

AKTIVITAS ANTIOKSIDAN FIKOSIANIN *Arthrospira platensis* YANG DIEKSTRAK MENGGUNAKAN DIMETIL SULFOKSIDA

Husna Vannisa Sunandar, Amir Husni*

Departemen Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada
Jalan Flora Bulaksumur, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta Indonesia 55281

Diterima: 2 Februari 2025/Disetujui: 22 Mei 2025

*Korespondensi: a-husni@ugm.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Sunandar, H. V., & Husni, A. (2025). Aktivitas antioksidan fikosianin *Arthrospira platensis* yang diekstrak menggunakan dimetil sulfoksida. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(5), 479-493. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v28i5.62378>

Abstrak

Fikosianin merupakan pigmen utama dalam *Arthrospira platensis* yang memiliki sifat antioksidan sehingga dapat dimanfaatkan dalam bidang pangan maupun kosmetik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh kondisi biomassa terhadap karakteristik (rendemen, konsentrasi fikosianin, indeks kemurnian) dan aktivitas antioksidan fikosianin *A. platensis* yang diekstrak menggunakan dimetil sulfoksida (DMSO). Biomassa basah dan kering *A. platensis* diekstraksi menggunakan DMSO 50% dengan perbandingan 1:10 untuk mendapatkan ekstrak fikosianin kemudian dilakukan pemurnian menggunakan amonium sulfat. Ekstrak fikosianin dan fikosianin hasil yang telah dimurnikan dianalisis rendemen, konsentrasi, indeks kemurnian, gugus fungsi dan aktivitas antioksidan (metode 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) dan *ferric reducing antioxidant power* (FRAP)). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi biomassa *A. platensis* (basah maupun kering) yang diekstrak menggunakan DMSO berpengaruh terhadap karakteristik fikosianin dan aktivitas antioksidan. Fikosianin dari biomassa basah memiliki karakteristik (rendemen 145,14±5,59 mg/g, konsentrasi fikosianin 0,40±0,02 mg/mL, indeks kemurnian 0,19±0,06) dan aktivitas antioksidan (IC₅₀ DPPH 30.628,89±886,81 ppm, FRAP 1.695,57±5,18 µM/g) lebih tinggi dibandingkan dari biomassa kering (rendemen 39,50±20,30 mg/g, konsentrasi fikosianin 0,08±0,04 mg/mL, indeks kemurnian 0,03±0,02) dan aktivitas antioksidan (IC₅₀ DPPH 162.820,59±1.446,30 ppm, FRAP 1.691,01±50,29 µM/g). Hasil *fourier transform infrared* (FTIR) menunjukkan adanya serapan khas gugus fungsi yang terdapat pada fikosianin. Aktivitas antioksidan fikosianin dari biomassa basah dengan metode DPPH (antioksidan primer) tergolong antioksidan lemah dan metode FRAP (antioksidan sekunder) tergolong kuat.

Kata kunci: biomassa basah, biomassa kering, DDPH, FRAP, kosmetik

Antioxidant Activity of *Arthrospira platensis* Phycocyanin Extracted Using Dimethyl Sulfoxide

Abstract

Arthrospira platensis uses phycocyanin, its main pigment, for its antioxidant properties in the food and cosmetic fields. This study aims to determine the effect of biomass conditions on the characteristics (yield, phycocyanin concentration, purity index) and antioxidant activity of *A. platensis* phycocyanin extracted using dimethyl sulfoxide (DMSO). Wet and dry biomass of *A. platensis* were extracted using 50% DMSO with a ratio of 1:10 to obtain phycocyanin extract and then purified using ammonium sulfate. Phycocyanin extract and purified phycocyanin were analyzed for yield, concentration, purity index, functional groups, and antioxidant activity (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods). The results indicated that the conditions of *A. platensis* biomass (wet and dry) extracted using DMSO affected the characteristics of phycocyanin and antioxidant activity. Phycocyanin from wet biomass has characteristics (yield 145.14±5.59 mg/g, concentration 0.40±0.02 mg/mL, purity index 0.19±0.06) and

antioxidant activity (IC_{50} DPPH $30,628.89 \pm 886.81$ ppm, FRAP $1,695.57 \pm 5.18$ μ M/g) higher than that from dry biomass (yield 39.50 ± 20.3 mg/g, phycocyanin concentration 0.08 ± 0.04 mg/mL, purity index 0.03 ± 0.02) and antioxidant activity (IC_{50} DPPH $162,820.59 \pm 1,446.30$ ppm, FRAP $1,691.01 \pm 50.29$ μ M/g). Fourier transform infrared (FTIR) results show the typical absorption of functional groups found in phycocyanin. The antioxidant activity of phycocyanin from wet biomass using the DPPH method (primary antioxidant) is classified as a weak antioxidant, while based on the FRAP method (secondary antioxidant), the antioxidant is classified as a strong antioxidant.

Keywords: cosmetics, DPPH, dry biomass, FRAP, wet biomass

PENDAHULUAN

Senyawa antioksidan merupakan senyawa kimia yang dapat menetralkan radikal bebas (Gulcin, 2020). Kadar radikal bebas yang tinggi dapat menyebabkan berbagai penyakit degeneratif di antaranya diabetes, hipertensi, penyakit jantung, dan kanker (McCarty & Kerna, 2021). Secara alami tubuh dapat menetralkan radikal bebas, namun pada kondisi tertentu misalnya olahraga berat, infeksi berat, paparan asap rokok, serta polusi udara dan sinar UV secara terus menerus membutuhkan tambahan antioksidan (Nurkhasanah *et al.*, 2023). Antioksidan tambahan dapat berupa antioksidan sintetik dan antioksidan alami. Namun demikian, antioksidan sintetik dapat menimbulkan efek negatif pada kesehatan sehingga penggunaannya dibatasi (Xu *et al.*, 2021). Oleh karena itu, perlu dicari sumber antioksidan alami salah satunya fikosianin dari *Arthrospira platensis* (Fratelli *et al.*, 2021).

Arthrospira platensis adalah jenis mikroalga yang termasuk dalam kelompok cyanobacteria yang kaya akan fikosianin. Fikosianin telah terbukti memiliki sifat antioksidan (Firdiyani *et al.*, 2015) dengan menetralkan radikal alkoksil, hidroksil, dan peroksil (Chittapun *et al.*, 2020). Fikosianin dapat diekstrak dari mikroalga *A. platensis* (Khandual *et al.*, 2021). Faktor yang dapat memengaruhi proses ekstraksi yaitu kondisi biomassa (biomassa basah dan biomassa kering) serta pelarut yang digunakan selama ekstraksi (Chen *et al.*, 2015; de Farias Neves *et al.*, 2019; Fratelli *et al.*, 2021). Beberapa pelarut yang telah digunakan dalam proses ekstraksi fikosianin di antaranya air suling (İlter *et al.*, 2018), asam klorida (Kathiravan *et al.*, 2022), metanol (Jiang *et al.*, 2021), dan kalsium klorida (Julianti *et al.*, 2019). Namun,

pelarut tersebut menunjukkan beberapa kelemahan, yaitu menghasilkan kemurnian rendah (Khandual *et al.*, 2021), denaturasi fikosianin dan pengendapan protein (Jaeschke *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2022). Alternatif penggunaan pelarut yang optimal perlu diteliti lebih lanjut untuk menghasilkan kandungan fikosianin dengan aktivitas antioksidan yang lebih baik (Tavanandi *et al.*, 2018).

Pelarut dimetil sulfoksida (DMSO) dapat menjadi salah satu alternatif untuk ekstraksi fikosianin. Keunggulan DMSO untuk ekstraksi pigmen, yaitu proses ekstraksi menjadi lebih sederhana, cepat, dan efisien (Wang *et al.*, 2023; Ruiz-Ruiz *et al.*, 2019). Penggunaan DMSO menghasilkan ekstrak fikosianin yang lebih baik dibandingkan dengan pelarut lain (El-Sayed *et al.*, 2016). Penelitian terkait aktivitas antioksidan fikosianin dari *A. platensis* yang diekstrak dengan DMSO sejauh ini belum dilaporkan. Selain jenis pelarut, hasil ekstraksi juga dipengaruhi oleh kondisi biomassa (El-Sayed *et al.*, 2016). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh kondisi biomassa terhadap karakteristik (rendemen, konsentrasi fikosianin, indeks kemurnian) dan aktivitas antioksidan fikosianin *A. platensis* yang diekstrak menggunakan DMSO.

BAHAN DAN METODE

Persiapan Sampel

Biomassa basah dan kering *A. platensis* diperoleh dari PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC), Semarang, Indonesia. Biomassa basah adalah padatan yang tersisa setelah *A. platensis* diperas menggunakan *screw press* untuk mengurangi kadar air. Biomassa kering adalah *A. platensis* yang telah dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 8 jam.



Ekstraksi Fikosianin

Ekstraksi fikosianin dilakukan sesuai penelitian El-Sayed *et al.* (2016) dengan modifikasi yaitu jumlah biomassa kering dari 0,5 g menjadi 1 g. Biomassa basah (1 g) maupun kering (1 g) *A. platensis* dicampurkan 10 mL DMSO konsentrasi 50% kemudian dipisahkan antara endapan dan supernatan dengan sentrifugasi pada 3.000 rpm (4°C) selama 30 menit. Supernatan dimasukkan ke dalam penangas air selama ± 24 jam pada suhu 22°C, disentrifugasi kembali dan supernatan sebagian digunakan untuk tahap pemurnian dan sebagian dikeringkan dengan *freeze dryer*.

Pemurnian Fikosianin dengan Amonium Sulfat

Supernatan dari ekstrak fikosianin dimurnikan dengan pengendapan menggunakan amonium sulfat mengacu pada penelitian Avci & Haznedaroglu (2022). Supernatan ekstrak kasar fikosianin ditambahkan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ padat hingga 25% jenuh dan campuran diaduk dengan pengaduk magnet hingga larut kemudian dibiarkan selama 24 jam pada suhu 4°C kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3.000 rpm (4°C) selama 30 menit. Endapan dibuang dan supernatan ditambahkan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ padat hingga 50% jenuh dan diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai larut kemudian dibiarkan selama 24 jam pada suhu 4°C lalu disentrifugasi pada 3.000 rpm selama 30 menit pada suhu 4°C. Endapan tersebut dilarutkan menggunakan pelarut bufer pH 7 sebanyak 10 mL untuk didialisis menggunakan kantung dialisis 10-14 kDa yang direndam dalam pelarut bufer pH 7 selama 24 jam pada suhu 4°C. Dialisat yang dihasilkan dikeringbekukan menggunakan *freeze dryer*.

Analisis Kadar Air

Kadar air dari biomassa basah dan kering *A. platensis* dilakukan analisis kadar air yang mengacu pada Pratiwi & Husni (2021). Sampel 0,5 g ditempatkan di piring *moisture analyzer* kemudian alat ditutup. Nilai kadar air muncul melalui layar setelah 2-20 menit dan dicatat.

Analisis Rendemen Fikosianin, Konsentrasi, dan Indeks Kemurnian

Pengujian rendemen fikosianin, konsentrasi, dan indeks kemurnian menggunakan metode yang dilakukan oleh Margiati *et al.* (2019) dengan mengukur absorbansi sampel. Fikosianin 0,05 g dilarutkan dengan 500 μL DMSO 50% kemudian diencerkan. Perhitungan konsentrasi fikosianin diperoleh dari pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum fikosianin (620 nm) serta panjang gelombang yang mendeteksi keberadaan protein lain dalam larutan yaitu pada 280 nm (Pan-utai & Iamtham, 2019). Konsentrasi dan indeks kemurnian fikosianin dihitung dari pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-VIS (GENESYS 10S UV-Vis) pada panjang gelombang 620, 652, dan 280 nm. Kemurnian fikosianin diukur dengan membandingkan nilai absorbansi fikosianin pada panjang gelombang 620 nm dan nilai absorbansi protein pada 280 nm. Penentuan rendemen, konsentrasi, dan indeks kemurnian fikosianin dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Rendemen fikosianin (mg/g)} = \frac{A \times B}{C}$$

$$\text{Konsentrasi fikosianin (mg/mL)} = \frac{[D - 0,474(E)]}{5,34}$$

$$\text{Indeks kemurnian fikosianin} = \frac{D}{F}$$

Keterangan:

- A = konsentrasi fikosianin (mg/mL)
- B = volume pelarut (mL)
- C = jumlah biomassa kering yang digunakan (g)
- D = absorbansi 620 nm
- E = absorbansi 652 nm
- F = absorbansi 280 nm

Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi khas dalam ekstrak senyawa fikosianin. Profil gugus fungsi dari fikosianin ekstrak kasar maupun

fikosianin murni pada biomassa basah dan kering *A. platensis*, serta fikosianin komersial dianalisis menggunakan FTIR mengacu pada Prabakaran *et al.* (2020). Analisis spektral inframerah dilakukan menggunakan instrumen Shimadzu FT-IR 8300. Pelet KBr dibuat dengan mencampurkan 1 mg sampel dengan 100 mg KBr, kemudian spektrum direkam dari 500 hingga 4.500 cm^{-1} .

Pengujian Aktivitas Antioksidan Metode DPPH

Pengujian aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH mengacu pada Molyneux (2004) yang telah dimodifikasi. Sampel 10 mg ditambahkan 10 mL metanol sehingga didapatkan konsentrasi 1.000 ppm lalu diencerkan menjadi 200, 400, 600, 800, 1.000 ppm. Vitamin C dan BHT sebagai pembanding sebanyak 0,5 mg dilarutkan dalam 10 mL metanol sehingga didapatkan konsentrasi 10 ppm lalu diencerkan menjadi 2, 4, 6, 8, 10 ppm. Sampel 0,5 mL ditambahkan larutan DPPH 40 ppm sebanyak 0,5 mL kemudian dihomogenkan lalu diinkubasi di ruang gelap selama 30 menit. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 517 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH dihitung dengan rumus:

$$\text{DPPH (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Keterangan:

A = absorbansi kontrol

B = absorbansi sampel

Pengujian Aktivitas Antioksidan Metode Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

Pengujian aktivitas antioksidan menggunakan metode FRAP mengacu pada Agrawal *et al.* (2021) yang telah dimodifikasi. Larutan bufer asetat pH 3,6 dibuat dengan mencampurkan 0,775 g $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dengan 4 mL asam asetat pekat dan ditambah akuades hingga tepat 250 mL. Bufer asetat dapat disimpan untuk dijadikan stok dalam suhu 4°C. Pembuatan larutan TPTZ dengan melarutkan 0,15 g TPTZ ke dalam 40 mmol/L

HCl hingga tepat 50 mL. Larutan 40 mmol/L HCL disiapkan dengan melarutkan 0,828 mL HCl pekat ke dalam 250 mL akuades. Larutan TPTZ dapat disimpan dalam suhu 4°C maksimum selama 1 hari sebelum digunakan. Larutan 20 mmol/L $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dibuat dengan melarutkan 0,54 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan akuades dalam labu takar hingga 100 mL. Larutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dapat disimpan maksimal 1 hari sebelum digunakan dalam suhu 4°C. Reagen FRAP dibuat dengan cara mencampurkan 25 mL bufer asetat dengan 2,5 mL larutan TPTZ dan 2,5 mL larutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (10:1:1) kemudian ditambahkan akuades hingga tepat 100 mL dalam labu takar. Pembuatan larutan standar $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan cara 2,78 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam 100 mL akuades kemudian diencerkan 20,40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 μL dan ditempatkan pada labu takar berbeda. Fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni dari biomassa basah dan kering *A. platensis*, serta fikosianin komersial masing-masing dilarutkan 10 mg bahan dalam 10 mL akuades sehingga didapatkan konsentrasi 1.000 ppm. Sementara itu, vitamin C dan BHT sebagai pembanding sebanyak 0,5 mg dilarutkan dalam akuades 10 mL sehingga didapatkan konsentrasi 10 ppm. Reagen FRAP diambil sebanyak 900 μL kemudian dilarutkan dengan 120 μL masing-masing larutan sampel lalu dihomogenkan dan didiamkan selama 15 menit selanjutnya dibaca pada panjang gelombang 593 nm dengan spektrofotometer. Larutan standar $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ digunakan sebagai kurva standar dengan membuat persamaan garis dari nilai absorbansi larutan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Data absorbansi sampel dimasukkan ke dalam persamaan garis tersebut sehingga diperoleh nilai FRAP yang dinyatakan dalam $\mu\text{M/g}$. Rumus untuk menghitung nilai FRAP adalah sebagai berikut:

$$\text{FRAP (\mu M/g)} = \frac{A \times B \times C}{D}$$

Keterangan:

A = konsentrasi larutan uji (mg/mL)

B = volume larutan uji (mL)

C = faktor pengencer

D = massa larutan uji (g)



Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan dianalisis menggunakan aplikasi Microsoft Excel 2019 dan SPSS. Uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov. Data berdistribusi normal apabila $p > 0,05$ kemudian analisis dilanjutkan dengan ANOVA. Namun, jika data tidak berdistribusi normal maka digunakan uji Kruskal-Wallis. Data dari uji kadar air dianalisis menggunakan *One-Sample T-Test*. Data hasil uji konsentrasi fikosianin, uji kemurnian fikosianin, uji rendemen fikosianin, uji aktivitas antioksidan metode RSA DPPH dan FRAP dianalisis menggunakan ANOVA. Jika hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p < 0,05$) maka dilakukan uji lanjut Tukey untuk mengetahui perbedaan antara perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Hasil penelitian diperoleh bahwa kadar air biomassa basah adalah $74,30 \pm 1,30\%$ dan biomassa kering $5,39 \pm 0,01\%$. Biomassa basah *A. platensis* memiliki kadar air yang lebih tinggi dan berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan *A. platensis* kering. Perbedaan kadar air antara biomassa basah dan biomassa kering dapat terjadi karena pada biomassa kering mengalami proses pengeringan menggunakan oven pada suhu berkisar 60°C selama kurang lebih 8 jam, sedangkan biomassa basah adalah *A. platensis* yang diperas menggunakan *screw press* untuk mengurangi kadar air. Kadar air

yang terkandung dalam suatu bahan dapat memengaruhi hasil ekstraksi terutama pada ekstraksi fikosianin *A. platensis* (Stramarkou *et al.*, 2021).

Biomassa basah *A. platensis* menghasilkan kadar air sebesar $85,97\%$ sedangkan biomassa *A. platensis* yang dikeringkan menggunakan *vacuum dried* (50°C) menghasilkan kadar air sebesar $19,74\%$ (Stramarkou *et al.*, 2021). Hasil tersebut berpengaruh terhadap kandungan fikosianin yang dihasilkan. Kandungan fikosianin *A. platensis* tertinggi dihasilkan dari sebelum proses pengeringan. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Chen *et al.* (2015) bahwa adanya pengeringan biomassa dapat menunjukkan hasil dan kemurnian ekstraksi yang berbeda. Perbedaan hasil pada penelitian ini dengan penelitian lainnya dapat terjadi karena perbedaan suhu pengeringan (Armelia *et al.*, 2023).

Rendemen Fikosianin

Hasil perhitungan rendemen fikosianin dapat dilihat pada *Table 1*. Fikosianin dari biomassa basah *A. platensis* pada ekstrak kasar maupun murni menghasilkan nilai rendemen lebih tinggi dibandingkan dengan fikosianin dari biomassa kering. Komponen fungsional fikosianin dari *Arthrospira* sangat rentan terhadap faktor-faktor seperti waktu dan suhu selama proses pengeringan. Paparan suhu tinggi selama proses pengeringan dapat memengaruhi posisi perifer dalam fikobilisom

Table 1 Yield, concentration, and purity index of crude and pure phycocyanin extracts on wet and dry biomass of *A. platensis*

Tabel 1 Rendemen, konsentrasi, dan indeks kemurnian fikosianin ekstrak kasar dan murni pada biomassa basah dan kering *A. platensis*

Sample	Yield (mg/g)	Phycocyanin concentration (mg/mL)	Phycocyanin purity index
Phycocyanin crude extract of wet biomass	145.14 ± 5.59^c	0.40 ± 0.02^b	0.19 ± 0.06^{ab}
Phycocyanin crude extract of dry biomass	39.50 ± 20.33^a	0.08 ± 0.04^a	0.03 ± 0.02^a
Pure phycocyanin wet biomass	100.66 ± 3.25^b	0.40 ± 0.02^b	1.79 ± 0.04^c
Pure phycocyanin dry biomass	14.12 ± 1.58^a	0.02 ± 0.00^a	0.36 ± 0.18^b

Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

sehingga menyebabkan hilangnya fikosianin (Chittapun *et al.*, 2020). Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Chen *et al.* (2015) bahwa ekstraksi pigmen dari biomassa basah lebih optimal karena dapat mencegah hilangnya pigmen saat proses ekstraksi berlangsung sehingga menghasilkan rendemen fikosianin yang tinggi.

Terlihat pada *Table 1* setelah dilakukan pemurnian fikosianin pada *A. platensis* basah (ekstrak kasar & murni) dan *A. platensis* kering (ekstrak kasar & murni) mengalami penurunan rendemen fikosianin dan memberikan pengaruh berbeda nyata ($p < 0,05$). Hal tersebut sejalan dengan penelitian Yuliani *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa setelah tahap ekstraksi, fikosianin masih terikat dengan sejumlah protein lainnya sehingga dilakukan pemurnian dengan pengendapan amonium sulfat untuk mendapatkan fikosianin yang lebih murni. Setelah tahap pemurnian dengan pengendapan amonium sulfat maka konsentrasi fikosianin mengalami penurunan daripada hasil ekstraksi awal. Chittapun *et al.* (2020) menyatakan bahwa makin tinggi rendemen fikosianin maka konsentrasi fikosianin juga akan makin tinggi.

Rendemen fikosianin hasil penelitian ini, baik dari biomassa basah maupun kering, lebih tinggi dibandingkan dengan rendemen fikosianin dari biomassa kering *A. platensis* yang diekstrak menggunakan kalsium klorida (13,13 mg/g) (Julianti *et al.*, 2019), maupun fikosianin dari biomassa kering *A. platensis* yang diekstrak menggunakan pelarut air (17,243 mg/g) (Wachda *et al.*, 2019). Tingginya rendemen fikosianin biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak menggunakan DMSO menunjukkan bahwa DMSO mampu mengekstrak fikosianin lebih baik dibandingkan dengan pelarut yang lain. Biomassa basah *A. platensis* menghasilkan rendemen fikosianin lebih tinggi daripada biomassa kering *A. platensis* dapat disebabkan oleh membran sel biomassa basah yang lebih mudah terekstrak dibandingkan dengan biomassa kering. Paparan suhu yang tinggi ketika proses pengeringan pada biomassa kering *A. platensis* menyebabkan degradasi pigmen fikosianin dan menghasilkan rendemen yang terbatas. Sensitivitas

fikosianin terhadap suhu ini dapat disebabkan oleh posisinya di bagian luar fikobilisom pada permukaan membran tilakoid. Biomassa *A. platensis* sebelum dikeringkan menjadi sumber penghasil pigmen fikosianin yang tinggi karena kondisi membran yang lebih rentan terhadap perlakuan ekstraksi (Katari *et al.*, 2023). Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan hasil rendemen fikosianin dibandingkan dengan penelitian lain. Hal ini sejalan dengan pernyataan Sala *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa perbedaan rendemen fikosianin bergantung pada kondisi biomassa (basah atau kering), pelarut yang digunakan, dan struktur sel.

Konsentrasi Fikosianin

Fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa basah *A. platensis* menghasilkan konsentrasi fikosianin yang lebih tinggi dan berbeda nyata ($p < 0,05$) dibandingkan dengan fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa kering *A. platensis* (*Table 1*). Konsentrasi fikosianin merupakan jumlah atau kadar fikosianin yang terkandung dalam suatu sampel (Khandual *et al.*, 2021).

Ekstraksi pigmen dari biomassa basah lebih efektif karena dapat mencegah kehilangan pigmen selama proses ekstraksi (Chen *et al.*, 2015). Kandungan fikosianin dalam biomassa yang telah dikeringkan menurun sebesar 50% (Sala *et al.*, 2018). Hilangnya fikosianin dalam biomassa kering disebabkan oleh posisi periferalnya dalam fikobilisom pada membran tilakoid serta sensitivitasnya terhadap suhu (İlter *et al.*, 2018). Pengeringan biomassa menunjukkan hasil dan kemurnian ekstraksi yang berbeda (Chen *et al.*, 2015). Hal tersebut diperkuat dengan pernyataan Tavanandi *et al.* (2018) bahwa membran sel dari biomassa sebelum dikeringkan mudah untuk dilakukan ekstraksi sedangkan biomassa kering memiliki sel yang kaku sehingga mengakibatkan tingkat ekstraksi fikosianin yang lebih rendah. Ekstraksi dari sel biomassa yang tidak memadai mengakibatkan pelepasan fikosianin terhambat. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa basah *A. platensis* adalah bahan terbaik untuk mendapatkan jumlah fikosianin secara optimal.



Penelitian lain mengenai ekstraksi fikosianin dengan biomassa basah *A. platensis* menggunakan pelarut asam klorida dengan perbandingan 1:20 menghasilkan konsentrasi fikosianin ekstrak kasar sebesar 0,002 mg/mL (Kathiravan *et al.*, 2022). Penelitian Gabr *et al.* (2020) menunjukkan bahwa hasil ekstraksi fikosianin dari biomassa kering *A. platensis* menggunakan pelarut etanol dengan perbandingan 1:10 menghasilkan konsentrasi fikosianin ekstrak kasar sebesar 0,185 mg/mL. Sementara itu, penelitian de Amarante *et al.* (2020) menunjukkan bahwa hasil ekstraksi fikosianin dari biomassa basah *A. platensis* menggunakan pelarut bufer Tris-SO₄ kemudian dilakukan pemurnian menghasilkan konsentrasi fikosianin murni sebesar 0,147 mg/mL. Hal tersebut menunjukkan bahwa fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak menggunakan DMSO menghasilkan konsentrasi fikosianin lebih tinggi dibandingkan fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak menggunakan asam klorida dan pelarut bufer Tris-SO₄. Sementara itu, konsentrasi fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan etanol lebih tinggi dibandingkan fikosianin *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan DMSO. Hal ini dimungkinkan karena penggunaan *spray drying* pada proses pengeringan biomassa *A. platensis* sehingga kemungkinan terjadi degradasi fikosianin sangat kecil (Gabr *et al.*, 2020). Penelitian ini menggunakan oven pada suhu 60°C selama 8 jam sehingga peluang terjadi degradasi fikosianin cukup besar. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Chittapun *et al.* (2020) bahwa suhu tinggi selama proses pengeringan dengan waktu yang cukup lama dapat berakibat pada hilangnya fikosianin. Perbedaan hasil pada penelitian ini dengan penelitian lainnya dapat terjadi karena konsentrasi fikosianin dapat bervariasi tergantung pada pelarut yang digunakan, pengeringan yang digunakan pada bahan biomassa, konsentrasi biomassa dengan pelarut, metode ekstraksi, dan spesies *cyanobacteria* (Khazi *et al.*, 2018).

Indeks Kemurnian Fikosianin

Pemanfaatan fikosianin dalam berbagai industri tergantung pada tingkat kemurniannya. Indeks kemurnian ekstrak kasar fikosinin biomassa basah dan kering tidak berbeda nyata ($p>0,05$), namun lebih rendah dan berbeda nyata dengan fikosianin murni biomassa basah (Table 1). Secara umum, indeks kemurnian fikosianin dari biomassa basah memiliki nilai indeks kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa kering. Tavanandi *et al.* (2018) menyatakan bahwa biomassa kering memiliki sel-sel yang kaku sehingga menyebabkan terhambatnya pelepasan fikosianin akibatnya menghasilkan indeks kemurnian yang rendah.

Fikosianin ekstrak kasar dari biomassa basah, biomassa kering dan fikosianin murni *A. platensis* kering hasil penelitian mempunyai nilai indeks kemurnian masing-masing $0,19\pm0,06$, $0,03\pm0,02$ dan $0,36\pm0,18$. Morya *et al.* (2023) melaporkan bahwa nilai indeks kemurnian di bawah 0,7 dapat dikategorikan sebagai *food grade* yakni dapat diaplikasikan sebagai pewarna makanan. Dengan demikian fikosianin *A. platensis* dapat digunakan sebagai pewarna makanan. Hsieh-Lo *et al.* (2019) menyatakan bahwa fikosianin *food grade* diakui aman untuk dikonsumsi (GRAS) dan digunakan sebagai pewarna dalam berbagai produk makanan maupun minuman misalnya permen, mie, yogurt, campuran kue, *milkshake*, permen karet, jeli, dan es krim. Sementara itu, fikosianin murni dari biomassa basah *A. platensis* memiliki nilai indeks kemurnian $1,79\pm0,04$ (melebihi 1,5), sehingga lebih cocok dimanfaatkan sebagai pewarna dalam produk kosmetik (Sala *et al.*, 2018). Morone *et al.* (2019), fikosianin merupakan senyawa aktif dari ganggang hijau-biru yang mengandung antioksidan sehingga dapat digunakan dalam perawatan kulit untuk melindungi kulit dari kerusakan yang disebabkan oleh kerusakan bagian matriks dermis.

Purifikasi dapat meningkatkan kemurnian fikosianin tetapi dapat menurunkan konsentrasi fikosianin (Song *et al.*, 2013). Nilai indeks kemurnian fikosianin yang lebih tinggi menunjukkan bahwa jumlah kontaminan dalam ekstrak lebih

sedikit (Fratelli *et al.*, 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks kemurnian biomassa basah *A. platensis* mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan dengan *A. platensis* kering. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian Avci & Haznedaroglu (2022) yang menyatakan bahwa biomassa basah pada *Phormidium* sp. menghasilkan fikosianin dengan indeks kemurnian lebih tinggi.

Penelitian lain mengenai ekstraksi fikosianin dengan biomassa basah *A. platensis* menggunakan pelarut bufer Tris-SO_4 menghasilkan nilai indeks kemurnian fikosianin ekstrak kasar sebesar 1 (de Amarante *et al.*, 2020). Ekstraksi fikosianin dengan biomassa kering *A. platensis* yang diekstrak menggunakan pelarut air menghasilkan nilai indeks kemurnian fikosianin ekstrak kasar sebesar 0,573 sedangkan nilai indeks kemurnian fikosianin murni sebesar 1,194 (Julianti *et al.*, 2019). Hal tersebut menunjukkan bahwa indeks kemurnian fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak menggunakan DMSO lebih tinggi dibandingkan fikosianin biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak bufer Tris-SO_4 . Sementara itu, indeks kemurnian fikosianin ekstrak kasar maupun fikosianin murni pada biomassa *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan DMSO lebih rendah dibandingkan fikosianin *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan pelarut air. Hal ini dimungkinkan karena penggunaan metode sonikasi pada penelitian tersebut dapat meningkatkan kemurnian fikosianin (Julianti *et al.*, 2019). Metode ekstraksi berpengaruh terhadap kemurnian fikosianin yang diperoleh. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Fratelli *et al.* (2021) bahwa kemurnian fikosianin bergantung pada metode ekstraksi, jenis pelarut, pH, suhu, serta biomassa yang digunakan untuk ekstraksi.

Analisis FTIR

Data spektrum infra merah berfungsi untuk mengetahui adanya gugus amida tajam sebagai ciri khas heliks α yang menunjukkan fikosianin. Fikosianin memiliki struktur sekunder yang didominasi oleh heliks α sebagaimana dibuktikan oleh adanya puncak

serapan inframerah yang tajam pada panjang gelombang sekitar 1.645 cm^{-1} (Bougatef *et al.*, 2024). Hasil spektrum FTIR fikosianin ekstrak kasar dan murni pada biomassa basah dan kering *A. platensis* serta fikosianin komersial dapat dilihat pada Table 2.

Analisis spektrum inframerah (IR) mengkonfirmasi keberadaan gugus fungsi pada senyawa hasil ekstraksi (Chentir *et al.*, 2019). Fikosianin merupakan molekul dengan rantai tetrapyrrole yang terdiri atas empat cincin pirol, masing-masing terdiri atas empat atom karbon dan satu atom nitrogen ($\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$). Selain itu, fikosianin juga mengandung gugus amida (Bougatef *et al.*, 2024). Figure 1 merupakan spektrum FTIR fikosianin komersial, fikosianin murni biomassa kering, fikosianin murni biomassa basah, fikosianin ekstrak kasar biomassa kering, dan fikosianin ekstrak kasar biomassa basah *A. platensis*. Serapan $1.000 - 1.500 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya cincin *stretching* untuk heterosiklik dari cincin pirol (Bougatef *et al.*, 2024). Adanya puncak pada bilangan gelombang sekitar $3.000 - 3.500 \text{ cm}^{-1}$ dikaitkan dengan vibrasi O-H *stretching* yang tumpang tindih (*overlap*) dengan vibrasi N-H *stretching* (Chentir *et al.*, 2019). Sementara itu, puncak pada bilangan gelombang sekitar 3.444 cm^{-1} menunjukkan vibrasi *stretching* N-H. Puncak pada bilangan gelombang sekitar 1.184 cm^{-1} mewakili C-N (Mahendran *et al.*, 2022). Fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni dari biomassa basah maupun biomassa kering *A. platensis* mengandung serapan gugus khas fikosianin pada spektra FTIR, yaitu C-N, O-H, N-H, dan C=O tajam (Figure 1).

Aktivitas Antioksidan Metode DPPH

Aktivitas antioksidan (IC_{50}) dari fikosianin ekstrak kasar dan murni pada biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis*, fikosianin komersial, vitamin C, dan BHT terhadap radikal bebas DPPH dapat dilihat pada Table 3. Perbedaan jenis biomassa *A. platensis* memengaruhi aktivitas antioksidan (IC_{50}) dan kapasitas antioksidan fikosianin. Aktivitas antioksidan fikosianin murni dari biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis* lebih tinggi apabila



Table 2 FTIR spectra of crude and pure extract phycocyanin in wet and dry biomass of *A. platensis* and commercial phycocyanin

Tabel 2 Spektrum FTIR fikosianin ekstrak kasar dan murni pada biomassa basah dan kering *A. platensis* serta fikosianin komersial

Functional groups	Wave number (cm ⁻¹)				
	Commercial phycocyanin	Phycocyanin crude extract of wet biomass	Pure phycocyanin wet biomass	Phycocyanin crude extract of dry biomass	Pure phycocyanin dry biomass
O-H dan N-H stretching (carboxylic acid and amide overlap)	3,493 – 3,264	3,365	3,251	3,340	3,365
C-HSp2 stretching	-	3,154	3,031	3,154	3,133
C-HSp3 stretching	2,906	-	2,838	-	2,913
C=O stretching (carboxylic acid and amide overlap)	1,648	1,623	1,639	1,591	1,634
C=C aromatic stretching	-	1,414	1,394	1,412	1,366
C-N stretching	1,035	1,040	1,040	1,031	1,054

dibandingkan dengan fikosianin ekstrak kasar dari biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis* dan fikosianin komersial tetapi nilainya lebih rendah apabila dibandingkan dengan vitamin C dan BHT (Table 3).

Terlihat pada Table 3 bahwa aktivitas antioksidan fikosianin ekstrak kasar dari biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis* lebih rendah dibandingkan dengan fikosianin murni dari biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis* serta berbeda nyata ($p < 0,05$). Hal tersebut sejalan dengan penelitian Margiati *et al.* (2019) yang melakukan proses pemurnian fikosianin menggunakan amonium sulfat. Ekstrak kasar fikosianin yakni hasil ekstraksi fikosianin tanpa pemurnian dapat menghasilkan penurunan aktivitas antioksidan (Stramarkou *et al.*, 2021). Aktivitas antioksidan tertinggi diperoleh dari ekstrak fikosianin yang sudah dimurnikan (de Amarante *et al.*, 2020). Selain

itu, proses pemurnian juga secara signifikan meningkatkan aktivitas antioksidan fikosianin (Rathnasamy *et al.*, 2019).

Aktivitas antioksidan IC₅₀ suatu bahan didefinisikan antioksidan lemah jika nilai IC₅₀ antara 151-200 ppm, antioksidan sedang jika nilai IC₅₀ antara 100-150 ppm, antioksidan kuat jika nilai IC₅₀ antara 50-100 ppm, dan antioksidan sangat kuat jika nilai IC₅₀ kurang dari 50 ppm (Molyneux, 2004; Setha *et al.*, 2013). Berdasarkan hal tersebut terlihat dari Table 3 bahwa aktivitas antioksidan fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni biomassa basah *A. platensis*, fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni *A. platensis* kering, dan fikosianin komersial tergolong sangat lemah.

Aktivitas Antioksidan Metode FRAP

Nilai FRAP dari fikosianin ekstrak kasar dan murni pada biomassa basah dan biomassa

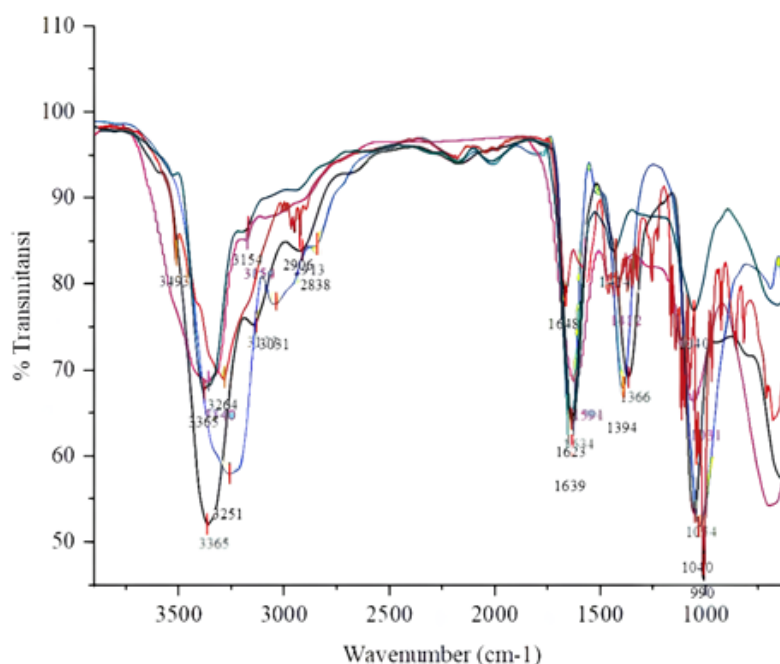


Figure 1 FTIR spectra for commercial phycocyanin (—), pure phycocyanin dry biomass (—), pure phycocyanin wet biomass (—), phycocyanin crude extract of dry biomass (—), phycocyanin crude extract of wet biomass *A. platensis* (—)

Gambar 1 Spektrum FTIR fikosianin komersial (—), fikosianin murni biomasa kering (—), fikosianin murni biomassa basah (—), fikosianin ekstrak kasar biomasa kering (—), fikosianin ekstrak kasar biomassa basah *A. platensis* (—)

Table 3 Antioxidant activity (IC_{50} DPPH) and FRAP value of crude and purified extracts of phycocyanin in wet and dry biomass of *A. platensis*, commercial phycocyanin, vitamin C, and BHT

Tabel 3 Aktivitas antioksidan (IC_{50} DPPH) dan nilai FRAP fikosianin ekstrak kasar dan murni pada biomassa basah dan kering *A. platensis*, fikosianin komersial, vitamin C, dan BHT

Sample	IC_{50} DPPH (ppm)	FRAP (μ M/g)
Phycocyanin crude extract of wet biomass	30,628.89 $\pm$ 886.81 ^c	1,695.57 $\pm$ 5.18 ^a
Phycocyanin crude extract of dry biomass	162,820.59 $\pm$ 1,446.30 ^d	1,691.01 $\pm$ 50.29 ^a
Pure phycocyanin wet biomass	795.24 $\pm$ 177.55 ^a	2,114.96 $\pm$ 69.49 ^b
Pure phycocyanin dry biomass	3,117.36 $\pm$ 186.40 ^b	2,098.80 $\pm$ 7.99 ^b
Commercial phycocyanin	3,931.62 $\pm$ 22,93 ^b	1,651.23 $\pm$ 3.99 ^a
Vitamin C	1.05 $\pm$ 0.41 ^a	4,523.321 $\pm$ 42.08 ^d
BHT	1.41 $\pm$ 0.47 ^a	4,069.95 $\pm$ 50.79 ^c



kering *A. platensis*, fikosianin komersial, vitamin C, dan BHT dapat dilihat pada *Table 3*. Aktivitas antioksidan fikosianin murni dari biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis* lebih tinggi dibandingkan dengan fikosianin ekstrak kasar dari biomassa basah dan biomassa kering *A. platensis* meskipun tidak berbeda nyata ($p>0,05$) tetapi berbeda nyata ($p<0,05$) pada fikosianin komersial. Rathnasamy *et al.* (2019) menyatakan bahwa peningkatan aktivitas antioksidan sebanding dengan nilai kemurnian fikosianin yang lebih tinggi. Sementara itu, nilai FRAP fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni pada biomassa basah *A. platensis* lebih tinggi dibandingkan dengan fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni *A. platensis* kering meskipun tidak berbeda nyata ($p>0,05$). Hal ini sejalan dengan penelitian Hidayati *et al.* (2020) bahwa biomassa basah memiliki aktivitas antioksidan yang lebih unggul dibandingkan biomassa kering. Hal ini disebabkan oleh proses pengeringan yang dapat memberikan efek negatif terhadap senyawa antioksidan yang terkandung dalam biomassa.

Fikosianin murni biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak menggunakan metanol menghasilkan aktivitas antioksidan sebesar 393 $\mu\text{M/g}$ (de Marco Castro *et al.*, 2019). Fikosianin ekstrak kasar *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan air menghasilkan aktivitas antioksidan sebesar 2951 $\mu\text{M/g}$ (Nefreiser, 2023). Nilai FRAP fikosianin murni biomassa basah *A. platensis* yang diekstrak menggunakan metanol memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan fikosianin murni *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan DMSO. Hal ini menunjukkan bahwa fikosianin yang diekstrak dengan metanol memiliki aktivitas antioksidan yang lebih rendah dibandingkan dengan fikosianin yang diekstrak menggunakan DMSO. Hal tersebut dapat terjadi karena fikosianin lebih larut pada pelarut yang memiliki konstanta dielektrik lebih tinggi. Metanol memiliki nilai konstanta dielektrik yang lebih rendah dibandingkan dengan DMSO (Fratelli *et al.*, 2021). Sementara itu, nilai FRAP fikosianin ekstrak kasar *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan air memiliki nilai yang lebih

tinggi dibandingkan dengan fikosianin murni *A. platensis* kering yang diekstrak menggunakan DMSO. Hal ini menunjukkan bahwa fikosianin yang diekstrak dengan air memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan dengan fikosianin yang diekstrak menggunakan DMSO. Hal tersebut dapat terjadi karena fikosianin lebih larut pada pelarut yang memiliki konstanta dielektrik lebih tinggi yang mana air memiliki nilai konstanta dielektrik lebih tinggi dibandingkan DMSO sehingga mampu mengekstraksi fikosianin lebih banyak (Fratelli *et al.*, 2021).

Nilai aktivitas antioksidan FRAP suatu bahan tergolong lemah apabila nilainya $<10 \mu\text{M/g}$, medium apabila memiliki nilai $10 - 100 \mu\text{M/g}$, kuat apabila nilainya $100 - 500 \mu\text{M/g}$, dan sangat kuat apabila nilainya $>500 \mu\text{M/g}$ (Gazali *et al.*, 2021). Berdasarkan hal tersebut aktivitas antioksidan fikosianin ekstrak kasar dan fikosianin murni dari biomassa basah maupun biomassa kering *A. platensis* yang diekstrak menggunakan DMSO tergolong sangat kuat, yaitu berkisar antara 1.695,57 – 2.098,79 $\mu\text{M/g}$. Hasil yang positif dalam uji DPPH maupun uji FRAP menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan fikosianin disumbangkan baik melalui penangkapan ROS yang sudah dihasilkan melalui reaksi redoks maupun dengan mereduksi ion logam yang teroksidasi yang dapat memicu produksi ROS (Sonani *et al.*, 2017).

Berdasarkan pada indeks kemurnian dan aktivitas antioksidan, pemanfaatan fikosianin *A. platensis* yang sudah dimurnikan memiliki potensi lebih besar untuk digunakan dalam industri pangan dan industri kecantikan karena nilai aktivitas antioksidannya yang lebih tinggi dibandingkan fikosianin yang tidak dimurnikan. Fikosianin murni *A. platensis* kering dapat dijadikan pewarna alami untuk makanan karena memiliki indeks kemurnian fikosianin yang sesuai dengan standar *food grade*. Li *et al.* (2023) menyatakan bahwa fikosianin aman dikonsumsi sebagai pewarna dalam makanan dan minuman misalnya minuman buah, mie, yogurt, dan campuran kue. Sementara itu, fikosianin murni dari biomassa basah *A. platensis* dapat dimanfaatkan dalam industri kosmetik karena memiliki nilai kemurnian yang sesuai dengan

standar *cosmetic grade*. Hal tersebut diperkuat oleh pernyataan Sala *et al.* (2018) bahwa fikosianin dengan nilai indeks kemurnian lebih dari 1,5 dapat digunakan sebagai pewarna dalam produk kosmetik.

KESIMPULAN

Fikosianin dari biomassa basah memiliki karakteristik (rendemen, konsentrasi, indeks kemurnian) dan aktivitas antioksidan lebih tinggi dibandingkan dari biomassa kering. Aktivitas antioksidan fikosianin dari biomassa basah dengan metode DPPH (antioksidan primer) tergolong lemah sedangkan berdasarkan metode FRAP (antioksidan sekunder) tergolong kuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Perikanan Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini. Publikasi ini merupakan bagian dari Skripsi penulis pertama.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, M., Bansal, S., & Chopra, K. (2021). Evaluation of the in vitro and in vivo antioxidant potentials of food grade phycocyanin. *Journal of Food Science and Technology*, 58(11), 4382 – 4390. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04922-4>
- Armelia, A., Djarot, I. N., Paminto, A. K., Nurfaiz, I., & Handayani, T. (2023). Analisis limbah media zarrouk modifikasi yang digunakan untuk budidaya *Spirulina platensis* dan analisis kualitas biomasnya sebagai bahan pangan fungsional. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 315-322. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.300>
- Avci, S., & Haznedaroglu, B. Z. (2022). Pretreatment of algal and cyanobacterial biomass for high quality phycocyanin extraction. *Journal of Applied Phycology*, 34(4), 2015 – 2026. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02770-7>
- Bougatef, H., Hadrich, F., Gazbar, M., Sila, A., Chamkha, M., & Bougatef, A. (2024). Development of a novel method for the extraction of phycocyanin pigment from *Spirulina platensis* and assessment of its antioxidant, antimicrobial, and anticancer activities. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(5), 8001-8013. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05540-2>.
- de Marco Castro, E., Shannon, E., & Abu-Ghannam, N. (2019). Effect of fermentation on enhancing the nutraceutical properties of *Arthrospira platensis* (Spirulina). *Fermentation*, 5(1), 28, 1-16.
- Chen, C. L., Chang, J. S., & Lee, D. J. (2015). Dewatering and drying methods for microalgae. *Drying Technology*, 33(4), 443-454. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2014.997881>
- Chentir, I., Kchaou, H., Hamdi, M., Jridi, M., Li, S., Doumandji, A., & Nasri, M. (2019). Biofunctional gelatin-based films incorporated with food grade phycocyanin extracted from the Saharian cyanobacterium *Arthrospira* sp. *Food Hydrocolloids*, 89, 715-725. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.034>.
- Chittapun, S., Jonjaroen, V., Khumrangsee, K., & Charoenrat, T. (2020). C-phycocyanin extraction from two freshwater cyanobacteria by freeze thaw and pulsed electric field techniques to improve extraction efficiency and purity. *Algal Research*, 46(101789), 1 – 10. .
- de Amarante, M. C. A., Braga, A. R. C., Sala, L., Moraes, C. C., & Kalil, S. J. (2020). Design strategies for c-phycocyanin purification: process influence on purity grade. *Separation and Purification Technology*, 252, 117453, 1-9. .
- de Farias Neves, F., Demarco, M., & Tribuzi, G. (2019). Drying and quality of microalgal powders for human alimentation. In M. Vítová (Ed.), *Microalgae-from physiology to application*. IntechOpen.
- El-Sayed, A. E. K. B., Hamed, A. F., El-Fouly, M. M., Abd El Fatah, H. M., & Hassoub, M. A. (2016). A comparative study on the estimation of extracted pigments from some algae using different solvents. *Egyptian Journal of Phycology*, 17(1), 1 – 16. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02770-7>
- Firdiyani, F., Agustini, T. W., & Ma'ruf, W.



- F. (2015). Ekstraksi senyawa bioaktif sebagai antioksidan alami *Spirulina platensis* segar dengan pelarut yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 18(1), 28-37.
- Fratelli, C., Burck, M., Amarante, M. C. A., & Braga, A. R. C. (2021). Antioxidant potential of nature's "something blue": something new in the marriage of biological activity and extraction methods applied to c-phycoyanin. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.043>.
- Gazali, M., Zamani, N. P., Nasution, M. A., & Syafitri, R. (2021, Agustus 10-11). Screening for antioxidant activity in extracts of the marine macro algae *Enteromorpha flexuosa* (Wulfen) J. Agardh from South Aceh [Conference session]. . IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/763/1/012027>.
- Gabr, G. A., El-Sayed, S. M., & Hikal, M. S. (2020). Antioxidant activities of phycocyanin: a bioactive compound from *Spirulina platensis*. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 32(2), 73 – 85. .
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651-715. .
- Hidayati, J. R., Yudiati, E., Pringgenies, D., Oktaviyanti, D. T., & Kusuma, A. P. (2020). Comparative study on antioxidant activities, total phenolic compound and pigment contents of tropical *Spirulina platensis*, *Gracilaria arcuata* and *Ulva lactuca* extracted in different solvents polarity [Conference session]. The 3rd International Symposium on Marine and Fisheries Research (3rd ISMFR). E3S Web of Conferences, 147(3):03012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703012>.
- Hsieh-Lo, M., Castillo, G., Ochoa-Becerra, M. A., & Mojica, L. (2019). Phycocyanin and phycoerythrin: strategies to improve production yield and chemical stability. *Algal Research*, 42(101600), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101600>.
- İlter, I., Akyıl, S., Demirel, Z., Koç, M., Conk-Dalay, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2018). Optimization of phycocyanin extraction from *Arthrospira platensis* using different techniques. *Journal of Food Composition and Analysis*, 70, 78-88.
- Jaeschke, D. P., Teixeira, I. R., Marczak, L. D. F., & Mercali, G. D. (2021). Phycocyanin from *Arthrospira*: a review of extraction methods and stability. *Food Research International*, 143 (110314), 1-12. .
- Jiang, L., Yu, S., & Pei, H. (2021). Seawater-cultured *Arthrospira subsalsa* as a more promising host for phycocyanin production than *Arthrospira platensis*. *Algal Research*, 60, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102545>.
- Julianti, E., Susanti, S., Singgih, M., & Mulyani, L. N. (2019). Optimization of extraction method and characterization of phycocyanin pigment from *Arthrospira platensis*. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 51(2), 168-176. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2019.51.2.6>.
- Katari, J. K., Khan, M. R. U. Z., Trivedi, V., & Das, D. (2023). Extraction, purification, characterization and bioactivity evaluation of high purity c-phycoyanin from *Spirulina* sp. NCIM 5143. *Process Biochemistry*, 130, 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.04.022>.
- Kathiravan, A., Udayan, E., & Ranjith Kumar, R. (2022). Bioprospecting of *Spirulina* biomass using novel extraction method for the production of c-phycoyanin as effective food colourant. *Vegetos*, 35, 484-492. <https://doi.org/10.1007/s42535-021-00320-z>.
- Khandual, S., Sanchez, E. O. L., Andrews, H. E., & De la Rosa, J. D. P. (2021). Phycocyanin content and nutritional profile of *Arthrospira platensis* from Mexico: efficient extraction process and stability evaluation of phycocyanin. *BMC Chemistry*, 15(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13065-021-00746-1>.
- Khazi, M. I., Demirel, Z., & Dalay, M. C. (2018). Evaluation of growth and phycobiliprotein composition of

- cyanobacteria isolates cultivated in different nitrogen sources. *Journal of Applied Phycology*, 30, 1513-1523. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1398-1>.
- Li, X., Hou, W., Lei, J., Chen, H., & Wang, Q. (2023). The unique light-harvesting system of the algal phycobilisome: structure, assembly components, and functions. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9733), 1-12. <https://doi.org/10.3390/ijms24119733>
- Mahendran, S., Sankaralingam, S., Maheswari, P., Annalakshmi, P., Pandiarajan, J., Seethapathy, P., & Venkatesh, S. (2022). Isolation and purification of phycocyanin pigments from *Spirulina* sp. biomass and evaluation of its anticancer and antioxidant potential. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1 – 11.
- Margiati, D., Ramdani, D., & Wulandari, A. P. (2019). Comparative study of antioxidant phycocyanin extracts activity between *S. platensis* with *S. fusiformis* using DPPH method. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 6(2), 52-58. <https://doi.org/>.
- McCarty, M. F., & Kerna, N. A. (2021). *Spirulina* rising: microalgae, phyconutrients, and oxidative stress. *EC Microbiology*, 17(7), 121-128. [10.31080/ecmi.2021.17.01135](https://doi.org/10.31080/ecmi.2021.17.01135).
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science Technology*, 26(2), 211 – 219.
- Morone, J., Alfeus, A., Vasconcelos, V., & Martins, R. (2019). Revealing the potential of cyanobacteria in cosmetics and cosmeceuticals—a new bioactive approach. *Algal Research*, 41(101541), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101541>.
- Morya, S., Kumar Chattu, V., Khalid, W., Zubair Khalid, M., & Siddeeg, A. (2023). Potential protein phycocyanin: an overview on its properties, extraction, and utilization. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3160-3176. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2271686>
- Nefreiser, L. A. R. (2023). Uji aktivitas antioksidan fikosianin dari mikroalga *Spirulina platensis* secara in vitro dengan metode DPPH dan metode FRAP. [Skripsi]. Universitas Srwijaya.
- Nurkhasanah, Bachri, M. S., & Yuliani, S. (2023). Antioksidan dan stres oksidatif. UAD Press.
- Pan-utai, W., & Iamtham, S. (2019). Extraction, purification and antioxidant activity of phycobiliprotein from *Arthrospira platensis*. *Process Biochemistry*, 82, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.04.014>.
- Prabakaran, G., Sampathkumar, P., Kavisri, M., & Moovendhan, M. (2020). Extraction and characterization of phycocyanin from *Spirulina platensis* and evaluation of its anticancer, antidiabetic and antiinflammatory effect. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 256 – 263. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.009>.
- Pratiwi, D. R., & Husni, A. (2021). The impact of immersion time in lime solution on antioxidant and antidiabetic properties and consumer evaluation of *Sargassum hystrix* seaweed tea. *AACL Bioflux*, 14(4), 2354 – 2366.
- Rathnasamy, S. K., SriRajendran, D., Balaraman, H. B., & Viswanathan, G. (2019). Functional deep eutectic solvent-based chaotic extraction of phycobiliprotein using microwave-assisted liquid-liquid micro-extraction from *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and its biological activity determination. *Algal Research*, 44(101709), 1-9. .
- Ruiz-Ruiz, F., López-Guajardo, E., Vázquez-Villegas, P., del Angel-Chong, M. E., Nigam, K. D. P., Willson, R. C., & Rito-Palomares, M. (2019). Continuous aqueous two-phase extraction of microalgal c-phycocyanin using a coiled flow inverter. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 142(107554), 1-10. .
- Sala, L., Moraes, C. C., & Kalil, S. J. (2018). Cell pretreatment with ethylenediaminetetraacetic acid for selective extraction of c-phycocyanin



- with food grade purity. *Biotechnology Progress*, 34(5), 1261 – 1268. .
- Setha, B., Gaspersz, F. F., Idris, A. P. S., Rahman, S., & Mailoa, M. N. (2013). Potential of seaweed *Padina* sp. as a source of antioxidant. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 2(6), 221-224.
- Sonani, R. R., Patel, S., Bhastana, B., Jakharia, K., Chaubey, M. G., Singh, N. K., & Madamwar, D. (2017). Purification and antioxidant activity of phycocyanin from *Synechococcus* sp. R42DM isolated from industrially polluted site. *Bioresource Technology*, 245, 325-331. .
- Song, W., Zhao, C., & Wang, S. (2013). A large-scale preparation method of high purity c-phycocyanin. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4), 293-297. <https://doi.org/10.7763/IJBBB.2013.V3.216>.
- Stramarkou, M., Papadaki, S., Kyriakopoulou, K., Tzovenis, I., Chronis, M., & Krokida, M. (2021). Comparative analysis of different drying techniques based on the qualitative characteristics of *Spirulina platensis* biomass. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(5), 498 – 516. .
- 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.
- Wachda, Hadiyanto, H., Harjanto, G. D., Huzain, M. L., & Aji, R. W. (2019, September 25-26). Production of antioxidant c-phycocyanin using extraction process of *Spirulina platensis* in large scale industry [Conference session]... <https://doi.org/10.1088/1757-899X/633/1/012025>,
- Wang, M., Morón-Ortiz, Á., Zhou, J., Benítez-González, A., Mapelli-Brahm, P., Meléndez-Martínez, A. J., & Barba, F. J. (2023). Effects of pressurized liquid extraction with dimethyl sulfoxide on the recovery of carotenoids and other dietary valuable compounds from the microalgae *Arthrospira*, *Chlorella* and *Phaeodactylum tricornutum*. *Food Chemistry*, 405, 1 – 10. .
- Xu, X., Liu, A., Hu, S., Ares, I., Martínez-Larrañaga, M., Wang, X., Martínez, M., Anadón, A., & Martínez, M. (2021). Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action. *Food Chemistry*, 353 (129488), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129488>
- Yuliani, Agustini, T. W., Dewi, E. N., & Afifah, D. N. (2023). Purifikasi fikosianin dari *Spirulina platensis* hasil intervensi kemangi (*Ocimum basilicum*) pada konsentrasi ammonium sulfat berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 26(3), 448 – 459. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v26i3.46208>
- Zhou, J., Wang, M., Saraiva, J. A., Martins, A. P., Pinto, C. A., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J., Cao, H., Xiao, J., & Barba, F. J. (2022). Extraction of lipids from microalgae using classical and innovative approaches. *Food Chemistry*, 384(132236), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132236>