mencapai berat konstan (W1). Berat biomassa di timbang untuk mengetahui berat akhir (Yin *et al.*, 2022). Selanjutnya biomassa dianalisis dan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Biomassa (g/L)} = (W1 - W0)/V$$

*W0 = berat awal (g), W1 = berat akhir (g), V = volume kultur yang disaring (L).

Ekstraksi dan Pengukuran Eksopolisakarida (EPS)

Eksopolisakarida diekstraksi dari supernatan kultur setelah proses sentrifugasi pada 3500 rpm selama 15 menit untuk memisahkan biomassa dan medium kultur. Supernatan kemudian dicampurkan dengan etanol absolut dingin pada perbandingan 1:2 (v/v) untuk proses presipitasi EPS. Campuran diinkubasi pada suhu 4 °C selama 24 jam dan disentrifugasi kembali pada 8000 rpm selama 15 menit. Endapan EPS yang diperoleh dikering anginkan pada suhu 40°C hingga berat konstan kemudian ditimbang secara gravimetri yang dinyatakan dalam satuan g/L medium kultur (Mubark *et al.*, 2018 : Cristofoli *et al.*, 2023). Selanjutnya EPS dihitung dan dianalisis menggunakan persamaan berikut:

$$\text{EPS (g/L)} = (W1 - W0)/V$$

*W0 = berat awal (g), W1 = berat akhir (g), V = volume kultur yang disaring (L).

Kemudian rasio atau produktivitas spesifik EPS terhadap biomassa yaitu dihitung menggunakan persamaan menurut Esqueda *et al.*, (2022) sebagai berikut:

$$\text{Rasio/Yields EPS (g/g)} = \text{EPS/Biomassa}$$

Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diamati selama penelitian meliputi intensitas cahaya, suhu, salinitas, dan pH medium kultur. Suhu ruangan diukur menggunakan termometer ETP-101, salinitas menggunakan handrefraktometer 2493-Atago, intensitas cahaya menggunakan lux meter digital AS803 dan pH menggunakan pH meter digital-Atc.

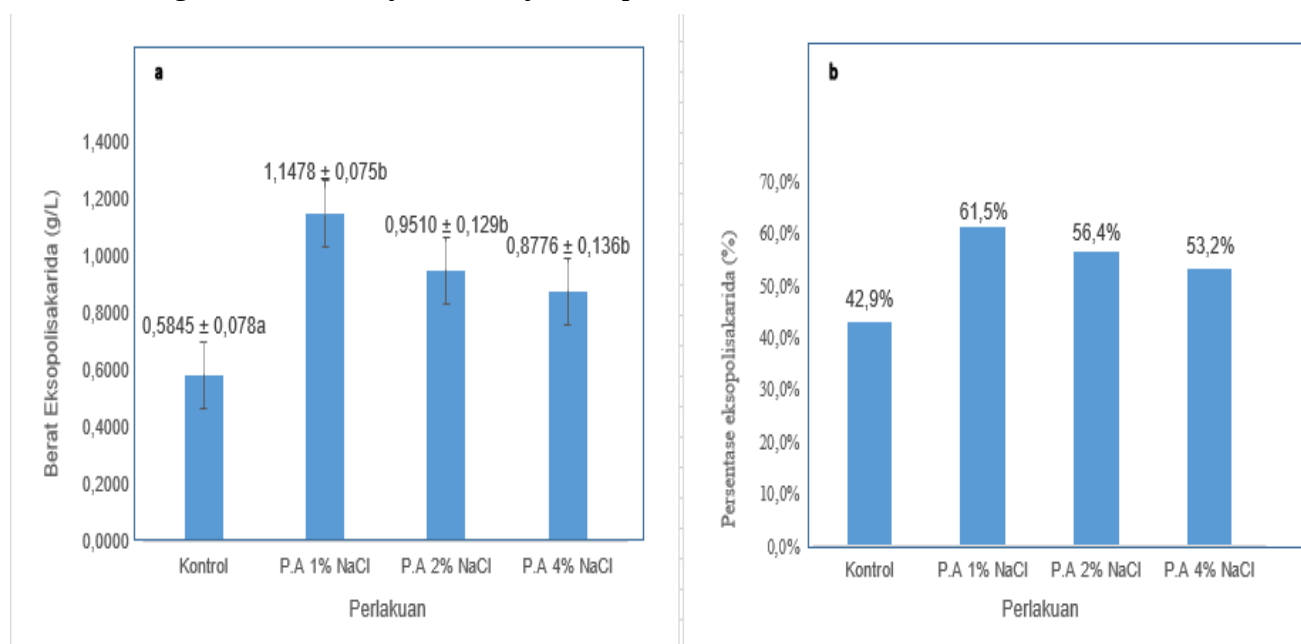
Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) satu arah untuk mengetahui pengaruh penambahan NaCl secara mendadak terhadap produksi EPS dan biomassa mikroalga *P. cruentum*. Apabila terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji Tukey HSD. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 29.0.2.0 dan microsoft excel windows 10. Data hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL

Eksopolisakarida (EPS) mikroalga *P. cruentum*

Pengaruh variasi konsentrasi NaCl terhadap produksi dan persentase eksopolisakarida mikroalga *P. cruentum* yaitu ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. (a) Berat kering eksopolisakarida dari mikroalga *P. cruentum* dengan perlakuan pemberian variasi NaCl (1%, 2% dan 4% (b/v)) (b) Persentase produksi eksopolisakarida dari mikroalga *P. cruentum*

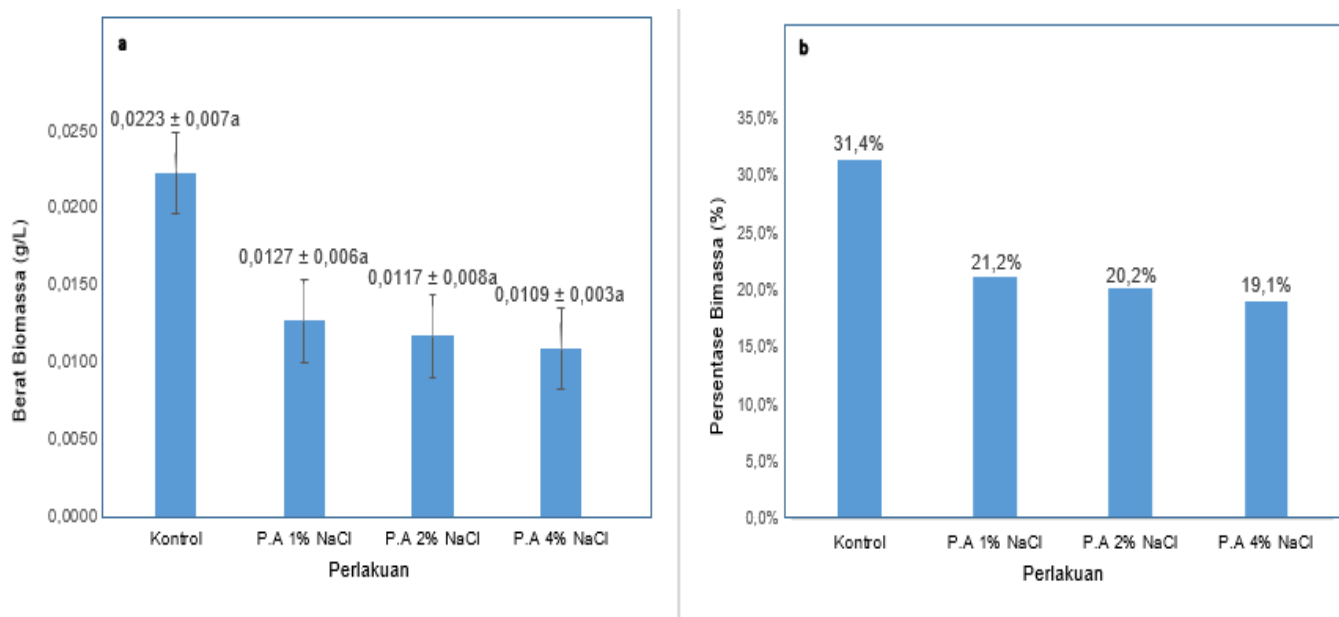
*notasi huruf yang serupa menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata pada uji tukey ($P < 0.05$)

Berdasarkan Gambar 1, pemberian natrium klorida (NaCl) pada berbagai konsentrasi berpengaruh terhadap produksi eksopolisakarida (EPS) oleh mikroalga *P. cruentum*. Dibandingkan dengan kontrol, seluruh perlakuan penambahan NaCl menghasilkan produksi EPS yang lebih tinggi. Produksi EPS tertinggi diperoleh pada perlakuan NaCl 1% yaitu sebesar

1,1478 $\pm$ 0,075 g/L, kemudian diikuti oleh perlakuan NaCl 2% dan NaCl 4%, sedangkan kontrol menunjukkan produksi EPS terendah. Pola yang serupa juga terlihat pada persentase produksi EPS, di mana perlakuan NaCl 1% menghasilkan persentase EPS tertinggi, diikuti oleh perlakuan NaCl 2% dan NaCl 4%, sementara kontrol memiliki persentase EPS paling rendah. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi NaCl memberikan pengaruh yang signifikan terhadap produksi EPS yang dihasilkan oleh *P. cruentum* ($F(3,8) = 73654,132$; $p < 0,001$).

Biomassa Mikroalga *P. cruentum*

Pengaruh variasi konsentrasi NaCl terhadap produksi dan persentase biomassa mikroalga *P. cruentum* yaitu ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah:



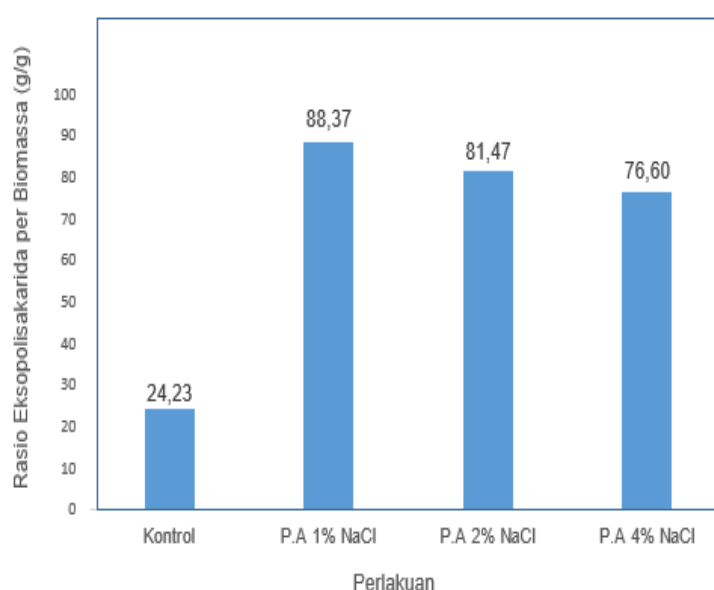
Gambar 2. (a) Berat biomassa sel (b) Persentasi Biomassa *P. cruentum* pada berbagai perlakuan pemberian variasi NaCl (1%, 2% dan 4% b/v).

*notasi huruf yang serupa setiap batang menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan pada uji lanjut tukey ($P < 0,05$)

Pada Gambar 2, produksi biomassa mikroalga *P. cruentum* menunjukkan variasi pada setiap perlakuan konsentrasi natrium klorida (NaCl). Biomassa tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol sebesar 0,0127 $\pm$ 0,006 g/L, sedangkan penambahan NaCl menyebabkan penurunan biomassa pada seluruh perlakuan. Perlakuan NaCl 1% menghasilkan biomassa yang lebih rendah dibandingkan kontrol, kemudian diikuti oleh perlakuan NaCl 2%, sedangkan biomassa terendah diperoleh pada perlakuan NaCl 4%. Pola yang sama juga terlihat pada persentase biomassa, di mana kontrol menunjukkan persentase biomassa tertinggi, kemudian diikuti secara berturut-turut oleh perlakuan NaCl 1%, NaCl 2%, dan NaCl 4%. Meskipun demikian, hasil analisis statistik menunjukkan bahwa variasi konsentrasi NaCl tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap biomassa maupun persentase biomassa *P. cruentum* ($F(3,8) = 0,758$; $p = 0,548$).

Rasio Eksopolisakarida (EPS) Per Biomassa

Produktivitas spesifik atau rasio eksopolisakarida (EPS) terhadap biomassa mikroalga *P. cruentum* dari masing-masing perlakuan yaitu dapat dilihat pada Gambar 3. Rasio eksopolisakarida terhadap biomassa mikroalga *P. cruentum* menunjukkan perbedaan nilai pada setiap perlakuan konsentrasi NaCl. Pada kondisi kontrol, rasio EPS terhadap biomassa tercatat sebesar 24,23 g/g. dan merupakan yang terendah dibandingkan perlakuan lainnya. Kemudian, pada perlakuan NaCl 1% rasio EPS terhadap biomassa meningkat menjadi 88,37 g/g. Selanjutnya, pada perlakuan NaCl 2% rasio tercatat sebesar 81,47 g/g. sedangkan pada perlakuan NaCl 4% sebesar 76,60 g/g. secara umum, perlakuan penambahan NaCl 1% mampu menghasilkan rasio EPS yang lebih tinggi di bandingkan kontrol.



Gambar 3. Grafik rasio efektivitas produksi eksopolisakarida (EPS) per biomassa dari Mikroalga *P. cruentum*

Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan kondisi kultur mikroalga *P. cruentum* yaitu dapat dilihat pada Tabel 1. dibawah berikut ini :

Perlakuan	Suhu (°C)	pH	Salinitas (ppt)	intensitas cahaya (μmol foton m ⁻² s ⁻¹)
Kontrol	29	7,5	33	2448
P. NaCl 1% b/v	29	7,5	41	2448
P. NaCl 2% b/v	29	7,5	49	2448
P. NaCl 4% b/v	29	7,5	63	2448

Berdasarkan Tabel 1. parameter lingkungan kondisi kultur pada mikroalga *P. cruentum* selama penelitian menunjukkan suhu ruang kultur tercatat konstans sebesar 29 °C,

pH media pada nilai 7,5 dan intensitas cahaya sebesar $2448 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pada semua perlakuan. Perbedaan parameter lingkungan hanya terlihat pada salinitas yang meningkat seiring dengan penambahan NaCl yaitu 33 ppt pada kontrol, 41 ppt pada perlakuan NaCl 1%, 49 ppt pada perlakuan NaCl 2% dan 63 ppt pada perlakuan NaCl 4%.

PEMBAHASAN

Mikroalga adalah salah satu sumber penghasil makromolekul potensial yang dapat di manfaatkan dalam berbagai bidang industri. Salah satunya yaitu dari jenis *P. cruentum* yang merupakan jenis mikroalga laut dengan ciri khas memiliki pigmen merah dan mampu menghasilkan senyawa makromolekul seperti eksopolisakarida. Produksi eksopolisakarida dari mikroalga *P. cruentum* sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan untuk pertumbuhannya, diantaranya adalah salinitas perairan. Menurut Flores-Gonzales *et al.*, (2024) salinitas merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi metabolisme karbon dan biosintesis eksopolisakarida pada mikroalga karena berkaitan langsung dengan tekanan osmotik sel. Serta mampu mempengaruhi karakteristik biokimia eksopolisakarida seperti yang dilaporkan oleh Li *et al.*, (2023).

Berdasarkan hasil penelitian, produksi eksopolisakarida dari mikroalga *P. cruentum* menunjukkan adanya peningkatan pada pemberian perlakuan NaCl 1% dan mencapai nilai tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Gambar 1). Pada kondisi kontrol, produksi EPS relatif rendah kemudian meningkat secara signifikan pada konsentrasi NaCl 1% dan selanjutnya menurun pada konsentrasi NaCl 2% dan 4%. Pola ini menunjukkan penambahan NaCl pada konsentrasi tertentu mampu menstimulasi produksi EPS dari mikroalga. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi justru menurunkan tingkat produksinya. Peningkatan produksi EPS pada konsentrasi NaCl 1% dapat dijelaskan sebagai bentuk adaptif mikroalga *P. cruentum* terhadap stres salinitas. Pada dasarnya mikroalga akan meningkatkan sintesis eksopolisakarida sebagai mekanisme perlindungan terhadap tekanan osmotik. Eksopolisakarida memiliki fungsi sebagai lapisan pelindung yang dapat menjaga stabilitas membran sel serta mampu membantu mempertahankan keseimbangan osmotik antara lingkungan internal dan eksternal sel. Hal ini sejalan dengan pernyataan dari Li *et al.*, (2023) bahwa produksi EPS meningkat pada kondisi stress lingkungan sebagai mekanisme perlindungan sel terhadap perubahan kondisi eksternal.

Disisi lain, pada konsentrasi NaCl yang lebih tinggi (2% dan 4%) produksi EPS mengalami penurunan. Kondisi ini menunjukkan bahwa stress yang di berikan diduga telah melampaui batas toleransi mikroalga sehingga menghambat aktifitas metabolisme sel. Menurut Decamp *et al.* (2023), stres osmotik yang berlebihan pada *P. cruentum* dapat mengganggu keseimbangan metabolisme karbon dan menurunkan kapasitas biosintesis eksopolisakarida akibat terganggunya jalur metabolisme sel. Sehingga meskipun EPS berperan sebagai mekanisme adaptasi, produksinya tetap dipengaruhi oleh kondisi fisiologis sel.

Selanjutnya, dari pengamatan biomassa mikroalga *P. cruentum* menunjukkan pola yang berbeda dengan EPS (Gambar 2). Biomassa tertinggi di peroleh pada kondisi kontrol, kemudian mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi NaCl. Penurunan biomassa ini mengindikasikan bahwa peningkatan salinitas memberikan tekanan terhadap pertumbuhan mikroalga *P. cruentum*. Pada dasarnya peningkatan salinitas menyebabkan terjadinya stres osmotik yang dapat mengganggu keseimbangan tekanan air dalam sel. Kondisi

ini berdampak pada terganggunya proses fisiologis seperti fotosintesis dan proses enzimatik, sehingga pertumbuhan sel menjadi terhambat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ferreira *et al.* (2021), bahwa peningkatan salinitas di atas kondisi optimum menyebabkan penurunan laju pertumbuhan mikroalga *P. purpureum* akibat terganggunya sistem metabolisme dan fisiologis sel. Selain itu, energi yang tersedia dalam sel lebih cenderung dialihkan untuk mempertahankan homeostatis dibandingkan untuk pertumbuhan, sehingga biomassa yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Dapat dilihat lebih lanjut hubungan antara produksi EPS dan biomassa melalui rasio EPS terhadap biomassa (Gambar 3). Hasil penelitian menunjukkan rasio EPS terhadap biomassa meningkat secara signifikan pada semua perlakuan NaCl, dengan nilai tertinggi pada konsentrasi NaCl 1%. Peningkatan rasio ini, menandakan produksi EPS menjadi lebih dominan dibandingkan pertumbuhan biomassa yang mengindikasikan adanya pergeseran alokasi metabolisme sel dari pertumbuhan menuju metabolit ekstraseluler. Fenomena ini diketahui bahwa pada kondisi stress, mikroorganisme cenderung mengalihkan energi metaboliknya untuk menghasilkan senyawa pelindung, termaksud ekopolisakarida. Menurut pernyataan Li *et al.* (2023), yang menunjukkan dari spesies mikroalga yang sama dalam sistem taksonomi modern (*P. purpureum*) bahwa produksi EPS meningkat sebagai respons terhadap stres salinitas karena senyawa ini berfungsi sebagai pelindung sel terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Namun demikian, pada konsentrasi NaCl yang lebih tinggi, meskipun nilai rasio EPS terhadap biomassa tetap tinggi, terjadi kecenderungan penurunan yang menunjukkan bahwa kemampuan adaptasi sel mulai menurun akibat stress yang berlebihan. Hasil penelitian ini memperlihatkan terdapat hubungan yang erat antara EPS, biomassa dan rasio EPS per biomassa terhadap perubahan salinitas. Perlakuan konsentrasi NaCl 1% merupakan kondisi yang optimum yang mampu meningkatkan produksi EPS secara maksimal, meskipun diikuti penurunan biomassa, serta menghasilkan rasio EPS terhadap biomassa tertinggi sebagai indikator efisiensi produksi.

Berdasarkan Tabel 1, parameter lingkungan kultur *P. cruentum* selama penelitian menunjukkan kondisi yang relatif stabil dengan suhu kultur konstan sebesar 29°C, pH media 7,5, dan intensitas cahaya 2448 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pada seluruh perlakuan. Suhu 29°C berada dalam kisaran yang mendukung aktivitas metabolisme dan fotosintesis mikroalga laut, sedangkan pH 7,5 termasuk dalam rentang optimal bagi pertumbuhan *P. cruentum* karena mampu menjaga stabilitas sistem enzimatik, ketersediaan karbon anorganik, dan penyerapan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan sel. Selain itu, intensitas cahaya sebesar 2448 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ menyediakan energi yang cukup untuk mendukung proses fotosintesis dan biosintesis berbagai metabolit seluler, termasuk eksopolisakarida (EPS) (Yin *et al.*, 2022). Hal ini juga diperkuat oleh pernyataan (Lu *et al.*, 2022) bahwa perbedaan faktor-faktor lingkungan berpengaruh terhadap akumulasi substansi metabolit dari mikroalga.

Perbedaan parameter lingkungan hanya terlihat pada salinitas yang meningkat seiring dengan penambahan NaCl, yaitu 33 ppt pada kontrol, 41 ppt pada perlakuan NaCl 1%, 49 ppt pada perlakuan NaCl 2%, dan 63 ppt pada perlakuan NaCl 4%. Peningkatan salinitas tersebut menyebabkan meningkatnya tekanan osmotik pada sel mikroalga sehingga memicu mekanisme adaptasi fisiologis untuk mempertahankan homeostasis internal. Salah satu respons adaptif yang umum terjadi pada *Porphyridium* adalah peningkatan sintesis eksopolisakarida sebagai senyawa pelindung terhadap stres salinitas. Eksopolisakarida berfungsi menjaga

keseimbangan osmotik, melindungi membran sel, dan membantu sel beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa peningkatan salinitas pada tingkat tertentu mampu merangsang produksi EPS, namun salinitas yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan karena sebagian besar energi sel dialihkan untuk mempertahankan keseimbangan osmotik dibandingkan untuk pembentukan biomassa (Ferreira *et al.*, 2021; Decamp *et al.*, 2023). variasi salinitas dalam penelitian ini diduga menjadi faktor utama yang memengaruhi respons fisiologis *P. cruentum*, baik terhadap pertumbuhan biomassa maupun produksi ekopolisakarida yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa produksi ekopolisakarida dari mikroalga *P. cruentum* dengan produksi tertinggi yaitu pada perlakuan penambahan NaCl 1% diperoleh sebesar $1,1478 \pm 0,075$ g/L dengan nilai persentase 61,5%, kemudian produksi biomassa tertinggi yaitu pada kontrol sebesar $0,0127 \pm 0,006$ g/L. dengan nilai presentase 31,4%, serta tingkat rasio produksi EPS terhadap biomassa dengan nilai tertinggi yaitu pada perlakuan NaCl 1% sebesar 88,37 g/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas dukungan pendanaan beasiswa yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Babik W., & Krzemińska, I. (2021). Extracellular Polymeric Substances (EPS) as Microalgal Bioproducts: A Review of Factors Affecting EPS Synthesis and Application in Flocculation Processes. *Energies*, 14 (13), 4007. <https://doi.org/10.3390/en14134007>
- Barkia, I., Saari, N., & Manning, S. R. (2019). Microalgae for high-value products towards human health and nutrition. *Marine Drugs*, 17(5), 304. <https://doi.org/10.3390/md17050304>
- Caetano P.A., do Nascimento T. C., Fernandes A.S., Nass P.P., Vieira K. R., . Junior M. R. M., Jacob-Lopes E, Zepka L. Q.. (2022). Microalgae-based polysaccharides: Insights on production, applications, analysis, and future challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 45. 102491. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102491>
- Cristofoli, N. L., Lima, A. R., Rosa da Costa, A. M., Evtyugin, D., Silva, C., Varela, J., & Vieira, M. C. (2023). Structural Characterization Of Exopolysaccharides Obtained From *Porphyridium Cruentum* Exhausted Culture Medium. *Food and Bioproducts Processing*, 138, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.02.001>
- Decamp, A., Martineau, E., Grizeau, D., Pruvost, J., & Gonçalves, O. (2023). Effects of the salinity on the biosynthesis of the polysaccharides of the marine microalgae *Porphyridium cruentum*. *Algal Research*, 74, 103089 <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103089>
- Delattre C., Pierre, G., Laroche, C., Michaud, P., (2016). Production, Extraction and Characterization Microalgal And Cyanobacterial Exopolysaccharides. *Biotechnology Advances*, 34 (7), 1159–1179. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.08.001>

- Esqueda, A.B., Gardarin, C., Laroche, C., (2022). Exploring the Diversity Of Red Microalgae For Exopolysaccharide Production. Mar. Drugs. 20. 246 <https://doi.org/10.3390/md20040246>
- Ferreira, A. S., Mendonça, I., Póvoa, I., Carvalho, H., Correia, A., Vilanova, M., Silva, T. H., Coimbra, M. A., & Nunes, C. (2021). Impact of growth medium salinity on galactoxylan exopolysaccharides of *Porphyridium purpureum*. Algal Research, 58, 102439. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102439>
- Flores-Gonzalez A.F., Castro-Mejia J., Mata-Sotres J.A., Castro-Mejia G., Monroy- Dosta M.C., Lopez-Garcia E., (2024). Salinity influence on the culture to growth *Porphyridium cruentum* in laboratory conditions. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 12(3):29-33 <https://doi.org/10.22271/fish.2024.v12.i3a.2929>
- Hotos, G. N., & Avramidou, D. (2021). The effect of various salinities and light intensities on the growth performance of five locally isolated microalgae [*Amphidinium carterae*, *nephroselmis* sp., *Tetraselmis* sp. (var. red pappas), *Asteromonas gracilis* and *Dunaliella* sp.] in laboratory batch cultures. Journal of Marine Science and Engineering, 9(11). <https://doi.org/10.3390/jmse9111275>
- Li Q., Chen Y., Liu X., Li Y., Xu J., Li T., Xiang W., Li A., (2023). Effect of salinity on the biochemical characteristics and antioxidant activity of exopolysaccharide of *Porphyridium purpureum* FACHB 806. Front. Mar. Sci. 9:109720 <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1097200>
- Lu, X. D., Nan, F. R., Feng, J., Lv, J. P., Liu, Q., Liu, X. D., et al. (2020). Effects of different environmental factors on the growth and bioactive substance accumulation of *Porphyridium purpureum*. Int. J. Environ. Res. Public Health 17 (7), 2221. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072221>
- Maulina, D., Mun'im, A., Bayu, A., Setiawan, H., & Mohd Hashim, N. (2026). Sulfated exopolysaccharides from *Porphyridium purpureum*: A review of extraction, structural characterization, and chemical properties for advanced applications. F1000Research, 14, 1323. <https://doi.org/10.12688/f1000research.173006.2>
- Morais, M. G., Santos, T. D., Moraes, L., Vaz, B. S., Morais, E. G., and Costa, J. A. V. (2022). Exopolysaccharides from microalgae: Production in a biorefinery framework and potential applications. Bioresour. Technol. Rep. 18, 101006. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101006>
- Moreira, J. B., Kuntzler, S. G., Bezerra, P.Q. M., Cassuriaga, A. P. A., Zaparoli, M., da Silva, J. L. V., et al (2022). Recent advances of microalgae exopolysaccharides for application as biofloculants. Polysaccharides 3 (1), 264–276. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010015>
- Mubarok A., Setyaningsih I., Uju., (2018). Karakteristik Eksopolisakarida Mikroalga *Porphyridium Cruentum* yang Berpotensi Untuk Produksi Bioetanol. JPHPI Vol. 21 No. 1. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i1.21258>
- Raposo M.F., de Morais, R.M., de Morais, A.M., (2013). Bioactivity and Applications of Sulphated Polysaccharides from Marine Microalgae. Marine Drugs, 11(1), 233–252. <https://doi.org/10.3390/md11010233>
- Yin, H. C., Sui, J. K., Han, T. L., Liu, T. Z., & Wang, H. (2022). Integration bioprocess of B-phycoerythrin and exopolysaccharides production from photosynthetic microalga

Porphyridium cruentum. *Frontiers in Marine Science*, 8, 836370.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.836370>