



## Laju Pertumbuhan, Biomassa, dan Produksi Fikosianin *Arthrospira platensis* Perairan Pulau Jawa Pada Variasi Salinitas

<sup>1</sup>Mutia Dinda Lestari, <sup>2</sup>Sajidan, <sup>3</sup>Artini Pangastuti

<sup>1,3</sup>Program Studi Biosains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.

\*Corresponding Author e-mail: [sajidan@fkip.uns.ac.id](mailto:sajidan@fkip.uns.ac.id)

Received: November 2025; Revised: November 2025; Accepted: December 2025; Published: December 2025

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan salinitas optimal yang mampu menghasilkan laju pertumbuhan spesifik, produksi biomassa kering maksimum, dan kadar serta produktivitas fikosianin tertinggi pada strain *A. platensis* lokal perairan Pulau Jawa. Penelitian ini dilakukan menggunakan 3 strain *Arthrospira platensis* yang berasal Jepara, Bogor, dan Yogyakarta dengan variasi salinitas 10, 20, dan 30 ppt dan 3 kali ulangan menggunakan media kultur pupuk walne. Kultur dibudidayakan selama 8 hari untuk dihitung laju pertumbuhan dan diukur biomassa serta konsentrasi fikosianin. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biomassa *A. platensis* pada semua strain maksimum pada 30 ppt. Laju pertumbuhan spesifik *A. platensis* strain JPR dan BGR tercepat pada 30 ppt dan produksi fikosianin tertinggi pada 20 ppt. Sedangkan strain MRP menunjukkan laju pertumbuhan cepat pada 10 ppt dan produksi fikosianin tertinggi pada 30 ppt. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan masing-masing strain memiliki strategi dalam respon salinitas terhadap laju pertumbuhan, biomassa, dan produksi fikosianin yang berbeda.

**Kata Kunci:** *Arthrospira platensis*; salinitas; laju pertumbuhan; biomassa; fikosianin

**Abstract:** This study aims to identify and determine the optimal salinity that can produce specific growth rates, maximum dry biomass production, and the highest phycocyanin content and productivity in local strains of *A. platensis* in the waters of Java Island. This study was conducted using three strains of *Arthrospira platensis* originating from Jepara, Bogor, and Yogyakarta with salinity variations of 10, 20, and 30 ppt and three replicates using walne fertilizer culture media. The cultures were cultivated for eight days to calculate the growth rate and measure the biomass and phycocyanin concentration. The results of this study showed that the biomass of *A. platensis* in all strains was maximum at 30 ppt. The specific growth rate of *A. platensis* strains JPR and BGR was fastest at 30 ppt, and phycocyanin production was highest at 20 ppt. Meanwhile, the MRP strain showed a fast growth rate at 10 ppt and the highest phycocyanin production at 30 ppt. Based on the results of this study, it can be concluded that each strain has a different strategy in responding to salinity in terms of growth rate, biomass, and phycocyanin production.

**Keywords:** *Arthrospira platensis*; salinity; growth rate; biomass; phycocyanin

**How to Cite:** Lestari, M. D., Sajidan, & Pangastuti, A. (2025). Laju Pertumbuhan, Biomassa, dan Produksi Fikosianin *Arthrospira platensis* Perairan Pulau Jawa Pada Variasi Salinitas. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 2848–2857. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18387>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18387>

Copyright© 2025, Lestari et al

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



## PENDAHULUAN

Cyanobacteria adalah sekelompok mikroorganisme fotosintetik prokariotik yang secara signifikan telah meningkatkan penggunaannya dalam bioteknologi pada dekade terakhir (Villaró et al., 2023). Kelompok ini, khususnya genus *Arthrospira* (dikenal secara komersial sebagai *Spirulina*), terkenal karena laju pertumbuhan yang cepat dengan produktivitas biomassa yang tinggi, serta kemampuannya untuk mensintesis beragam senyawa bioaktif. Senyawa-senyawa ini meliputi fikobiliprotein (seperti Fikosianin), asam fenolik, polisakarida, dan sterol (Aziez et al., 2025; Thangsiri et al., 2024). *Spirulina* memiliki potensi besar untuk dikembangkan pada berbagai aplikasi, termasuk bidang pangan, pertanian, dan lingkungan karena komposisi nutrisi dan bioaktifnya (Rizzoli et al., 2025).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keanekaragaman hayati akuatik yang tinggi, dan perairan di Pulau Jawa memiliki potensi besar untuk penelitian dan pengembangan mikroalga (Setiawan, 2023). Lingkungan perairan dangkal yang didukung substrat dasar meliputi kombinasi pasir dan tanah liat sangat mendukung pertumbuhan mikroalga (Arista *et al.*, 2022; Husni & Budhiyanti, A., 2021; Putri *et al.*, 2024). Pemanfaatan strain lokal yang teradaptasi dengan lingkungan Indonesia menjadi kunci untuk mengoptimalkan budidaya industri mikroalga di masa depan.

Di antara senyawa bioaktif yang dihasilkan, *A. platensis* memiliki potensi besar karena menghasilkan fikosianin. Fikosianin adalah pigmen protein berwarna biru yang larut dalam air, tidak beracun, dan berperan vital sebagai pigmen fotosintesis (De Morais *et al.*, 2018). Fikosianin juga menunjukkan sifat farmakognostik yang luar biasa, seperti efek imunoprotektif, antikanker, antidiabetik, antivirus, dan anti-obesitas (Yuan *et al.*, 2022a). Oleh karena itu, pigmen biru ini menjadi komponen bioaktif yang paling penting dan paling dicari di industri bioteknologi, dengan nilai pasar yang diperkirakan mencapai 6,5 miliar USD pada tahun 2030 (Deshmukh, 2021).

Meskipun bioaktivitas Fikosianin memiliki potensi industri yang tinggi, aplikasinya sering menghadapi kendala dalam hal produksi. Fikosianin sensitif terhadap faktor lingkungan seperti suhu, pH, dan cahaya, yang seringkali menyebabkan produk yang dihasilkan rendah (Yuan *et al.*, 2022). Salah satu faktor lingkungan paling penting yang menentukan efisiensi produksi adalah Salinitas, yang juga vital dalam pembentukan biomassa dan pertumbuhan sel (Widawati *et al.*, 2022).

Variasi salinitas air secara fundamental memengaruhi pertumbuhan dan proses metabolisme *Arthrospira platensis*. Salinitas tinggi menimbulkan stres osmotik, yang memaksa sel untuk mengaktifkan mekanisme adaptasi dan pertahanan. Hal ini menyebabkan kompetisi alokasi energi antara jalur biosintesis *compatible solutes* (untuk osmoregulasi internal) dengan jalur biosintesis Fikosianin. Fikosianin sendiri adalah protein kaya Nitrogen yang berfungsi ganda sebagai pemanen cahaya dan cadangan Nitrogen atau antioksidan. Ketika stres osmotik melampaui batas toleransi, sel dapat melakukan strategi *trade-off*, yaitu mengalihkan sumber daya metabolik dari sintesis pigmen menuju produksi solut untuk mempertahankan integritas seluler (Tel-Or *et al.*, 2018). Meskipun penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *A. platensis* dapat meningkatkan produksi biomassa pada salinitas yang lebih tinggi (Markou *et al.*, 2023). Namun titik optimal salinitas spesifik yang mampu menyeimbangkan laju pertumbuhan, total biomassa, dan akumulasi fikosianin pada strain lokal yang berasal dari perairan Pulau Jawa masih belum terdefinisikan secara jelas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan salinitas optimal (10, 20, dan 30 ppt) yang mampu menghasilkan laju pertumbuhan spesifik, produksi biomassa kering maksimum, dan kadar serta produktivitas fikosianin tertinggi pada strain *A. platensis* lokal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi budidaya *A. platensis* yang berkelanjutan di Indonesia, khususnya untuk peningkatan industri pigmen fikosianin.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-Agustus 2025 di Laboratorium Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penelitian dilakukan menggunakan 3 strain *Arthrospira platensis* yang berasal Jepara, Bogor, dan Yogyakarta dengan variasi salinitas 10, 20, dan 30 ppt dan 3 kali ulangan menggunakan media kultur pupuk walne.

## Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu autoklaf, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800), *sentrifuge* (pemisahan partikel untuk mendapatkan supernatan), neraca analitik (*Mettler Toledo AL-204 Analytical Balance*). Penelitian ini menggunakan *Arthrospira platensis* strain JPR (Jepara, Jawa Tengah), BGR (Bogor, Jawa Barat), MRP (Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta), kertas saring, aquades, NaCl, CaO, pupuk walne (nitrogen 0,016 g/L dan fosfor 0,004 g/L dalam bentuk cair).

## Pembuatan Media

Media kultur pupuk walne dibuat dengan menambahkan 1 ml pupuk walne 0,5 ppm  $\text{CaCO}_3$  120 ppm kedalam 500 ml aquades dengan penambahan NaCl 10, 20, 30 ppt. Media kultur disterilisasi menggunakan autoklaf untuk mengurangi adanya mikroorganisme kontaminan. Setelah itu, didinginkan hingga sesuai dengan suhu ruang.

## Kultivasi *A. platensis*

Kultivasi *A. platensis* dilakukan dengan menambahkan 5% inokulan dari keseluruhan kultur yaitu sebanyak 25 mL inokulan pada Erlenmeyer 500 mL. Bibit *A. platensis* dilakukan perhitungan kepadatan sel dengan menggunakan spektrofotometer panjang gelombang 620 nm untuk mengetahui jumlah awal inokulan. Masa pemeliharaan di *greenhouse* selama 10 hari dengan aerasi terus menerus. Optimasi pada variasi salinitas dilakukan setelah kepadatan sel mencapai puncak pertumbuhan dengan *Optical Density* (OD) lebih dari 0,5 (Ilhamdy *et al.*, 2020). Kepadatan populasi *A. platensis* dilakukan dengan mengukur OD menggunakan spektrofotometer gelombang 560 nm dalam rentang 2 hari sekali selama 10 hari pada setiap perlakuan (Utami *et al.*, 2022).

## Perhitungan Laju Pertumbuhan Populasi Spesifik

Laju pertumbuhan spesifik *A. platensis* dihitung menggunakan rumus (Fakhri *et al.*, 2020) berikut.

$$\mu = \frac{\ln X_n - \ln X_0}{t_n - t_0}$$

Keterangan:

- $\mu$  : Laju pertumbuhan spesifik
- $X_0$  : Kepadatan awal
- $X_n$  : Kepadatan pada waktu t
- $t_0$  : Waktu awal
- $t_n$  : Waktu kepadatan tertinggi

## Pemanenan Biomassa

Biomassa *A. platensis* dipanen dengan mengambil 50 mL kultur dan disentrifugasi 3000 rpm selama 5 menit. Pelet diambil dan diletakkan dikertas saring. Kemudian dikering anginkan selama 24 jam (Hanani *et al.*, 2020). Kertas saring kosong dan kertas saring dengan biomassa ditimbang untuk mengukur hasil akhir biomassa.

## Ekstraksi Fikosianin

Ekstraksi fikosianin dilakukan dengan mengambil 50 mL kultur dan disentrifugasi 3000 rpm selama 5 menit. Sebanyak 0,2 g dicampur dengan 1,4 mL buffer fosfat pH 7 (1:8), kemudian divortex selama 5 menit. Setelah itu, disentrifugasi 3000 rpm selama 20 menit. Kemudian diekstraksi dengan pembekuan berulang di freezer (-22°C) selama 16 jam dan pencairan pada suhu kamar (27°C) selama 4 jam hingga warna biru

berubah. Sisa-sisa sel dihilangkan dengan sentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit (Tavanandi *et al.*, 2018). Konsentrasi fikosianin ditentukan menggunakan Persamaan yang dijelaskan oleh Bennet & Bogoard (1973):

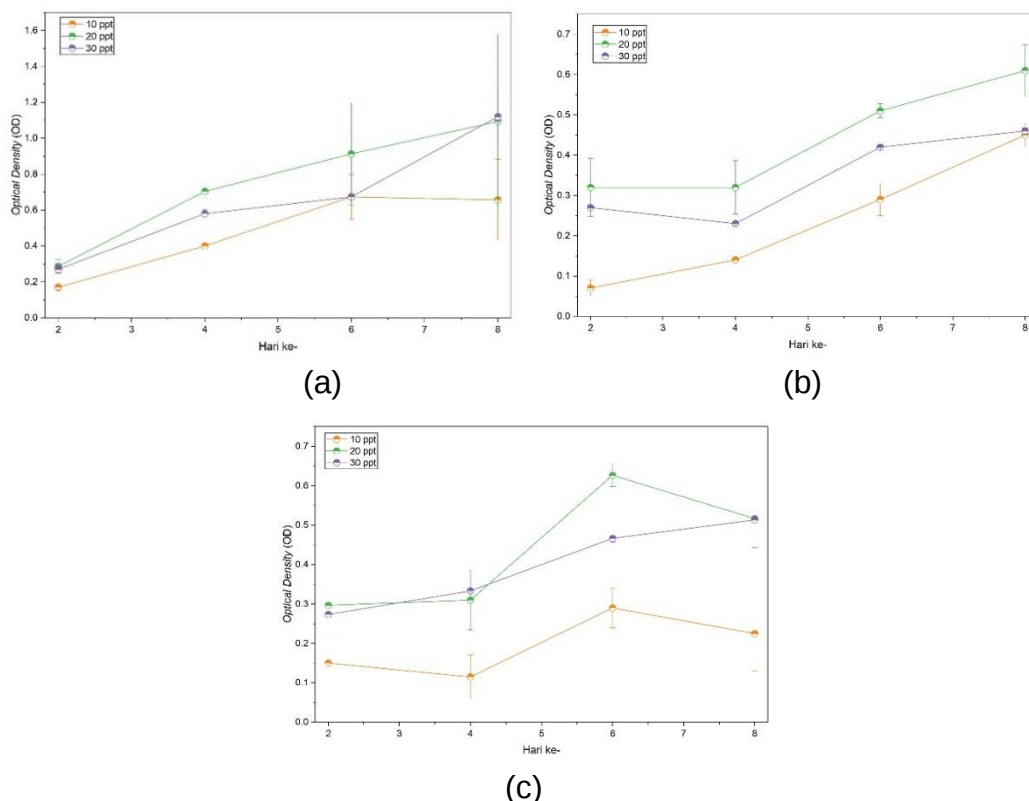
$$[PC] = \frac{A_{620} - 0.474 (A_{652})}{5.34}$$

[PC] merupakan representasi konsentrasi fikosianin, yang satuan pengukurannya dihasilkan dari persamaan tersebut adalah  $\text{mg mL}^{-1}$  dan A adalah absorbansi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Laju Pertumbuhan dan Biomassa

*Optical density* (OD) yang diukur digunakan untuk membuat kurva pertumbuhan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Kurva pertumbuhan dapat menggambarkan siklus hidup *A. platensis*. Cahya *et al.* (2020) menyatakan siklus pertumbuhan pada *A. platenesis* mengikuti pola mikroorganisme yang dimulai dari fase adaptasi, eksponensial, stasioner, hingga kematian. Masing-masing strain dan perlakuan menunjukkan kurva pertumbuhan yang berbeda. Fase eksponensial awal terjadi pada hari ke-2 hingga hari ke-6 dan dilanjutkan dengan fase stasioner yang menunjukkan kurva mendatar atau menurun pada hari ke-8 pada strain JPR perlakuan 10 ppt serta MRP perlakuan 20 ppt. Sedangkan strain BGR menunjukkan fase eksponensial dimulai pada hari ke-4 yang mencapai puncaknya pada hari ke-8. Fase kematian terjadi pada strain MRP perlakuan 10 dan 20 ppt yang ditandai dengan adanya penurunan nilai OD.

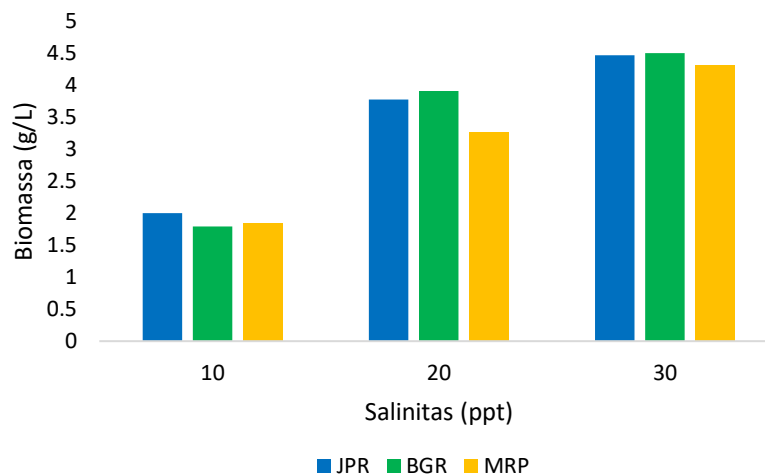


**Gambar 1.** Kurva *Optical Density* (OD) *A. platensis* strain: (a) Jepara (JPR); (b) Bogor (BGR); (c) Merapi (MRP)

Hasil Pengukuran *Optical density* (OD) pada fase eksponensial ini dapat digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan ( $\mu$ ) yang disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Laju pertumbuhan *A. platensis*

| Strain | Salinitas (ppt) | $\mu_{exp}$ (per hari) | Waktu terpilih (Hari) |
|--------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| JPR    | 10              | 0.324                  | 2–6                   |
|        | 20              | 0.297                  | 2–8                   |
|        | 30              | 0.344                  | 2–8                   |
| BGR    | 10              | 0.292                  | 4–8                   |
|        | 20              | 0.161                  | 4–8                   |
|        | 30              | 0.328                  | 4–6                   |
| MRP    | 10              | 0.462                  | 4–6                   |
|        | 20              | 0.354                  | 4–6                   |
|        | 30              | 0.169                  | 4–6                   |

**Gambar 2.** Biomassa *A. platensis* pada variasi salinitas

*A. platensis* strain JPR dan BGR mencapai laju pertumbuhan dan menghasilkan biomassa tertinggi pada 30 ppt. Hal ini diduga kedua strain memiliki kemampuan adaptasi osmotik pada salinitas tinggi. Ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  kemungkinan dimanfaatkan untuk menjaga keseimbangan ionik sel dan tekanan osmotik intraseluler. Sel merespon  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dengan mengaktifkan sistem pengaturan ion antiporter yang diperlukan untuk fungsi enzimatik dan transport elektron. Pemeliharaan gradien ionik mencegah disfungsi fotosistem sehingga aliran elektron dan produksi energi tetap efisien (Klähn *et al.*, 2021). Selain itu,  $\text{Cl}^-$  berfungsi sebagai anion penyeimbang yang membantu muatan stabil selama transport elektron di tilakoid (Doello *et al.*, 2021). Kemampuan *A. platensis* dalam memompa ion yang efektif dan menyeimbangkan muatan  $\text{Cl}^-$  memungkinkan sel menjaga efisiensi fotosintesis serta fiksasi karbon sehingga aliran energi dan karbon diarahkan kembali untuk pembelahan sel dan menghasilkan biomassa yang tinggi.

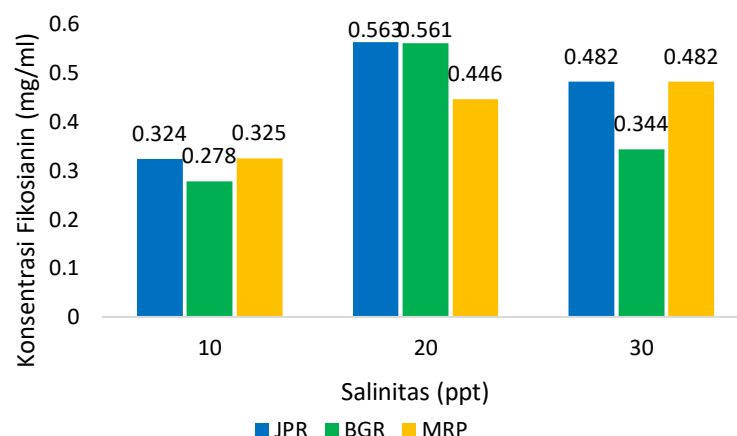
Sel *A. platensis* juga dapat menghasilkan *compatible solute* untuk memulihkan pembelahan sel setelah terpapar stres salin seperti glukosilgliserol dan glycine betaine (Yu *et al.*, 2025). Senyawa ini memulihkan tekanan turgor dan menjaga struktur tilakoid sehingga enzim fotosintetik seperti RuBisCO dapat bekerja. (Chen & Zhang, 2021). Proses fiksasi karbon dan pembentukan biomolekul (karbohidrat, asam amino, dan lipid) tetap berjalan meskipun lingkungan bersalinitas tinggi.

Berbeda dengan dua strain sebelumnya, strain MRP memiliki laju pertumbuhan cepat pada 10 ppt yang menandakan bahwa MRP lebih sensitif terhadap tekanan osmotik. Konsentrasi salinitas yang berlebihan dapat menurunkan kadar air sel dan

meningkatkan kadar garam di dalam sel. Hal ini dapat menghambat metabolisme sel, penyerapan nutrisi dan terhadap pertumbuhan (Pan *et al.*, 2024). Biomassa yang dihasilkan pada 30 ppt mungkin memiliki berat kering per sel yang lebih tinggi, bahkan jika kepadatan sel (yang diukur oleh OD) sedikit lebih rendah, sehingga total biomassa kering yang dipanen menjadi lebih banyak. Penelitian Hamidi *et al.* (2023) menunjukkan bahwa stress salinitas dapat memicu *A. platensis* untuk meningkatkan akumulasi protein dan karbohidrat sebagai stabilisasi struktur sel dan penyimpanan energi. Pertumbuhan awal mungkin lebih lambat (karena adanya stres osmotik), tetapi kulturnya lebih stabil dan berkelanjutan. Hal ini memungkinkan *A. platensis* strain MRP untuk terus berkembang biak hingga mencapai kepadatan sel maksimum yang jauh lebih tinggi dan stabil.

### Produksi Fikosianin

Berdasarkan konsentrasi fikosianin dapat menggambarkan produksi fikosianin *A. platensis* masing-masing strain pada salinitas berbeda. *A. platensis* strain JPR dan BGR menunjukkan konsentrasi fikosianin tertinggi pada level salinitas 20 ppt, sedangkan strain MRP pada level salinitas 30 ppt memiliki konsentrasi fikosianin paling tinggi yang selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Konsentrasi fikosianin *A. platensis* strain JPR, BGR, MRP pada salinitas berbeda

Produksi fikosianin *A. platensis* strain JPR dan BGR tertinggi pada 20 ppt diduga karena sel memicu akumulasi pigmen fotosintetik seperti fikosianin untuk menyeimbangkan tekanan osmotik dan mempertahankan penyerapan energi cahaya yang efisien. Menurut Chaiklahan *et al.*, (2022), fikosianin berperan untuk menangkap panjang gelombang cahaya yang tidak dapat diserap oleh klorofil, sehingga meningkatkan kapasitas fotosintesis dan pertumbuhan biomassa secara keseluruhan. *A. platensis* juga dapat mendeteksi perubahan dalam ekspresi protein terhadap stres ketika terkena stres salinitas yang memengaruhi metabolisme energi. Peningkatan ekspresi protein yang mendukung pembentukan ATP dan NADPH (energi reduktif) untuk mempertahankan aktivitas biosintetik, termasuk sintesis pigmen (Hong *et al.*, 2023).

*A. platensis* Strain MRP menunjukkan strategi adaptasi dengan konsentrasi fikosianinnya terus meningkat hingga salinitas 30 ppt. Namun, biomassa dan produksi fikosianin tertinggi justru pada 30 ppt. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun laju pertumbuhan menurun pada salinitas tinggi, MRP mampu beradaptasi dengan membentuk senyawa pelindung, termasuk fikosianin. Fikosianin berfungsi sebagai

antioksidan dan penstabil struktur tilakoid, sehingga peningkatan produksinya pada 30 ppt merupakan respon adaptif terhadap stres garam. Hal ini menunjukkan bahwa strain ini mungkin menggunakan pigmen fikosianin sebagai bagian dari respons perlindungan stresnya dan berpotensi memiliki toleransi yang lebih tinggi dalam mempertahankan sintesis protein penting pada kondisi lingkungan yang lebih ekstrem. Fikosianin berfungsi sebagai antioksidan yang dapat melindungi sel terhadap kerusakan ROS pada kondisi stress garam (Fernandes *et al.*, 2023).

Pada kondisi di mana laju pertumbuhan melambat tetapi kandungan fikosianin meningkat kemungkinan *A. platensis* melakukan alih alokasi energi, yaitu menurunkan prioritas pada pembelahan sel dan mengarahkan energi ke biosintesis pigmen, termasuk fikosianin. Ketika mengalami stres moderat, seperti perubahan salinitas atau tekanan ionik, sel mengaktifkan jalur pertahanan dan protein stres yang secara tidak langsung meningkatkan kebutuhan akan fikosianin sebagai pigmen antena fotosintetik (Lao & Edullantes, 2025). Sel membelah dengan lambat sehingga pigmen yang dihasilkan tidak cepat terdilusi oleh pertumbuhan dan konsentrasi fikosianin per sel atau per biomassa menjadi lebih tinggi (Maulana *et al.*, 2023). Selain itu, kondisi metabolik stres memicu peningkatan aktivitas jalur tetrapirrol dan enzim penyintesis kromofor fikosianobilin, sehingga produksi fikosianin tetap tinggi meskipun laju pertumbuhan rendah (Fakhri *et al.*, 2020). Pola ini sesuai dengan hasil kultur *A. platensis* yang menunjukkan bahwa kondisi pertumbuhan yang rendah tetapi dapat menghasilkan akumulasi fikosianin yang lebih tinggi dibandingkan kultur yang tumbuh sangat cepat.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *A. platensis* strain JPR, BGR, dan MRP memiliki kemampuan adaptasi terhadap peningkatan salinitas dengan mencapai akumulasi biomassa maksimum dan laju pertumbuhan, meskipun laju pertumbuhan strain MRP lambat menunjukkan toleransi dan resistensi yang lebih tinggi dengan mencapai konsentrasi fikosianin tertinggi. Sedangkan pada strain JPR dan BGR produksi fikosianin tertinggi pada salinitas moderat menunjukkan adanya pengalihan alokasi energi pada kondisi stres salinitas. Masing-masing strain memiliki strategi dalam respon terhadap laju pertumbuhan, biomassa, dan produksi fikosianin yang berbeda.

## REKOMENDASI

Peneliti merekomendasikan melakukan studi yang membandingkan profil transkriptomik (ekspresi gen) dan metabolomik (profil *compatible solutes*) antara strain MRP dan JPR atau BGR untuk mengidentifikasi gen spesifik yang membuat strain MRP lebih resisten dalam mempertahankan biosintesis fikosianin dan mengidentifikasi *compatible solutes* mana yang diprioritaskan oleh masing-masing strain saat stres.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan apresiasi yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengembangan Masyarakat yang mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Fundamental berdasarkan kontrak nomor 369/UN27.22/PT.01.03/2025. Akhir kata, ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh rekan-rekan peneliti atas bantuan teknis, diskusi ilmiah, dan dukungan moral selama proses eksperimen.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arista, T. V., Aldya, R. F., & Prasetyo, N. A. (2022). Studi Keragaman Makroalga di Pantai Clungup Malang Selatan. *Bioma: Jurnal Biologi Dan Pembelajaran Biologi*, 7(1), 72–80. <https://doi.org/10.32528/bioma.v7i1.6087>
- Aziez, M., Suharoschi, R., Merakeb, M. S., Pop, O. L., & Ciont, C. (2025). *Phenolic Profiling and Bioactive Properties of Arthrospira platensis Extract in Alleviating Acute and Sub-Chronic Colitis*. 1–23.
- Bennet, A., & Bogoard, L. (1973). Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. *J. Cell Biol*, 58, 419–435.
- Cahya, N., Waspodo, S., & Setyono, B. D. H. (2020). Analisis Pertumbuhan Spirulina sp. Dengan Kombinasi Pupuk Yang Berbeda. *Jurnal Perikanan*, 10(2), 123–133.
- Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Srinorasing, T., & Attasat, S. (2022). *Bioresource Technology Enhanced biomass and phycocyanin production of Arthrospira ( Spirulina ) platensis by a cultivation management strategy: Light intensity and cell concentration*. 343.
- Chen, L., & Zhang, W. (2021). *Salt-Tolerant Synechococcus elongatus UTEX 2973 Obtained via Engineering of Heterologous Synthesis of Compatible Solute Glucosylglycerol*. 12, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.650217>
- De Morais, M. G., Da Fontoura Prates, D., Moreira, J. B., Duarte, J. H., & Costa, J. A. V. (2018). Phycocyanin from microalgae: Properties, extraction and purification, with some recent applications. *Industrial Biotechnology*, 14(1), 30–37. <https://doi.org/10.1089/ind.2017.0009>
- Deshmukh, R. (2021). *Phycocyanin Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report by Form, Grade and Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030*. Allied Market Research.
- Doello, S., Burkhardt, M., Doello, S., Burkhardt, M., & Forchhammer, K. (2021). Article The essential role of sodium bioenergetics and ATP homeostasis in the developmental transitions of a cyanobacterium II II The essential role of sodium bioenergetics and ATP homeostasis in the developmental transitions of a cyanobacterium. *Current Biology*, 31(8), 1606-1615.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.065>
- Fakhri, M., Antika, W., Wilujeng Ekawati, A., Nasrullah, D., & Arifin, B. (2020). Pertumbuhan, Kandungan Pigmen, dan Protein Spirulina platensis yang Dikultur Pada  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  Dengan Dosis yang Berbeda. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(1), 38–47. <https://e-journal.unair.ac.id/JAFH>
- Fernandes, R., Campos, J., Serra, M., Fidalgo, J., Almeida, H., Casas, A., Toubarro, D., & Barros, A. I. R. N. A. (2023). Exploring the Benefits of Phycocyanin: From Spirulina Cultivation to Its Widespread Applications. *Pharmaceuticals*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/ph16040592>
- Hamidi, M., Mohammadi, A., Mashhadi, H., & Mahmoudnia, F. (2023). *Results in Engineering Evaluation of effective environmental parameters on lipid , protein and beta-carotene production in Spirulina platensis microalga*. 18, 1–8.
- Hanani, T., Widowati, I., & Susanto, A. (2020). Kandungan Senyawa Beta Karoten pada Spirulina platensis dengan Perlakuan Perbedaan Lama Waktu Pencapaian. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1), 55–58. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i1.24681>
- Hong, D. D., Hien, H. T. M., Thom, L. T., Ha, N. C., Huy, L. A., Thu, N. T. H., Cuong, N., Tang, D. Y. Y., & Show, P. L. (2023). Transcriptome Analysis of Spirulina platensis sp. at Different Salinity and Nutrient Compositions for Sustainable Cultivation in Vietnam. *Sustainability (Switzerland)*, 15(15).

- <https://doi.org/10.3390/su151511906>
- Husni, A., & Budhiyanti, A., A. (2021). *Rumput Laut Sebagai Sumber Pangan, Kesehatan Dan Kosmetik*. UGM Press.
- Ilhamdy, A. F., Farel, Y., Tambunan, S., Teknologi, J., Perikanan, H., Maritim, U., & Ali, R. (2020). *Pertumbuhan Mikroalga Spirulina (Arthrospira platensis) Dalam Tekanan Styrofoam Pada Lingkungan Air Tawar*. 03(02), 114–120.
- Klähn, S., Mikkat, S., Riediger, M., Georg, J., Hess, W. R., & Hagemann, M. (2021). Integrative analysis of the salt stress response in cyanobacteria. *Biology Direct*, 1–23. <https://doi.org/10.1186/s13062-021-00316-4>
- Lao, I. K. M., & Edullantes, B. (2025). *Growth , Productivity , and Size Structure of Spirulina Strain Under Different Salinity Levels : Implications for Cultivation Optimization*. 1–16.
- Markou, G., Kougia, E., Arapoglou, D., Chentir, I., Andreou, V., & Tzovenis, I. (2023). Production of Arthrospira platensis: Effects on Growth and Biochemical Composition of Long-Term Acclimatization at Different Salinities. *Bioengineering*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020233>
- Maulana, G., D., Risjani, Y., & Taqiyyah, A., M. (2023). The Growth , Biomass and Phycocyanin of Spirulina platensis Cultured with Liquid Organic ( POC ) and NPK Fertilizers The Growth , Biomass and Phycocyanin of Spirulina platensis Cultured with Liquid Organic ( POC ) and NPK Fertilizers. *Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1191/1/012012>
- Pan, Y., Amenorfenyo, D. K., Dong, M., Zhang, N., Huang, X., Li, C., & Li, F. (2024). *Effects of salinity on the growth , physiological and biochemical components of microalga Euchlorocystis marina*. 5, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1402071>
- Putri, A., Melandari, S. Q., Mariska, O., Gustiarni, M. P., & Edelwis, T. W. (2024). Identifikasi Keanekaragaman Makroalga Yang Tersebar di Perairan Pulau Jawa. *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(3), 216–224. <https://doi.org/10.32938/jbe.v8i3.5528>
- Rizzoli, M., Lutz, G. A., Usai, L., Fais, G., Dessì, D., Soto-Ramirez, R., Cosenza, B., & Concas, A. (2025). Photoautotrophic Batch Cultivation of Limnospira (Spirulina) platensis: Optimizing Biomass Productivity and Bioactive Compound Synthesis Through Salinity and pH Modulation. *Marine Drugs*, 23(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/md23070281>
- Setiawan, A. (2023). Potential of microalgae in carbon fixation and bioactive compound production: A study from Java Island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 174.
- Tavanandi, H. A., Mittal, R., Chandrasekhar, J., & Raghavarao, K. S. M. S. (2018). Simple and efficient method for extraction of C-Phycocyanin from dry biomass of Arthrospira platensis. *Algal Research*, 31, 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.02.008>
- Tel-Or, S., Harel, A., Ben-Chaim, S., & Bar-Even, Y. (2018). Phycobiliproteins as Natural Antioxidants. In *Cyanobacterial Biotechnology: Applications in Food, Feed and Biofuel Production* (p. 12). CRC Press.
- Thangsiri, S., Inthachai, W., Temviriyankul, P., & Sahasakul, Y. (2024). *Bioactive compounds and in vitro biological properties of Arthrospira platensis and Athrospira maxima : a comparative study*. 1–16.
- Utami, E., Mahardika, R. G., Studi, P., Universitas, B., Belitung, B., Studi, P., Kelautan, I., Bangka, U., Studi, P., Universitas, K., & Belitung, B. (2022). *Pengaruh Salinitas terhadap Kepadatan Populasi dan Konsentrasi Klorofil-a Spirulina pada Media*

- Kultur Modifikasi Walne dan Air Limbah Budidaya Ikan Effect of Salinity on The Population Density and Chlorophyll-a Spirulina Concentration in Modified Culture*. 07(2), 112–120.
- Villarro, S., García-Vaquero, M., Morán, L., Álvarez, C., Cabral, E. M., & Lafarga, T. (2023). Effect of seawater on the biomass composition of *Spirulina* produced at a pilot-scale. *New Biotechnology*, 78, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.11.002>
- Widawati, D., Santosa, G. W., & Yudiati, E. (2022). Pengaruh Pertumbuhan *Spirulina platensis* terhadap Kandungan Pigmen beda Salinitas. *Journal of Marine Research*, 11(1), 61–70. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i1.30096>
- Yu, C., Zheng, J., Zhang, Y., Hu, Y., Luo, W., Zhang, J., Yu, J., Liu, J., Nixon, P. J., Zhou, W., & Shao, S. (2025). Towards sustainable spirulina farming: Enhancing productivity and biosafety with a salinity-biostimulants strategy. *Bioresource Technology*, 419(December 2024), 132043. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132043>
- Yuan, B., Li, Z., Shan, H., Dashnyam, B., Xu, X., McClements, D. J., Zhang, B., Tan, M., Wang, Z., & Cao, C. (2022a). A review of recent strategies to improve the physical stability of phycocyanin. *Current Research in Food Science*, 5, 2329–2337. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.019>
- Yuan, B., Li, Z., Shan, H., Dashnyam, B., Xu, X., McClements, D. J., Zhang, B., Tan, M., Wang, Z., & Cao, C. (2022b). A review of recent strategies to improve the physical stability of phycocyanin. *Current Research in Food Science*, 5, 2329–2337. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.019>