

**PENGARUH SPEKTRUM CAHAYA TERHADAP KANDUNGAN
FIKOSIANIN DAN PROTEIN *Spirulina* sp. STRAIN IA-1.3**

SKRIPSI

Oleh:

MARYANA HASIBATUL AFANAH

NIM.200602110082



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**PENGARUH SPEKTRUM CAHAYA TERHADAP KANDUNGAN
FIKOSIANIN DAN PROTEIN *Spirulina* sp. STRAIN IA-1.3**

SKRIPSI

Oleh:

MARYANA HASIBATUL AFANAH

NIM.200602110082

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji

tanggal:

Pembimbing I

Pembimbing II



Azizatur rahmah, M.Sc

NIP. 198609302019032011



Didik Wahyudi, M.Sc

NIP. 198601022018011001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Dr. Lyka Sandi Safitri, M.P

NIP. 197410182003122002

**PENGARUH SPEKTRUM CAHAYA TERHADAP KANDUNGAN
FIKOSIANIN DAN PROTEIN *Spirulina* sp. STRAIN IA-1.3**

SKRIPSI

Oleh:

MARYANA HASIBATUL AFANAH

NIM.200602110082

Telah dipertahankan

di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima

Sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal:

Penguji Utama : Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd

NIP. 196301141999031001


(.....)

Ketua Penguji : Ruri Resmisari, M.Si

NIP. 19790123201608012063


(.....)

Sekretaris Penguji : Azizatur Rahmah, M.Si

NIP. 198609302019032011


(.....)

Anggota Penguji : Didik Wahyudi, M.Si

NIP. 198601022018011001


(.....)

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Biologi



Dr. Lyka Sandi Safitri, M.P

NIP. 197410182003122002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan kepada semua pihak yang telah mendukung penulis dalam penyusunan skripsi, khususnya:

1. Bapak Fahrudin Hikmawan dan Ibu Maimunah selaku orang tua tercinta serta Ibu Khairani selaku Nenek yang selalu memberikan motivasi, mendoakan, memberikan dukungan baik materil maupun imateril sehingga penulis dapat menyelesaikan studi.
2. Muhammad Fahri Kurniawan dan Azril Maulana Riski selaku adik tercinta yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.
3. Saudara sepupu terdekat yang berada di Malang dan Keluarga Mbak Fitri selaku kakak ipar yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.
4. Teman-teman terdekat: Kak Rega, Himma, Shovi, Vin, Nuril, Venya dan Adik-adik angkatan 21 yang selalu memberikan semangat, memberikan masukan, dan membantu baik akademik maupun nonakademik.
5. Teman-teman biologi BIOGENC 2020 khususnya teman-teman Biologi B 2020 yang banyak membantu penulis dalam perjalanan menyelesaikan studi.
6. Teman-teman HMPS Biologi periode 2022 dan 2023 khususnya BPH yang telah memberikan pengalaman berharga kepada penulis selama berorganisasi bersama.
7. Teman-teman LKP2M yang telah memberikan pengalaman terbaik kepada penulis dalam hal membaca, menulis, dan berdiskusi.

MOTTO:

*“To Get Something We Never Had, We Must Do Something We Never
Did”*

**HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN
TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Maryana Hasibatul Afanah
NIM	: 200602110082
Program Studi	: Biologi
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Penelitian	: Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Fikosianin dan Protein <i>Spirulina</i> sp. Strain IA-1.3

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan, dan/atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 27 Juni 2024



Maryana Hasibatul Afanah

NIM.200602110082

HALAMAN PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tapi pengutipan hanya dapat dilakukan dengan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Fikosianin dan Protein *Spirulina* sp. Strain IA-1.3

Maryana Hasibatul Afanah, Azizatur Rahmah, Didik Wahyudi
Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam
Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Spirulina sp merupakan organisme perairan berukuran mikroskopis yang umumnya berperan sebagai fitoplankton. Organisme ini dapat melakukan fotosintesis yang efisien dan hidup dengan memanfaatkan nutrisi anorganik. *Spirulina* sp banyak dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan seperti suplemen makanan, pakan hewan, penyubur tanaman, biofuel, kosmetik, obat-obatan dan masih banyak lagi. Kandungan senyawa biokimia yang banyak dimanfaatkan adalah fikosianin dan protein. Dalam rangka meningkatkan kandungan biokimia tersebut, peran cahaya sangat dibutuhkan untuk proses fotosintesis salah satunya menggunakan cahaya artifisial berupa LED sebagai sumber cahaya yang ekonomis dan mudah diatur intensitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh spektrum cahaya yang berbeda dalam meningkatkan kandungan fikosianin dan protein. Jenis penelitian ini adalah kuantitatif eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap. Terdapat 4 perlakuan spektrum cahaya yang digunakan yaitu spektrum putih (kontrol), hijau, biru dan merah. Pada penelitian ini dilakukan sebanyak 5 kali ulangan. Parameter penelitian ini adalah laju pertumbuhan, biomassa, kandungan fikosianin dan protein *Spirulina* sp. Analisis data yang digunakan adalah ANOVA menggunakan SPSS 25.0 kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spektrum merah berpengaruh terhadap kandungan fikosianin dan protein, sedangkan spektrum hijau berpengaruh pada pertumbuhan relative dan biomassa.

Kata kunci: *fikosianin, protein, spektrum cahaya, Spirulina* sp.

The Effect of Light Spectrum on the Content of Phycocyanin and Protein in *Spirulina* sp. Strain IA-1.3

Maryana Hasibatul Afanah, Azizatur Rahmah, Didik Wahyudi

Biology Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic

University of Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRACT

Spirulina sp. is a microscopic aquatic organism that generally functions as phytoplankton. This organism can efficiently perform photosynthesis and live by utilizing inorganic nutrients. *Spirulina* sp. is widely used for various purposes such as dietary supplements, animal feed, plant fertilizers, biofuel, cosmetics, medicine, and more. The biochemical compounds most utilized are phycocyanin and protein. To enhance the content of these biochemical compounds, the role of light is crucial for the photosynthesis process, with one option being the use of artificial light in the form of LEDs as a cost-effective and easily adjustable light source. This study aims to determine the effect of different light spectra on increasing the content of phycocyanin and protein. This type of research is a quantitative experiment with a Completely Randomized Design. There are four light spectrum treatments used: white (control), green, blue, and red. The experiment was conducted five times for each treatment. The main parameters in this study are the growth rate, biomass, phycocyanin and protein content of *Spirulina* sp. The data analysis used was ANOVA with SPSS 25.0, followed by Duncan's test. The results showed that the red spectrum affects the phycocyanin and protein content, while the green spectrum influences growth rate and biomass.

Keywords: *phycocyanin, protein, spectrum, Spirulina* sp.

تأثير طيف الضوء على فيكوسيانين ومحتوى البروتين من *Spirulina sp.* سلالة

IA- ١. ٣

مريانا هسيبة الأفنة، عزيزة الرحمة، ديديك وهيودي

مالك مولانا جامعة، والتكنولوجيا والعلوم كلية الأحياء، دراسة برزنج إبراهيم
الإسلامية الحكومية مالانج

مستخلص البحث

Spirulina sp. هو كائن مائي مجهري يعمل بشكل عام كعوالق نباتية. يمكن لهذه الكائنات الحية إجراء عملية التمثيل الضوئي الفعالة والعيش باستخدام المغذيات غير العضوية. يستخدم *Spirulina sp.* على نطاق واسع لأغراض مختلفة مثل المكملات الغذائية والأعلاف الحيوانية والأسمدة النباتية والوقود الحيوي ومستحضرات التجميل والأدوية وغيرها الكثير. محتوى المركبات الكيميائية الحيوية التي تستخدم على نطاق واسع هي فيكوسيانين والبروتينات. من أجل زيادة المحتوى الكيميائي الحيوي، هناك حاجة إلى دور الضوء لعملية التمثيل الضوئي، أحدها استخدام الضوء الاصطناعي في شكل مصابيح LED كمصدر للضوء اقتصادي وسهل ضبط الشدة. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير أطوال الضوء المختلفة في زيادة محتوى فيكوسيانين والبروتين. هذا النوع من البحث هو تجربة كمية مع تصميم عشوائي كامل. هناك 4 معالجات طيف ضوئي مستخدمة، وهي الطيف الأبيض (التحكم) والأخضر والأزرق والأحمر. في هذه الدراسة، تم إجراء 5 تكرار. المعلمات الرئيسية في هذه الدراسة هي فيكوسيانين واختبار محتوى البروتين من *Spirulina sp.* وكذلك المعلمات الداعمة في شكل الكتلة الحيوية (الوزن الجاف)، ومعدل النمو النسبي والظروف البيئية لوسائط *Spirulina sp.* كان تحليل البيانات المستخدم هو ANOVA باستخدام SPSS 25.0 ثم استمر مع اختبار دنكان. أظهرت النتائج أن الطيف الأحمر كان له تأثير على محتوى فيكوسيانين والبروتين، بينما كان للطيف الأخضر تأثير على النمو النسبي والكتلة الحيوية.

الكلمات المفتاحية: فيكوسيانين، البروتينات، الكتلة الحيوية، فيكوسيانين، طيف الضوء

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penyusunan skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Muhammad Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Azizatur Rahmah, M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran selama bimbingan baik penulisan, metode penelitian, maupun konsep sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Didik Wahyudi, M.Si selaku pembimbing agama yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran selama bimbingan integrasi Sains dan Islam sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Dr. Dwi Suheriyanto, M.P selaku dosen wali yang telah memberikan saran dan motivasi selama studi.

Penulis sadar bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna. Namun, penulis berharap tulisan ini dapat menjadi manfaat bagi penulis dan pembaca.

Malang, 26 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vii
HALAMAN PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
مستخلص البحث	xi
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Tinjauan <i>Spirulina</i> sp. dalam Perspektif Islam	8
2.2 Tinjauan <i>Spirulina</i> sp. dalam Perspektif Sains.....	9
2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Spirulina</i> sp....	11
2.4 Kebutuhan Nutrien <i>Spirulina</i> sp.....	13
2.5 Pola Pertumbuhan <i>Spirulina</i> sp.	14
2.6 Kandungan Biokimia Pada <i>Spirulina</i> sp.	15
2.7 Pengaruh Cahaya Terhadap Fikosianin Pada <i>Spirulina</i> sp.....	16
2.8 Pengaruh Cahaya Terhadap Protein Pada <i>Spirulina</i> sp.	18
2.9 Media Tumbuh	20
2.10 Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap <i>Spirulina</i> sp.....	21
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Rancangan Penelitian	24
3.2 Waktu dan Tempat	24
3.3 Alat dan Bahan	24
3.4 Prosedur Penelitian	24
3.5 Analisis Data	24
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Fikosianin <i>Spirulina</i> sp.....	29

4.2	Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Protein <i>Spirulina</i> sp.....	32
4.3	Kualitas Air Pada Media Tumbuh <i>Spirulina</i> sp.	34
BAB V KESIMPULAN		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA		40
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 <i>Spirulina</i> sp.....	11
Gambar 2.2 Bentuk struktural phycobilisomes.....	17
Gambar 4.1 Laju Pertumbuhan <i>Spirulina</i> sp.....	29
Gambar 4.2 Biomassa <i>Spirulina</i> sp.....	30
Gambar 4.3 Kandungan Fikosianin <i>Spirulina</i> sp.	32
Gambar 4.4 Kandungan Protein <i>Spirulina</i> sp.	34

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Hasil Penelitian.....	51
2. Hasil Uji SPSS	54
3. Dokumentasi Penelitian	62

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Allah SWT menciptakan berbagai tumbuhan termasuk alga yang kemudian dalam sains dipisahkan dari dunia tumbuhan (Plantae). *Spirulina* sp. merupakan mikroalga yang dikenal sebagai “superfoods” karena memiliki berbagai manfaat yang didapatkan dari kandungan nutrisinya. Kepadatan nutrisi yang tinggi pada *Spirulina* sp juga dimanfaatkan sebagai makanan para astronot yang menjalankan tugasnya di luar angkasa sebab kaya akan nutrisi esensial padat yang dapat meningkatkan kekebalan (imun) tubuh dan anti-inflamasi serta mudah diproduksi (Karkos *et al.*, 2011). Manfaat makanan telah disebutkan secara implisit dalam QS: ‘Abasa [80]: 24-32 sebagai berikut:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ (٢٤) أَنَا صَبَبْنَا الْمَاءَ صَبًّا (٢٥) ثُمَّ شَقَقْنَا الْأَرْضَ شَقًّا
(٢٦) فَأَنْبَتْنَا فِيهَا حَبًّا (٢٧) وَعَيْنًا وَقَضْبًا (٢٨) وَزَيْتُونًا وَنَخْلًا (٢٩) وَحَدَائِقَ غُلْبًا
(٣٠) وَفَاكِهَةً وَأَبًّا (٣١) مَتَاعًا لَكُمْ وَلِأَنْعَامِكُمْ (٣٢)

Artinya: “Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya. Sesungguhnya Kami benar-benar telah mencurahkan air (dari langit), kemudian Kami belah bumi dengan sebaik-baiknya, lalu Kami tumbuhkan biji-bijian di bumi itu, anggur dan sayur-sayuran, zaitun dan kurma, kebun-kebun (yang) lebat, dan buah-buahan serta rumput-rumputan, untuk kesenanganmu dan untuk binatang-binatang ternakmu.” (QS: ‘Abasa [80]:24-32).

Menurut Zuhaili (2003) dalam Tafsir Al-Munir, ayat diatas menjelaskan nikmat-nikmat Allah yang diperlukan oleh manusia. Pada kalimat *فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ* memiliki makna bahwa setiap manusia hendak memikirkan cara Allah menciptakan makanan dan minuman yang menjadi sebab kehidupannya. *أَنَا صَبَبْنَا الْمَاءَ صَبًّا (٢٥) ثُمَّ شَقَقْنَا الْأَرْضَ شَقًّا* kalimat tersebut menunjukkan nikmat Allah menurunkan air dari langit atau dari awan ke bumi dengan deras dan banyak, kemudian kami taruh di bumi dan kami aliri benih-benih yang keluar darinya dan tumbuh banyak macam tumbuhan yang berbeda ukuran, kecil, besar, bentuk, warna, rasa, dan manfaat seperti untuk

makanan dan obat-obatan. Kemudian Allah menjelaskan bentuk nikmat dan hikmah dari penciptaan tumbuh-tumbuhan pada kalimat *مَتَاعًا لَّكُمْ وَلِأَنْعَامِكُمْ* yang memiliki makna bahwa dijadikannya semua itu (tumbuh-tumbuhan) sebagai kenikmatan dan kehidupan bagi kalian dan ternak kalian agar dapat diambil manfaat darinya dan bisa menjadikan bahan makanan untuk binatang ternak juga.

Menurut Qurthubi (2007), *فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ* makna ayat tersebut yaitu hendaklah manusia memperhatikan Allah menciptakan makanannya yang menjadi sebab kehidupan dan bagaimana Allah menciptakan yang menjadi sebab kehidupannya dan bagaimana Allah menyiapkan sebab-sebab penghidupan untuknya, agar dia dapat mempersiapkan diri dengan semua itu untuk hari kembali. Menurut Asy-Syaukani (2012) dalam Tafsir Fathul Qadir juga menjelaskan bahwa pada kalimat *فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ* Allah mulai menyebut-nyebut nikmat-nikmatnya yang diberikan kepada hamba-hambanya dengan memperhatikan bagaimana Allah menciptakan makanannya yang menjadi sebab kelangsungan hidup dan bagaimana Allah menyiapkan sarana-sarana penghidupan sehingga dapat mempersiapkan diri untuk kebahagiaan di akhirat kelak. Berdasarkan beberapa tafsir tersebut menguatkan bahwa salah satu tujuan penciptaan berbagai macam tumbuhan adalah sebagai nikmat yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dan hewan untuk makanan, sama halnya dengan *Spirulina* sp. sebagai tumbuhan yang memiliki berbagai manfaat bagi manusia dan hewan.

Spirulina sp. adalah jenis cyanobacteria bersel tunggal dengan bentuk spiral yang dapat melakukan fotosintesis sendiri dan memiliki warna khas biru-kehijauan. Mikroalga ini dapat tumbuh secara alami pada perairan tawar atau air laut dan tersebar di Asia, Eropa, Afrika, Amerika Selatan dan Utara (Kamaludin dan Holik., 2022). *Spirulina* sp. memiliki peran sebagai produsen primer dalam rantai makanan perairan. Sejalan dengan perkembangan IPTEK, *Spirulina* sp. juga dimanfaatkan untuk pakan alami zooplankton yang banyak digunakan dalam pembenihan dan budidaya ikan sebab memiliki kandungan nutrisi yang tinggi (Sussana *et al.*, 2007). Tidak hanya itu, *Spirulina* sp. juga banyak dimanfaatkan dalam bidang kesehatan

dan pangan untuk meningkatkan kekebalan tubuh yang biasanya digunakan untuk mendapatkan immunoglobulin A (LGA) dan immunoglobulin B (IgM) yang lebih tinggi. Sedangkan kandungan fikosianin dalam *Spirulina* sp. memiliki potensi untuk menghambat pertumbuhan sel leukemia (Liu *et al.*, 2000; Christwardana dan Hadiyanto., 2013).

Protein merupakan komponen penting yang dibutuhkan manusia untuk pembentukan hormone dan enzim dalam tumbuh dan dibutuhkan sekitar 1 gram protein/kg berat badan untuk dikonsumsi perharinya (Christwardana dan Hadiyanto., 2013). *Spirulina* sp. memiliki kandungan protein sekitar 55-70% yang dihitung pada berat keringnya serta terdapat 47% asam amino essensial di setiap 10 gram berat keringnya (Fernandes *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, tingginya kandungan protein pada *Spirulina* sp menjadi salah satu sumber nutrisi yang disarankan untuk dikonsumsi. Protein pada *Spirulina* sp dapat meningkatkan kesehatan secara umum, seperti peningkatan kekebalan, mengurangi risiko onkologi dan patologi kardiovaskular (Kulshreshtha *et al.*, 2008). Tidak hanya manfaatnya di bidang kesehatan, profil asam amino yang ada pada protein *Spirulina* sp. juga menjadi sumber protein alternatif dan juga bermanfaat untuk bidang tekno-fungsional seperti bahan pembusa, pembentuk gel, dan pengemulsi (Fernandes *et al.*, 2023).

Kandungan senyawa selain protein yang menjadi ciri khas *Spirulina* sp. adalah pigmen biru-hijau yang disebut dengan fikosianin atau sering dikenal dengan istilah C-PC (C-Phycocyanin). Liu *et al* (2016) menyebutkan manfaat C-PC yang diperoleh dari *Spirulina platensis* telah banyak digunakan sebagai bahan tambahan makanan dan pewarna kosmetik di Jepang, sebagai bahan baku obat-obatan, makanan, pewarna biasa dan pewarna fluoresen. Penelitian fikosianin dalam bidang kosmetik telah dilakukan oleh Sahin *et al* (2019) yang menunjukkan hasil bahwa C-PC dapat mengobati gangguan pigmentasi dan memiliki aktivitas tinggi terhadap penghambatan tirosinase untuk mencerahkan wajah. Penelitian Souza *et al* (2017) juga menunjukkan bahwa aplikasi topikal salep phycocyanin dari *Spirulina* sp. berhasil digunakan dalam pengobatan jerawat terhadap *P. acne* dan *S. epidermidis*.

Faktor pertumbuhan dan kualitas kandungan biokimia *Spirulina platensis* bergantung pada peran cahaya yang membantu proses fotosintesis. Cahaya merupakan sumber energi pada proses fotosintesis, oleh karena itu, penyinaran saat kultur perlu diperhatikan (Kusdarwati dkk., 2011). Cahaya mempengaruhi proses fotosintesis pada tumbuhan dengan cara memberikan sumber energi yang dibutuhkan untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi kimia yang disimpan dalam senyawa organik. Reaksi utama fotosintesis yang didorong oleh cahaya terjadi di membran tilakoid, melibatkan fotosistem II (PSII) dan fotosistem I (PSI). Penelitian menunjukkan bahwa ada dua reaksi cahaya yang berbeda, pertama kali disimpulkan dari peningkatan hasil fotosintesis saat alga disinari dengan cahaya merah jauh dan panjang gelombang pendek. Pada dua reaksi ini, elektron yang diambil dari air oleh PSII ditransfer melalui plastoquinone, kompleks sitokrom dan plastosianin ke PSI, kemudian ke ferredoxin dan NADP⁺, menghasilkan NADPH. Proses transfer elektron ini disertai dengan pemompaan proton ke lumen tilakoid, membentuk gradien proton yang digunakan untuk menghasilkan ATP. ATP dan NADPH ini kemudian memicu siklus Calvin-Benson untuk fiksasi CO₂ dan proses asimilasi lainnya. Meskipun cahaya sangat penting bagi fotosintesis, kelebihan cahaya dapat berbahaya jika energi cahaya yang diserap melebihi kapasitas mesin fotosintesis, sehingga foton dan elektron berlebih perlu dikelola untuk melindungi komponen fotosintesis dari kerusakan akibat cahaya (Rochaix, 2011).

Menurut Hariyadi (2017) spektrum cahaya yang dapat diserap tanaman saat melakukan fotosintesis adalah pada rentang panjang gelombang biru (400-500 nm) sampai merah (600-700 nm) yang dikenal sebagai radiasi aktif fotosintesis (PAR). Cahaya tampak atau *visible light* sesuai untuk proses fotosintesis pada tanaman yaitu pembentukan glukosa dan oksigen, dan setiap spektrum cahaya memiliki manfaat yang berbeda (Murtono., 2008). Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang pada berbagai spektrum cahaya akan diserap dalam jumlah yang beragam bagi tumbuhan sehingga akan berpengaruh pada sintesis pigmen klorofil dan fikobiliprotein

yang penting untuk fotosintesis (Naomi dkk., 2018). Cahaya tampak (PAR) mempunyai panjang gelombang antara 400 s/d 760 nm yang terdiri atas 7 spektrum warna cahaya yaitu, merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Cahaya tampak berpengaruh langsung pada aktivitas pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Arifin ., 1988; Santoso dkk., 2020). Maka dari itu, banyak penelitian yang memberi perlakuan manipulasi pencahayaan untuk menunjukkan pengaruh nyata pencahayaan terhadap kandungan pigmen bioaktif dan protein *S. platensis* (Diharmi., 2001).

Sumber cahaya dengan spektrum merah dan hijau dapat meningkatkan produktivitas protein, biomassa serta konsentrasi kandungan asam amino yang tinggi pada *Spirulina* sp strain LEB 18 karena lebih efektif secara energetic (Andrade et al., 2019). Penelitian Zittelli *et al* (2022) menyatakan bahwa cahaya biru meningkatkan sebagian besar kandungan fikosianin, sedangkan produktivitas biomassa jauh lebih rendah. Fikosianin pada cyanobacteria memiliki penyerapan cahaya maksimal pada rentang 610-625 nm, pada rentang tersebut merupakan panjang gelombang yang didapat dari spektrum cahaya merah (Pagels et al., 2019). Spektrum cahaya hijau dapat meningkatkan kinerja fotosintesis mikroalga karena memiliki kemampuan untuk menembus cahaya ke bagian yang lebih dalam dari kultur dengan kepadatan tinggi dibanding panjang gelombang lain (Ooms et al; Baidya et al., 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang cukup signifikan terkait pengaruh spektrum cahaya terhadap kualitas *Spirulina* sp.

Dari berbagai jenis penelitian pengaruh spektrum cahaya terhadap *Spirulina* sp diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan fikosianin dan protein dengan berbagai macam jenis spektrum cahaya yang berbeda. Hal tersebut dilakukan untuk merekomendasikan spektrum cahaya terbaik untuk produksi fikosianin dan protein *Spirulina* sp. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukannya penelitian dengan judul “Pengaruh Perbedaan Spektrum Cahaya Terhadap Kualitas Fikosianin dan Protein *Spirulina* sp. Strain IA-1.3”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh spektrum cahaya terhadap laju pertumbuhan dan biomassa *Spirulina* sp?
2. Bagaimana pengaruh spektrum cahaya terhadap kandungan fikosianin *Spirulina* sp. strain IA-1.3?
3. Bagaimana terdapat pengaruh spektrum cahaya terhadap kandungan protein *Spirulina* sp. strain IA-1.3?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui laju pertumbuhan dan biomassa *Spirulina* sp. strain IA-1.3 pada spektrum yang berbeda.
2. Untuk mengetahui kandungan fikosianin *Spirulina* sp. strain IA-1.3 pada spektrum yang berbeda.
3. Untuk mengetahui kandungan protein *Spirulina* sp. strain IA-1.3 pada spektrum yang berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan akademik dan ilmiah mengenai kemampuan *Spirulina* sp. strain IA-1.3 untuk tumbuh pada berbagai spektrum cahaya yang berbeda.
2. Hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan pelaku industri budidaya mikroalga khususnya *Spirulina* sp. untuk pembudidayaan menggunakan media alternatif dari urea dan TSP serta spektrum cahaya terbaik untuk meningkatkan kandungan fikosianin dan protein *Spirulina* sp.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Mikroalga yang digunakan adalah *Spirulina* sp. strain IA-1.3. Strain mikroalga ini merupakan strain lokal yang didapat dari danau di daerah Pasuran dan dikultivasi oleh PT Indoalgae.
2. Parameter uji primer adalah kandungan fikosianin, protein, laju pertumbuhan dan biomassa pada *Spirulina* sp, dan parameter uji pendukung berupa kondisi lingkungan seperti pH, suhu dan salinitas.

3. Spektrum cahaya yang digunakan berwarna putih (kontrol), hijau, biru dan merah yang berasal dari LED.
4. Media yang digunakan adalah kombinasi dari pupuk urea dan TSP.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan *Spirulina* sp. dalam Perspektif Islam

Allah SWT telah menciptakan berbagai macam tumbuhan baik yang dapat terlihat secara langsung oleh mata atau dengan ukuran yang kecil dengan bantuan alat mikroskop. Keberadaan tumbuhan yang berukuran mikroskopis seperti halnya mikroalga (*Spirulina* sp.) belum terlalu dikenal luas oleh seluruh manusia dan hanya beberapa kalangan yang mengetahuinya terutama golongan yang mempelajari ilmu tentang hal tersebut. Sebagaimana firman Allah SWT dalam QS: Yasin [36]: 36:

سُبْحٰنَ الَّذِيْ خَلَقَ الْاَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ وَمِنْ اَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُوْنَ

Artinya: “Mahasuci (Allah) yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka sendiri maupun dari apa yang tidak mereka ketahui.” (QS: Yasin [36]: 36).

Menurut Zuhaili (2003) dalam Tafsir Al-Munir, makna *mufradhat lughowiyah* pada kalimat الَّذِيْ خَلَقَ الْاَزْوَاجَ كُلَّهَا memiliki arti yang telah menciptakan berbagai jenis dan macam yang berbeda-beda, yaitu مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ berupa tumbuh-tumbuhan dan pepohonan, وَمِنْ اَنْفُسِهِمْ dan Allah SWT menciptakan sepasang dari mereka, laki-laki dan perempuan dari anak cucu adam, وَمِمَّا لَا يَعْلَمُوْنَ dan juga dari sesuatu yang tidak mereka ketahui berupa makhluk yang mengagumkan di daratan dan lautan, di langit dan bumi yang Allah SWT tidak beritahukan kepada mereka dan tidak menjadikan jalan bagi mereka untuk mengetahuinya. Dijelaskan pula bahwa makna pada ayat tersebut Allah SWT yang menciptakan segala jenis dan macam warna, rasa, dan bentuk dari tanaman, buah-buahan, dan tumbuh-tumbuhan, yang menciptakan laki-laki serta perempuan, jantan dan betina, dan yang telah menciptakan berbagai bentuk makhluk yang tidak mereka ketahui.

Menurut Asy-Syaukani (2012) dalam Tafsir Fathul Qadir, pembahasan makna الْاَزْوَاجَ adalah macam-macam dan varian-varian karena setiap varian memiliki warna, rasa, dan bentuk yang berbeda. Dan kalimat مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ (baik apa yang ditumbuhkan oleh bumi) sebagai keterangan untuk الْاَزْوَاجَ

maksudnya adalah segala yang ditumbuhkan bumi, baik yang telah disebutkan maupun yang lainnya. وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ (dan dari diri mereka) yakni penciptaan pasangan-pasangan dan diri mereka yaitu laki-laki dan perempuan. وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ (maupun dari apa yang tidak mereka ketahui) dari jenis-jenis makhluknya di darat, di laut, di langit dan di bumi. Salah satu jenis makhluk yang berada di laut (perairan) adalah *Spirulina* sp.

Menurut Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an (2015) makna pada kalimat وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ yang memiliki arti “dari apa yang tidak mereka ketahui” mengindikasikan akan eksistensi atau adanya bentuk-bentuk kehidupan yang belum diketahui oleh manusia pada saat wahyu Al-Qur'an turun. Hewan-hewan yang sudah diketahui oleh masyarakat pada masa Al-Qur'an turun ini disandingkan dengan sesuatu yang tidak atau belum mereka ketahui, dan dijanjikan untuk diketahui manusia di masa mendatang, di antaranya adalah jasad renik atau sering dikenal dengan istilah mikroorganisme. Mikroorganisme memiliki karakteristik umum sel tunggal atau uniseluler dan sebagian juga bersel banyak atau multiseluler, organisme ini berukuran lebih kecil dari 100 μm sehingga tidak dapat dilihat secara langsung tanpa bantuan alat pembesar karena penglihatan manusia dengan mata telanjang hanya dapat menangkap benda dengan ukuran di atas 0,1–0,2 mm (100–200 μm). Begitu pula dengan *Spirulina* sp. yang merupakan mikroorganisme berukuran 1-12 μm yang tergolong cyanobacteria dan tersebar luas di air tawar dan air laut.

2.2 Tinjauan *Spirulina* sp. dalam Perspektif Sains

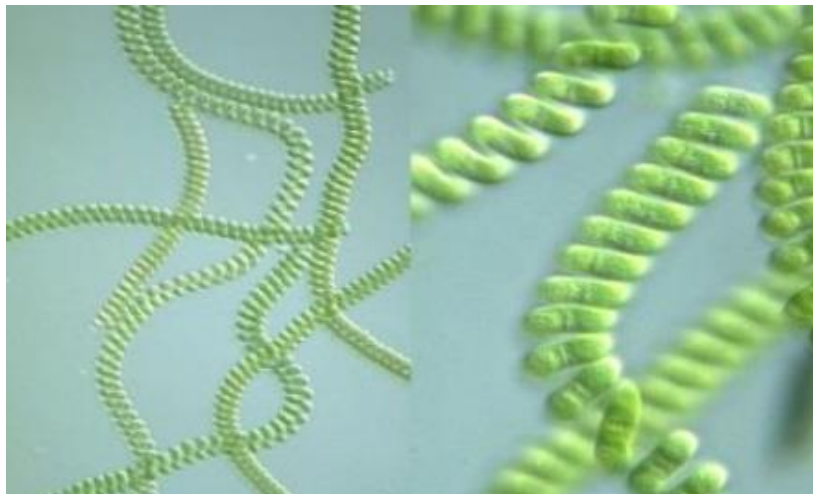
2.2.1 Deskripsi *Spirulina* sp.

Spirulina sp atau yang sering dikenal dengan *blue-green algae* merupakan spesies dari filum cyanobacteril. Cyanobacteria biasanya melakukan fotosintesis oksigen dengan air sebagai donor elektron dan menggunakan karbon dioksida sebagai sumber karbon (Conrad *et al.*, 2021). Cyanobacteria ini sering disebut alga biru-hijau karena memiliki pigmen khas yang berwarna biru-hijau atau disebut dengan fikosianin. Spesies dari filum ini tumbuh sebagai trikoma helikoid berfilamen, melakukan fotosintesis oksigenik dan berkembang biak dengan pembelahan biner.

Spirulina sp. banyak diminati karena dapat digunakan sebagai makanan dan memiliki daya tarik yang cukup besar dalam industri makanan serta untuk kesehatan manusia karena bersifat terapeutik, termasuk adanya aktivitas antioksidan, anti-inflamasi, modulasi imun dan antikanker. *Spirulina* sp. banyak ditemui pada perairan yang memiliki alkalinitas tinggi, namun juga dapat bertahan hidup di air tawar serta air laut, namun untuk model pertumbuhan dapat melalui media Zarrouk (El-Baky *et al.*, 2023). Klasifikasi *Spirulina* sp menurut Noriko (2011) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Protista
Divisi : Cyanophyta
Kelas : Cyanophyceae
Ordo : Nostocales
Famili : Oscillatoriaceae
Genus : *Spirulina*
Spesies : *Spirulina* sp.

Spirulina sp. memiliki bentuk umum seperti melingkar teratur (spiral). Namun, terkadang *Spirulina* sp. juga dapat berbentuk tidak beraturan hingga linier sebab kondisi pembudidayaan yang berbeda-beda. bentuk abnormal. Misalnya, bentuk lingkaran tidak beraturan atau bahkan linier, akan tetapi dapat kembali ke bentuk semula (spiral) saat kondisi normal (Tambunan dkk., 2022). Variasi bentuk *Spirulina* sp. sangat mungkin disebabkan oleh berbagai faktor lingkungan, seperti nutrisi, cahaya dan kandungan air (Wang dan Zhao., 2005). *Spirulina* sp. berwarna hijau kebiruan yang menjadi ciri khasnya. Adanya filamen yang berpilin menyerupai spiral (helix) biasanya tidak bercabang, memiliki ukuran sekitar 1-12 mikrometer serta hidup berkoloni. *Spirulina* sp. dapat bergerak aktif atau motil dengan cara memutarakan tubuhnya (rotasi).



Gambar 2.1 *Spirulina* sp. perbesaran 40x (Ashgari *et al.*, 2016).

2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Spirulina* sp.

Keberhasilan kultur mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, antara lain: suhu, cahaya, pH, salinitas, CO₂ dan ketersediaan nutrisi (Adriyanti dkk., 2021). Diantara faktor-faktor pembatas pertumbuhan tersebut, suhu memiliki peran yang sangat penting dalam proses metabolisme sehingga dapat mempengaruhi kandungan biomassa ataupun pertumbuhan dari mikroalga (Adriyanti dkk., 2021). Semakin rendah suhu maka semakin tinggi kandungan lipid yang dimiliki mikroalga, namun bila semakin tinggi suhu maka laju pertumbuhan dan biomassa mikroalga semakin tinggi dan menyebabkan fase kematian terjadi semakin cepat. Suhu penting bagi pertumbuhan mikroalga karena berpengaruh pada proses metabolisme dan fotosintesis. Salinitas sangat penting untuk mempertahankan tekanan osmotik antara sel dengan air sebagai lingkungan hidupnya sebab mikroalga merupakan mikroorganisme perairan dan air adalah sumber kehidupan yang paling utama. Sebagaimana yang terdapat dalam QS: Al-Waqiah [56]: 68-70 mengenai kebutuhan tumbuhan terhadap air, sebagai berikut:

أَفَرَأَيْتُمُ الْمَاءَ الَّذِي تَشْرَبُونَ ﴿٦٨﴾ ءَأَنْتُمْ أَنْزَلْتُمُوهُ مِنَ الْمُزْنِ أَمْ نَحْنُ الْمُنزِلُونَ
(٦٩) لَوْ نَشَاءُ جَعَلْنَاهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ ﴿٧٠﴾

Artinya: “Maka terangkanlah kepadaku tentang air yang kamu minum.

Kamukah yang menurunkannya atau Kamikah yang

menurunkannya? Kalau Kami kehendaki, niscaya Kami jadikan dia asin, Maka Mengapakah kamu tidak bersyukur?” QS: Al-Waqiah [56]: 68-70.

Berdasarkan ayat tersebut, Al-Razi (2012) dalam tafsir Mafatihul Ghaib atau Al-Kabir menjelaskan bahwa bahwa Allah-lah yang menurunkan hujan dari langit, yang menyebabkan tumbuhnya berbagai jenis tumbuh-tumbuhan yang terdiri dari berbagai ragam bentuk, macam dan rasa. Allah menjelaskan bahwa air itu sebagai sebab bagi tumbuhnya segala macam tumbuh-tumbuhan yang beraneka ragam bentuk jenis dan rasanya, agar manusia dapat mengetahui betapa kekuasaan Allah mengatur kehidupan tumbuh-tumbuhan itu. Kemudian ditegaskan pada ayat 70 kalimat *لَوْ نَشَاءُ جَعَلْنَاهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ* bahwasanya Allah bisa saja jadikan air hujan menjadi asin, sehingga tidak layak diminum dan dibuat untuk mengairi tumbuh-tumbuhan.

Menurut Asy-Syaukani (2012) dalam Tafsir fathul qodir menjelaskan bahwa pada *أَفَرَأَيْتُمُ الْمَاءَ الَّذِي تَشْرَبُونَ* maka terangkanlah kepadanya tentang air yang kamu minum sehingga dengan itu kalian meredakan kehausan yang kalian rasakan; dan dengan itu kalian menghalau dahaga yang menimpa kalian. Allah hanya menyebutkan minum kendati faedah dan manfaat air sangat banyak selain itu, karena manfaat dan faedahnya yang paling besar adalah untuk minum. *أَمْ نَحْنُ الْمُنزِلُونَ* (ataukah Kami yang menurunkan)nya dengan kekuasaan Kami, tanpa yang selain Kami. Allah SWT lalu menerangkan kepada mereka, bahwa bila Allah menghendaki niscaya Allah mengambil nikmat ini dari mereka, *لَوْ نَشَاءُ جَعَلْنَاهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا* (kalau kami menghendaki niscaya Kami jadikan dia asin) artinya air yang sangat asin, yang tidak mungkin diminum. *فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ* (maka mengapakah kamu tidak bersyukur?) maknanya adalah maka mengapa kalian tidak mensyukuri nikmat Allah yang telah menciptakan air yang dapat kalian minum dan kalian manfaatkan?. Berdasarkan tafsir tersebut, membuktikan bahwa aspek besar yang mempengaruhi kehidupan adalah air baik untuk manusia ataupun tumbuhan yang diambil manfaatnya dan patutlah disyukuri. Terlebih lagi bagi tumbuhan yang sengaja untuk dibudidayakan

oleh manusia untuk mendapat manfaat yang lebih banyak lagi serta menggunakan nikmat air sebagai sesuatu yang digunakan.

Menurut Qurthubi (2007) pada kalimat *أَأَنْتُمْ أَنْزَلْتُمُوهُ مِنَ الْمُرْنِ* terdapat kata “*muzni* atau *al-muznah*” berarti hujan. *لَوْ نَشَاءُ جَعَلْنَاهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ* pada lafadz tersebut yang memiliki arti “kalau kami kehendaki niscaya kami jadikan asin”. *أُجَاجًا* memiliki arti asin/sangat asin sehingga terasa pahit/sangat pahit sehingga tidak dapat untuk minum, menyirami tanaman dan lain-lain. Oleh karena itu, hal tersebut membuktikan bahwa air yang berasal dari hujan diturunkan dapat digunakan untuk minum, menyirami tanaman (untuk dia tumbuh dan lainnya), seperti yang dibutuhkan oleh *Spirulina* sp.

Selain kebutuhan air, terdapat pula faktor intensitas dan panjang gelombang cahaya dalam pertumbuhan yaitu ketika proses fotosintesis dengan menyediakan energi untuk diubah menjadi energi kimia dengan bantuan klorofil. Kondisi lingkungan saat kultivasi tidak hanya berpengaruh terhadap pertumbuhan sel tetapi juga berpengaruh terhadap kestabilan dari senyawa antioksidan mikroalga. Selain itu, stabilnya antioksidan berperan penting terhadap aktivitas sel dalam mengatasi radikal bebas, sehingga juga berpengaruh pada produksi biomassa sel mikroalga (Rafaelina., 2016).

2.4 Kebutuhan Nutrien *Spirulina* sp.

Spirulina sp membutuhkan nutrien untuk bertahan hidup dan mensintesis komponen organik sel, meliputi kebutuhan makronutrien, yaitu N, P, CHO, Ca, Mg, Na, K; dan mikro nutrien yaitu Fe, Mn, Cu, Zn, B serta nutrisi tambahan yaitu sianokobalamin. (Sari dkk., 2012). Campuran dari seluruh nutrien disebut dengan media tumbuh, media yang sering digunakan untuk industri ataupun penelitian akademik adalah Zarrouks medium (Zujeva, A.S, 2020). Nutrien yang dibutuhkan mikroalga ini umumnya diaplikasikan dalam beberapa tempat, seperti kolam terbuka atau *Open Raceway Pond*, fotobioreaktor kotak dan tabung, dan labu ukur yang digunakan untuk kultur dalam ruangan.

Setiap nutrien memiliki peran penting, seperti keberadaan fosfat anorganik ($H_2PO_4^-$ atau HPO_4^{2-}) yang merupakan sumber utama alga

memperoleh fosfor. Selain itu, karbon dan pH juga perlu diperhatikan untuk menstabilkan pertumbuhan. Hal yang harus diperhatikan adalah dengan mempertahankan pH agar lebih dari 9,5. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari kontaminasi oleh alga lainnya. pH dapat disesuaikan dengan memasok udara dengan 1–2% gas CO₂ ke media. Secara industri atau produksi massal, kebutuhan karbon biasanya disuplai dengan CO₂, mengikuti pasokan awal 0,2 M natrium bikarbonat. Nitrogen di dalam sel nitrat direduksi menjadi nitrit dan selanjutnya menjadi amonium. Jalur metabolisme nitrogen tunduk pada regulasi ketat yang bergantung pada rasio karbon-ke-nitrogen (C:N). Apabila dalam media kultur kekurangan mikronutrien dalam bentuk Mn dapat mempengaruhi proses fotosintesis karena Mn merupakan aktivator enzim pada proses fotosintesis.

2.5 Pola Pertumbuhan *Spirulina* sp.

Prayitno (2015) menjelaskan bahwa pola pertumbuhan mikroalga dalam fotobioreaktor *batch* sama seperti pertumbuhan organisme lain pada umumnya, yaitu berbentuk kurva sigmoid yang terdiri dari empat fase yaitu fase linier (*lag phase*), eksponensial, stasioner, dan kematian. Saat fase pertumbuhan linier, sel-sel mikroalga mulai beradaptasi dengan tempat tumbuhnya (mempersiapkan diri untuk pembelahan sel dengan memproduksi enzim-enzim serta senyawa yang dibutuhkan proses pembelahan sel. Kemudian terjadi pembelahan sel yang masih sedikit sehingga menghasilkan kuantitas sel yang tidak terlalu meningkat (fase lag).

Sel-sel tersebut lalu memasuki fase eksponensial dimana membelah dengan cepat serta bersamaan dengan telah tersedianya enzim dan senyawa metabolit yang dibutuhkan sebelumnya. Pada fase tersebut menyerap CO₂ sangat banyak serta laju pembentukan biomassa yang tinggi pula karena penyerapan nutrisi dari media yang cepat. Ketersediaan nutrisi yang menurun secara cepat dalam fotobioreaktor menjadi salah satu faktor penyebab pertumbuhan mikroalga memasuki fase stasioner, sehingga dapat menuju fase kematian (Prayitno., 2015).

2.6 Kandungan Biokimia Pada *Spirulina* sp.

2.6.1 Metabolit Primer

Metabolit atau senyawa yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan suatu tumbuhan dibagi menjadi 2 macam, yaitu metabolit primer dan metabolit sekunder. Sama halnya dengan *Spirulina* sp juga memiliki metabolit tersebut. Metabolit primer memiliki jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan metabolit sekunder. Pada *Spirulina* sp. terdapat kandungan protein sebesar 60% dalam hitungan berat keringnya (DW), polisakarida sebesar 15–25% DW, Lipid/PUFA sebanyak 3–9% DW dan kandungan pigmen dominan berupa fikosianin serta total karotenoidd (Elain *et al*; 2020 dalam Wu *et al.*, 2021). Djamaludin dan Chamidah (2021) juga menyatakan bahwa pada *Spirulina* sp. terkandung asam lemak tertinggi berupa asam palmitat sebagai *Saturated Fatty Acid* (53,30-56,57%), asam oleat sebagai *Mono-Unsaturated Fatty Acid* (4,34-4,50%), serta asam linoleat sebagai *Poly-Unsaturated Fatty Acid* (18,39-18,88%). Jumlah metabolit primer bergantung pada tinggi rendahnya unsur NaNO_3 . Jika unsur tersebut rendah maka akan berdampak buruk pada senyawa primer protein mikroalga, namun tidak berpengaruh pada produksi kandungan senyawa sekunder. Disamping tingginya kandungan protein, lipid dan polisakaridanya, pigmen pada *Spirulina* sp. juga menjadi kandungan metabolit yang paling diminati sebab memiliki antioksidan yang tinggi dan warna yang khas (biru-hijau) sehingga tak jarang dijadikan sebagai pewarna alami dalam berbagai produk makanan, minuman, obat-obatan bahkan kosmetik. Komponen-komponen biokimia tersebut memiliki peran yang besar dalam pertumbuhan *Spirulina* sp karena memiliki nilai kualitas tinggi yang dapat diaplikasikan untuk berbagai tujuan.

2.6.2 Metabolit Sekunder

Selain metabolit primer, *Spirulina* sp juga memiliki metabolit sekunder dengan jumlah yang lebih sedikit karena tidak berperan langsung dalam pertumbuhannya. Angin dkk (2018) juga menyatakan bahwa keberadaan metabolit sekunder tidak berperan langsung dalam pertumbuhan tanaman, namun tetap ada dan dihasilkan oleh tanaman dalam jumlah

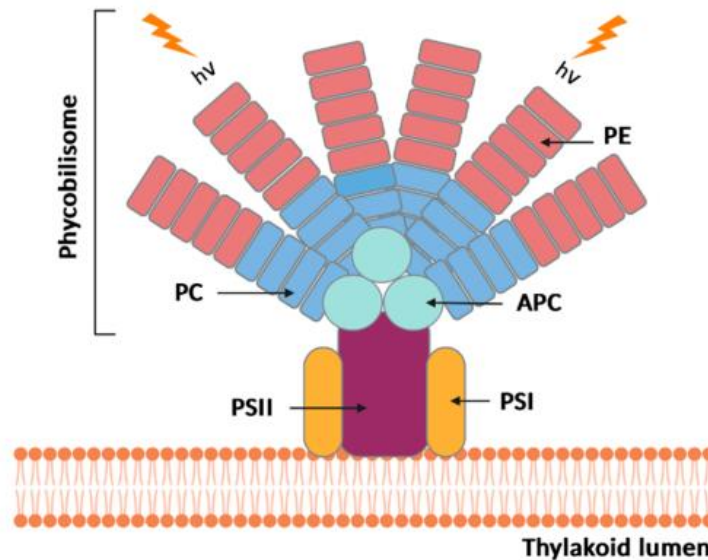
tertentu saja dan umumnya diproduksi ketika terjadi cekaman. Berdasarkan hasil skrining fitokimianya, ditemukan metabolit sekunder berupa golongan flavonoid, steroid, fenol, dan saponin dalam *Spirulina* sp (Notonegoro *et al.*, 2018). Kandungan metabolit sekunder tersebut dapat meningkat pada fase stasioner yang merupakan akumulasi proses sintesis serta perubahan produk metabolit (Notonegoro *et al.*, 2018).

Pembentukan metabolit sekunder dapat melalui 3 jalur yaitu pada jalur asam malonat yang menghasilkan asam lemak, gliserida, poliasetilen, fosfolipida, dan Glikolipida, jalur asam mevalonat yang menghasilkan Essential oil, squalent, monoterpenoid, menthol, korosinoid, streoid, terpenoid, sapogenin, geraniol, ABA, dan GA3 serta jalur asam sikhimat yang menghasilkan Asam sinamat, fenol asam benzoic, lignin, koumarin, tanin, asam amino, benzoic dan quinon (Mariska., 2013). Salah satu senyawa sekunder *Spirulina* sp yang berupa steroid dihasilkan melalui siklus glikolisis yang diubah menjadi Malonyl CoA dan isoprene (Mukharromah dan Suyatno., 2014). Selain itu terdapat pula senyawa flavonoid yang juga ditemukan oleh El-Baky *et al.* (2009) bahwa pada *Spirulina maxima* memiliki kandungan flavonoid sebesar 5.12 mg/g. Dan untuk senyawa fenol hidrokuinon biasanya ditandai dengan pembentukan warna hijau pada mikroalga seperti pada Fahleny dkk (2014) bahwa *Spirulina platensis* memiliki kandungan senyawa fenol hidrokuinon.

2.7 Fikosianin Pada *Spirulina* sp.

Fikosianin menjadi merupakan pigmen khas pada *Spirulina* sp yang berwarna biru-hijau. Pigmen utama ini berkisar 20% menurut berat keringnya dengan warna hijau biru tua hingga hijau biru muda (Ridlo dkk., 2015). Fikosianin pada merupakan salah satu dari macam pigmen fotosintensis yang terikat pada phycobilliprotein (protein fluoresen utama pada *Spirulina* sp). *Spirulina platensis* memiliki dua phycobiliprotein yaitu berupa APC (Allophycocyanin) dan CPC (C-Phycocyanin) yang berada pada lokasi yang berbeda (Padyana *et al.*, 2001). Menurut Fernandes *et al* (2023) menjelaskan bahwa lokalisasi pada fikosianin bertempat di phycobilisomes yang merupakan kompleks protein supramolekul yang

berperan sebagai antenna untuk fotosintesis pada tingkat tilakoid dan bersifat menempel pada membran (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Bentuk struktural phycobilisomes. Susunan tersebut dibentuk oleh fikoeritrin (PE), phycocyanin (PC), dan allophycocyanin (APC), diatur untuk mentransfer energi ($h\nu$) (Pagels *et al.*; 2019 dalam Fernandes *et al.*, 2023).

Masojidek *et al.* (2004) dalam Ridlo dkk. (2015) menjelaskan bahwa keberadaan fikosianin didapat dari asosiasi atau hubungan antara pigmen *Spirulina* sp. dengan protein dengan sifat polarnya. Secara detail, pembentukan fikosianin berasal dari pembentukan oleh satu rentang polipeptida alfa (α) dari 10 hingga 19 kDa dan satu polipeptida beta (β) dengan ukuran sekitar 14 hingga 21 kDa yang kemudian membentuk monomer (Fernandes *et al.*, 2023). Kualitas fikosianin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Ridlo dkk (2015) menyebutkan bahwa pasokan nitrogen yang merupakan salah satu sumber nutrisi pada media tumbuh dapat berdampak pada tingkat fikosianin *Spirulina* sp. selama masa pertumbuhan dan perkembangan. Tidak hanya itu, beberapa penelitian juga menyebutkan bahwa ternyata spektrum cahaya juga dapat berpengaruh pada kualitas dan jumlah fikosianin. Seperti pada penelitian Jung *et al.* (2022) yang menjelaskan bahwa lampu LED dengan cahaya biru berpengaruh

dalam meningkatkan kandungan fikosianin pada *Spirulina* sp. yang dikultur dalam media Zarrouk. Maka dari itu, untuk mempertahankan kualitas fikosianin yang baik, faktor eksternal dan internal saat kultur berlangsung perlu diperhatikan, bahkan saat pemanenan dan pasca pemanenan juga menjadi hal yang penting. Fernandes *et al* (2023) menyebutkan cara penyimpanan pasca panen fikosianin baiknya disimpan suhu di bawah 45 °C, pH antara 5.5 dan 6.0, penyimpanan di tempat gelap, dan bahan pengawet seperti mono- dan di-sakarida, asam sitrat, pengikat silang, dan polimer alami dapat digunakan. Upaya tersebut dilakukan untuk mempertahankan kualitas warna dan senyawa didalamnya.

Kualitas fikosianin yang unggul akan menjadi nilai utama dalam pangsa pasar penjualan. Semakin bagus kualitasnya, maka harga jual akan semakin tinggi sebab akan menjadi bahan baku utama yang digunakan dalam berbagai produk dan bidang seperti kesehatan, kosmetik, farmasi, makanan, minuman dan lain-lain. Liu *et al* (2016) menyebutkan manfaat C-PC yang diperoleh dari *S. platensis* telah banyak digunakan sebagai bahan tambahan makanan dan pewarna kosmetik di Jepang, sebagai bahan baku obat-obatan, makanan, pewarna biasa dan pewarna fluoresen. Salah satu manfaat pentingnya dalam bidang kesehatan yaitu seperti dalam penelitian Pattarayan *et al* (2017) yang menyatakan bahwa C-phycoyanin dapat menghambat EMT dan C-PC yang diinduksi TGF- β 1 mungkin merupakan suatu potensi obat anti-fibrosis. Liu *et al* (2016) yang juga menjelaskan bahwa C-PC dapat menghambat COX-2, memodulasi ekspresi beberapa gen atau protein, menangkap radikal bebas, yang berhubungan dengan penyakit, seperti tumor, peradangan, CVD, dan katarak. Pleonsil *et al* (2013) yang membuktikan bahwa C-PC dapat mengobati sel tumor HT-29 dan A549, dan diketahui bahwa siklus sel diblokir di dalam sel siklus fase G0/G1, sintesis DNA terhambat sehingga proliferasi sel tumor menjadi terhambat.

2.8 Protein Pada *Spirulina* sp.

Probosari (2019) menjelaskan bahwa protein ialah makromolekul polipeptida yang tersusun dari sejumlah L-asam amino yang dihubungkan oleh ikatan peptida. Molekul protein tersebut disusun oleh beberapa asam

amino dan memiliki sifat turunan. Pada *Spirulina* sp. terdapat 55-70% protein dihitung pada berat keringnya dan juga terdapat 47% asam amino esensial pada setiap 10 gram berat keringnya (Fernandes *et al.*, 2023). Selain itu, Christwardana dan Hadiyanto (2013) juga menyebutkan kandungan protein yang dihasilkan dari *Spirulina* sp. yang dikultur pada media air tawar adalah sekitar 60-70 % dengan asam amino esensial yang kaya kandungannya seperti metionin (1,3-2,75%), sistin (0,5-0,7%), triptofan (1-1,95%), dan lisin (2,6-4,63%). Persentase kandungan protein tersebut lebih tinggi dibandingkan sumber protein nabati atau hewani pada biasanya, contohnya seperti kedelai (35%), kacang tanah (25%), sereal (8–14%), daging dan ikan (15–25%), telur (12%), susu bubuk (35%) dan susu murni (3%) (Fernandes *et al.*, 2023). Hal ini juga dibuktikan pada beberapa penelitian bahwa protein mikroalga memiliki manfaat dan kualitas yang tidak kalah jauh dibandingkan protein-protein komersial yang umumnya digunakan untuk pengemulsi salah satunya seperti protein kedelai (Ramirez *et al.*, 2021). Marrez *et al.* (2014) menyatakan bahwa kandungan protein *Spirulina* sp. tergolong cukup lengkap sebab memiliki hampir seluruh semua asam amino esensial yang berkisar 47% dari total berat protein. Pemenuhan protein untuk tubuh merupakan sebagian dari kewajiban manusia untuk merawat tubuhnya dengan baik dengan cara mengonsumsi makanan yang sehat dan bergizi yang bisa didapatkan pada sumber apapun, salah satunya *Spirulina* ini.

Protein pada *Spirulina* sp. dapat digunakan untuk berbagai kepentingan, salah satu peran besarnya adalah memenuhi kebutuhan tubuh akan protein. Ulya dkk (2018) menjelaskan peran protein bagi tubuh yaitu salah satunya untuk proses pembentukan sel – sel baru agar dapat memperbaiki jaringan tubuh yang rusak. Tidak hanya peran protein totalnya, profil asam amino yang ada pada protein *Spirulina* sp. diinginkan sehubungan dengan jumlah AA esensial dan daya cerna yang baik, sehingga menjadi sumber protein alternatif yang potensial dan juga bermanfaat untuk tekno-fungsional seperti bahan pembusa, pembentuk gel, dan pengemulsi (Fernandes *et al.*, 2023). Asam amino esensial yang seimbang pada *Spirulina* sp. memiliki sifat yang

mudah terhidrolisis atau dipecah menjadi peptida bioaktif sehingga dapat memenuhi syarat sebagai makanan sehat, obat-obatan, dan *nutraceutical*.

Kandungan protein pada *Spirulina* sp dipengaruhi oleh nutrisi pada media tumbuh yaitu senyawa nitrogen. Makronutrien tersebut dapat berdampak pada pertumbuhan *Spirulina* sp. untuk aktivitas metabolisme sel seperti katabolisme maupun asimilasi khususnya biosintesis protein (Amanatin dan Nurhidayanti., 2013). Faktor tersebut harus terkontrol dengan baik agar menghasilkan kualitas protein yang unggul dan menyesuaikan air media tumbuh yang sesuai agar tetap aman dikonsumsi. Salah satunya adalah menggunakan air tawar, bukan air laut sebagai bahan pelarut utamanya. Selaras dengan pernyataan Christwardana dan Hadiyanto (2013) bahwa kandungan natrium dalam *Spirulina* sp. air tawar lebih rendah dari air laut, sehingga aman untuk dimanfaatkan sebagai pangan dan kebutuhan farmasi yang akan dikonsumsi oleh manusia.

2.9 Media Tumbuh

2.9.1 TSP (Triple Super Fosfat)

TSP (Triple Super Fosfat) adalah pupuk anorganik yang memiliki kandungan fosfat tinggi (Asna dan Sumardiyono., 2020). Kandungan fosfat pada pupuk TSP berkisar 46 – 48% (Syamdidi dan Amini 2005). Pupuk ini merupakan jenis pupuk yang dapat memenuhi kebutuhan komponen hara N atau P secara parsial sehingga dapat menjadi substitusi dari pupuk NPK. Produksi pupuk TSP melalui dua macam proses, yaitu proses Odda dan Dorr-Oliver. Pada proses Odda, digunakan bahan baku berupa batuan fosfat dan asam nitrat atau asam klorida. Sedangkan pada proses Dorr-Oliver, digunakan bahan baku berupa batuan fosfat dan asam fosfat (Berin dkk., 2021). Dalam penelitian pertumbuhan mikroalga menggunakan pupuk TSP terbukti nitrogen yang ada di dalamnya bersifat mudah larut yang berdampak baik membantu penyerapan unsur-unsur hara tersebut bagi alga (Hakim *et al* (1986) dalam Utomo dkk (2005).

2.9.2 Urea

Pupuk urea memiliki kandungan satu unsur berupa N (nitrogen) sehingga termasuk dalam pupuk tunggal. Nitrogen yang didapatkan dari

hasil penguraian alami protein, baik dari manusia maupun hewan yang dikeluarkan bersama urine dalam jumlah yang cukup besar dilakukan langsung dari amoniak dan karbondioksida (Asna dan Sumardiyono. 2020). Kandungan Nitrogen pada pupuk urea berkisar 46% yang apabila terlarut akan membentuk ion amonium (NH_4^+) yang akan diasimilasi oleh mikroalga kemudian diubah menjadi glutamat sebagai penyusun asam amino (Laura dan Paolo., 2006). Dalam produksi pupuk urea pada umumnya melalui proses reaksi antara amonia dan karbondioksida pada tekanan dan temperatur tinggi di dalam reaktor kontinyu untuk membentuk amonium karbamat dan selanjutnya amonium karbamat yang terbentuk didehidrasi menjadi urea (Sari dan Yusuf., 2018). Salah satu penggunaan pupuk urea dalam kultur mikroalga pernah diaplikasikan pada *Scenedesmus* sp. yang menghasilkan peningkatan pertumbuhan sel yang cukup baik sebab menyediakan nitrogen yang optimal. Selain itu, dalam penelitian Amanatin dan Nurhidayanti (2013) yang menunjukkan penggunaan pupuk urea berpengaruh dalam tingginya kelimpahan sel serta kadar protein *Spirulina* sp.

2.10 Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap *Spirulina* sp.

Cahaya tampak merupakan cahaya yang sensitif pada mata kita jatuh dengan kisaran 400 nm sampai 750 nm yang juga disebut sebagai spektrum tampak dan terdiri dari berbagai warna mulai dari warna ungu sampai merah (Giancoli, 2001). Warna yang muncul tersebut berkaitan dengan panjang gelombang atau frekuensi cahaya. Spektrum gelombang elektromagnetik yang terlihat hanyalah sebagian kecil saja. Sunarto (2008) menjelaskan bahwa jika terdapat spektrum cahaya dengan panjang gelombang yang pendek maka memiliki daya tembus yang lebih dalam dibandingkan gelombang panjang, salah satu contohnya adalah pada jika pada air jernih gelombang yang sedikit diserap adalah gelombang pendek. Warna spektrum yang beragam memiliki panjang gelombang yang berbeda. Adapun cahaya tampak terbagi atas beberapa spektrum warna yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu memiliki panjang gelombang

yangm berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Handoko dan Fajariyanti, 2010).

Tabel 2.1 Panjang Gelombang Cahaya Tampak

Warna	Panjang gelombang (nm)
Merah	625-740
Jingga	590-625
Kuning	565-590
Hijau	520-565
Biru	435-520
Nila	400-435
Ungu	380-400

Produksi mikroalga membutuhkan cahaya sebagai sumber pencahayaannya, baik itu menggunakan cahaya matahari dalam produksi skala besar di laboratorium *outdoor* ataupun menggunakan cahaya artifisial seperti lampu atau LED untuk skala laboratorium *indoor*. Zielinska *et al* (2017) dalam Leopoldino *et al* (2019) menjelaskan kelebihan cahaya matahari yaitu jumlah dan keberadaannya yang tersedia secara gratis sehingga bisa mengurangi biaya operasi pencahayaan oleh perusahaan, namun terdapat pula kekurangan ketika menggunakan cahaya matahari yaitu dalam terbatas dengan keberadaan siklus siang dan malam, perubahan cuaca dan musim. Hal tersebut dapat menghambat produktivitas dan kualitas produk yang dihasilkan.

Berdasarkan kelemahan tersebut, penggunaan cahaya artifisial umumnya menjadi alternative dalam menggantikan cahaya matahari dengan tujuan pencahayaan yang lebih terkontrol untuk menciptakan kualitas unggul dan kultivasi yang lebih efisien kedepannya. Kelebihan menggunakan cahaya artifisial sebagai sumber pencahayaan yaitu; dapat disesuaikan dengan kebutuhan dalam proses kultur, kualitas pencahayaan yang optimal dapat meningkatkan produksi dan kualitas produk. Disamping itu, juga terdapat kelemahan berupa biaya produksi yang otomatis akan lebih tinggi dibandingkan dengan pencahayaan alami dari matahari.

Salah satu solusi dalam menekan biaya produksi untuk pencahayaan tersebut adalah menggunakan *Light emitting diodes* (LEDs) sebagai sumber cahaya artifisial yang ekonomis dibandingkan dengan cahaya artifisial jenis lainnya. Kadam *et al* (2019) juga berpendapat bahwa penggunaan *Light Emitting Diodes* (LEDs) menjadi kandidat terbaik dalam kultur mikroalga dibandingkan dengan lampu neon fluoresens yang tingkat efisiensinya kurang karena keberadaan panjang gelombang lain yang mempengaruhi fotosintesis dan memiliki aktivitas fotosintetik yang rendah. Lampu LEDs memiliki kelebihan karena hemat energi, memiliki masa penggunaan yang lama dan dapat menghasilkan cahaya monokromatik sehingga penggunaan cahaya tersebut berpotensi dapat meningkatkan produksi biomassa maupun meningkatkan komponen kimia mikroalga seperti senyawa bioaktif dan biopigmen (Cao *et al.*, 2020).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif eksperimen. Rancangan penelitian yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan spektrum cahaya yaitu putih (kontrol), hijau, biru dan merah.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai 19 Februari 2024 hingga 22 Mei 2024 di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan dan laboratorium genetika molekuler Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah wadah kultur berupa toples plastik bening ukuran 500 ml sebanyak 20 unit, 10 blower atau mesin aerator, selang aerasi, batu aerasi sebanyak 20 unit, penghubung distribusi aerator, autoklaf sterilisasi, LAF (*laminar air flow*), pH meter, mikroskop, pipet tetes, spatula, labu ukur, labu erlenmeyer, pipet volumetrik, UV-Vis spektrofotometer, beaker glass, corong kaca, lampu LED warna putih, hijau, biru dan merah, kabel, stop kontak, spuit 4 unit, vortex, centrifuge.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah inokulan sel *Spirulina* sp. strain IA-1.3 yang didapatkan dari PT Indoalgae Akuakultur serta merupakan strain lokal yang berasal dari danau dekat PT tersebut, pupuk urea, pupuk ZA (Ammonium sulfate), pupuk TSP (Triple Super Phospat) dan pupuk NPK (Natrium, Phospate dan Kalium), aquades, alcohol.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Alat

Toples berukuran 500 ml sebagai wadah kultur dicuci menggunakan aquadest. Selang aerasi yang akan digunakan disterilisasi menggunakan

autoklaf. Tutup toples diberi lubang untuk akses selang (lubang pertama untuk penghubung dengan batu aerasi, lubang kedua untuk keluar masuknya udara). Pastikan seluruh mesin blower berfungsi dengan baik.

3.4.2 Preparasi Inokulan *Spirulina* sp

Sel *Spirulina* sp diambil dari PT Indoalgae Akuakultur, Pasuruan sebanyak 1000 ml/ 1 L. Dilakukan inokulasi yang diawali dengan menyiapkan labu ukur berukuran 1000 ml sebanyak 2 unit. Setiap labu ukur berisi bibit inokulan masing-masing 500 ml kemudian ditambahkan aquadest hingga 1000 ml. *Spirulina* sp. di aerasi dan ditutup dengan penutup toples serta dikultur selama 5 hari sehingga *Spirulina* sp. siap digunakan sebagai stok inokulan skala laboratorium selama masa penelitian. Sebagaimana penelitian terdahulu bahwa inokulan *Spirulina* sp. dimasukkan sekitar 10-20% dari volume air (Buwono dan Nurhasanah., 2018).

3.4.3 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan selama 7 hari untuk meminimalisir kesalahan selama masa penelitian. Beberapa opsi pupuk untuk media kultur di aerasi dalam toples. Adapun opsi formula pupuk untuk media kultur sebagai berikut:

Formula A: 0.5 g/l Urea + 0.012 g/l TSP

Formula B: 30g/l Urea + 20g/l ZA + 10g/l TSP

Formula C: 0,4 g/l Urea + 0,04 g/l NPK + 0,008 g/l TSP

Hasil uji pendahuluan menunjukkan bahwa *Spirulina* sp. yang dikultur menggunakan formula A memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan formula B dan C. Pada hari ke-4 *Spirulina* sp. yang dikultur dalam formula B mengalami kematian yang ditandai dengan warna *Spirulina* sp. menjadi lebih pudar, berbusa dan banyak sel mati (menggumpal), Sedangkan pada *Spirulina* sp. yang dikultur pada formula C mengalami kematian yang sama, namun kematiannya lebih lambat dibandingkan formula B. Formula B dan C memiliki dosis pupuk yang lebih besar dibandingkan formula A sehingga terlihat kekeruhan yang berbeda pada media. Dianursanti *et al* (2014) menyatakan bahwa tingkat kekeruhan yang

terlalu tinggi pada media menyebabkan sulitnya cahaya untuk menembus media, serta jika konsentrasi nitrogen terlalu tinggi pada media air kultur skala kecil akan menghambat pertumbuhan sel. Berdasarkan hasil tersebut, maka media formula A yang digunakan dalam penelitian ini.

3.4.4 Kultur *Spirulina* sp.

Setiap toples berukuran 500 ml diisi dengan media tumbuh sesuai dengan takaran rancangan penelitian. Inokulan *Spirulina* sp sebanyak 40 mL dimasukkan masing-masing ke dalam 20 toples. Suhu yang digunakan dalam skala laboratorium suhu berada dalam kisaran 20°C-25°C dan disinari dengan lampu LED berwarna putih sebagai kontrol, hijau, biru dan merah selama penyinaran 24 jam per-hari serta aerasi (Buwono dan Nurhasanah., 2018).

3.4.5 Pertumbuhan Relatif

Pertumbuhan kultur sel dapat diukur langsung dengan absorbansi pada panjang gelombang 560 nm untuk *Spirulina* sp. berdasarkan prosedur Laboratorium Bioteknologi Alga King Mongkut's University of Technology Thonburi. Pertumbuhan relatif kultur dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Relative Growth} = \frac{OD_{560}(A_t)}{OD_{560}(A_o)}$$

3.4.6 Berat Kering (Biomassa)

Suspensi sel disaring melalui kertas saring GF/C dan dicuci dengan buffer fosfat (pH 4). Kemudian sel dikeringkan pada suhu 80 °C selama 24 jam atau sampai beratnya konstan. Kemudian sel dikeringkan pada suhu 80 °C selama 24 jam atau sampai beratnya konstan (Prosedur Laboratorium Bioteknologi Alga King Mongkut's University of Technology Thonburi.)

Perhitungan:

Berat Filter paper= A

Berat kertas filter + alga = B

$$\text{Berat Kering Alga (g/L)} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{vol.kultur (mL)}}$$

$$\text{Total alkalinitas (mg/L)} = \frac{0.1 \times V_2 \times 50.000}{25}$$

3.4.7 Mengukur pH dan Salinitas

pH diukur menggunakan alat pH meter. Kultur *Spirulina* sp di ukur pHnya menggunakan pH meter setiap hari pada jam yang sama (12.00 WIB). pH meter dinyalakan dengan menekan tombol *on*. Masukkan pH meter ke dalam wadah yang berisi sampel mikroalga tadi. Pada saat di celupkan, skala angka akan bergerak acak. Tunggu hingga angka tersebut berhenti dan tidak berubah-ubah (stabil).

Pengukuran salinitas menggunakan alat refraktomer di laboratorium ekologi. Sampel *Spirulina* sp. diambil masing-masing sebanyak 6 ml. Alat refraktometer digital dihidupkan, lalu di atur untuk mengukur salinitas, sensor alat dicelupkan pada sampel, kemudian tunggu nilai salinitas muncul secara stabil. Setelah itu, sensor salinitas dibersihkan menggunakan aquadest. Ulangi cara yang sama hingga semua sampel telah terukur nilai salinitasnya.

3.4.8 Analisis Kadar Protein

Penentuan kadar protein menggunakan metode Lowry. Filtrat hasil ekstraksi diambil sebanyak 1 ml lalu ditambahkan aquadest hingga volumenya 4 ml. Dicampurkan dengan 5 mL pereaksi C dan campuran diaduk rata kemudian dibiarkan selama 15 menit pada suhu kamar. Setelah itu ditambahkan dengan cepat 0,5 mL pereaksi D dan diaduk dengan sempurna, didiamkan selama 30 menit pada suhu kamar. Serapannya diukur menggunakan Spektrofotometer Uv-vis pada panjang gelombang 650 nm. Untuk menentukan konsentrasi protein pada mikroalga *Spirulina* sp. Digunakan kurva standar BSA (Bovine Serum Albumin). Larutan standar BSA dibuat dengan konsentrasi 0; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200; 220; 240; 260; 280; 300 ppm.

3.4.9 Analisis Fikosianin

Sampel *Spirulina* sp. sebanyak 3 mg ditambahkan dengan 5 ml buffer fosfat 100 Mm (pH 7) dalam 10 ml centrifuge tube. Kemudian divortex hingga homogeny dan disimpan dalam lemari es selama 12 jam. Setelah itu, sampel divortex kembali dan disentrifugasi 3000 rpm selama 5 menit. Absorbansi sel dihitung menggunakan spektrofotometer UV/Vis dengan

panjang gelombang 620nm. Setelah itu, konsentrasi fikosianin dihitung menggunakan rumus berikut::

$$\text{PC (mg/g cell)} = \frac{\text{OD620} \times \text{Vol.Buffer} \times 1000}{3,39 \times \text{mg sampel}}$$

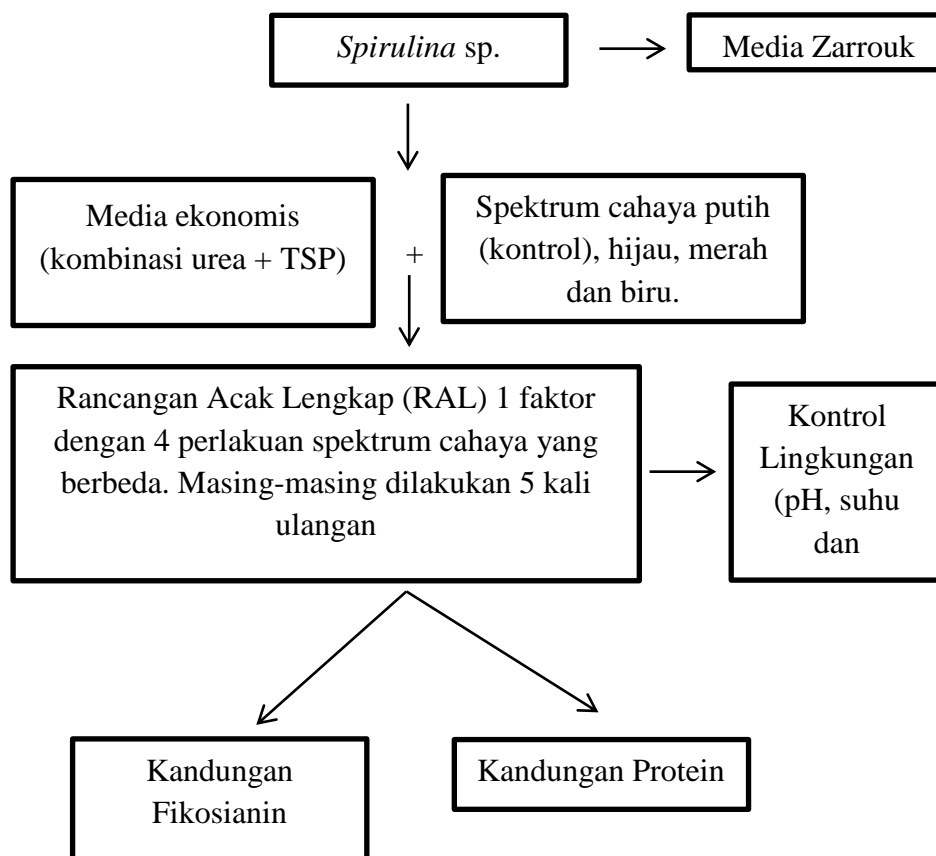
Keterangan:

3,39 = Koefisien CPC pada 620nm

3.5 Analisis Data

Pengukuran laju pertumbuhan relatif dan pH diukur setiap hari dengan rentang waktu antara pukul 09.00-14.00 WIB. Salinitas diukur pada hari ke-1, ke-3, ke-5, ke-7, dan hari ke-10. Sampel *Spirulina* sp. untuk pengukuran fikosianin dan protein dipanen pada hari ke-10. Setelah semua data terkumpul kemudian dilakukan perhitungan melalui Microsoft excel berdasarkan rumus yang berlaku pada berbagai uji yang dilakukan.

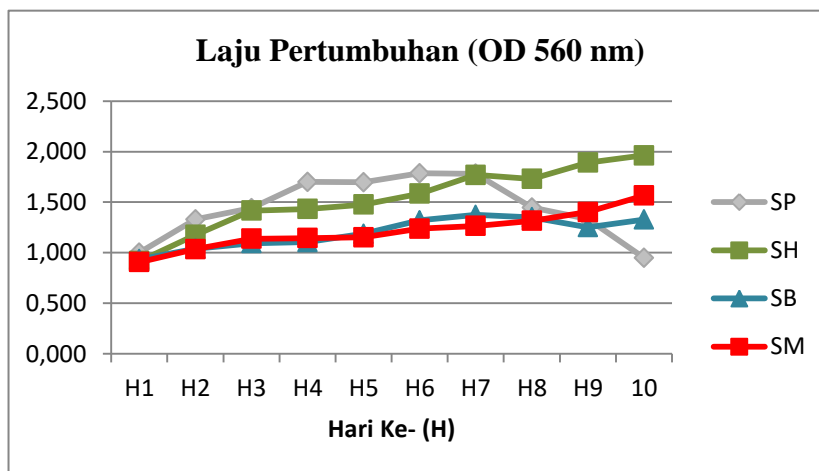
3.6 Diagram Alir Penelitian



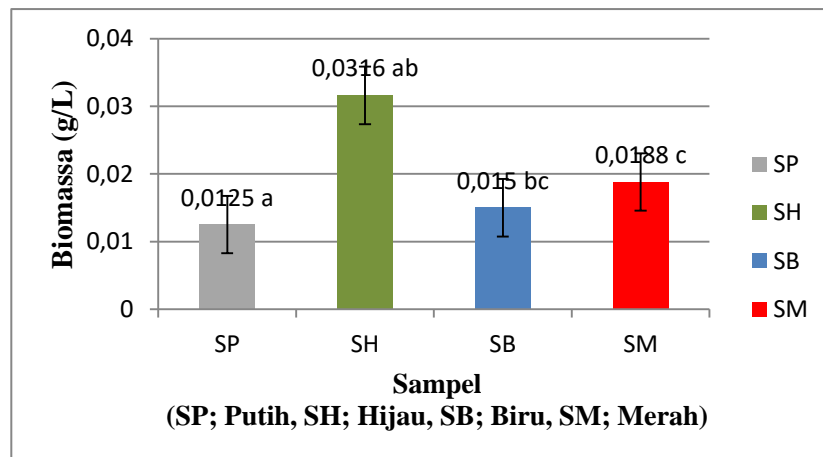
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Laju Pertumbuhan dan Biomassa *Spirulina* sp.

Spektrum cahaya berpengaruh signifikan terhadap laju pertumbuhan dan biomassa *Spirulina* sp. Hasil laju pertumbuhan terbaik secara berurutan didapatkan pada *Spirulina* sp. yang mendapat penyinaran spektrum cahaya hijau > cahaya merah > cahaya putih (kontrol) > cahaya biru (Gambar 4.1). Sedangkan untuk hasil biomassa, spektrum hijau (SH) memiliki jumlah biomassa tertinggi dengan nilai 0,0316 g/L (Gambar 4.2). Perlakuan warna cahaya yang berbeda memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan mutlak, laju pertumbuhan, jumlah dan waktu generasi (Aryono dkk., 2022). Pertumbuhan *Spirulina* sp. mengalami 4 fase yang berurutan yaitu fase adaptasi (lag), logaritmik atau eksponensial, stasioner, dan kematian (Arifin dkk., 2023).



Gambar 4.1 Pertumbuhan Relatif *Spirulina* sp.



Gambar 4.2 Biomassa *Spirulina* sp.

Berdasarkan grafik yang diperoleh, pertumbuhan relatif (kecepatan tumbuh) *Spirulina* sp. paling cepat terjadi pada perlakuan cahaya putih (kontrol), namun seiring bertambahnya waktu kultur, kecepatan menurun drastis mulai hari ke-7 hingga hari ke-10. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa pada perlakuan cahaya putih, *Spirulina* sp. mengalami pertumbuhan tercepat namun juga mengalami penurunan kecepatan tumbuh yang paling drastis dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Berbeda halnya dengan perlakuan cahaya hijau, biru dan merah yang memiliki grafik pertumbuhan serupa (stabil) mulai dari hari ke-1 dan hari ke-2 mengalami fase lag atau fase penyesuaian. Hari ke-3 hingga hari ke-8 mengalami fase eksponensial. Hari ke-9 dan hari ke-10 mulai menunjukkan pertumbuhan yang mulai stabil dan mencapai kepadatan maksimal sehingga sangat tepat untuk waktu panen. Jika dilihat dari nilai pertumbuhan relatifnya, *Spirulina* sp. dengan perlakuan spektrum cahaya hijau menduduki pertumbuhan paling stabil dengan nilai cukup tinggi.

Fase penyesuaian atau lag ditandai dengan perubahan yang tidak terlalu terlihat karena merupakan awal terjadinya kultivasi. Pada fase tersebut energi yang digunakan tidak terlalu besar sebab hanya untuk mempertahankan kestabilan proses proses metabolisme pertumbuhan (Hadiyanto *et al.*, 2021). Berbeda dengan fase eksponensial dimana terjadi peningkatan pertumbuhan karena sel aktif membelah (Aryono dkk., 2022).

Fase stasioner terlihat dari seimbangannya laju pertumbuhan dengan laju kematian pada *Spirulina* sp. (Tambunan dkk., 2022). Fase terakhir adalah fase kematian atau mortalitas yang ditandai dengan menurunnya jumlah sel serta kepadatan yang menurun (Rizky., 2012 ; Tambunan dkk., 2022).

Laju pertumbuhan yang berbeda dipengaruhi oleh panjang gelombang dan intensitas pencahayaan. Dua faktor tersebut dimanfaatkan *Spirulina* sp. menjadi energi ATP untuk pertumbuhan dan pembentukan senyawa karbon (fiksasi CO₂). Hal tersebut juga mendukung alasan bahwa spektrum cahaya hijau menyebabkan laju pertumbuhan *Spirulina* sp. yang lebih stabil dan cepat. Sejalan dengan pernyataan Sun dkk (1998) yang menyatakan bahwa penyinaran dengan cahaya hijau mendorong banyak fiksasi CO₂ dibandingkan dengan cahaya biru dan merah sehingga dapat meningkatkan laju fotosintesis. Laju pertumbuhan memiliki ikatan yang erat dengan jumlah biomassa *Spirulina* sp. Saat laju pertumbuhan dipengaruhi oleh cahaya sebagai salah satu sumber energi yang dibutuhkan, alga akan mengubah cahaya menjadi energi berupa karbohidrat yang terhitung melalui biomassa (Caturwati dan Setyati ., 2020).

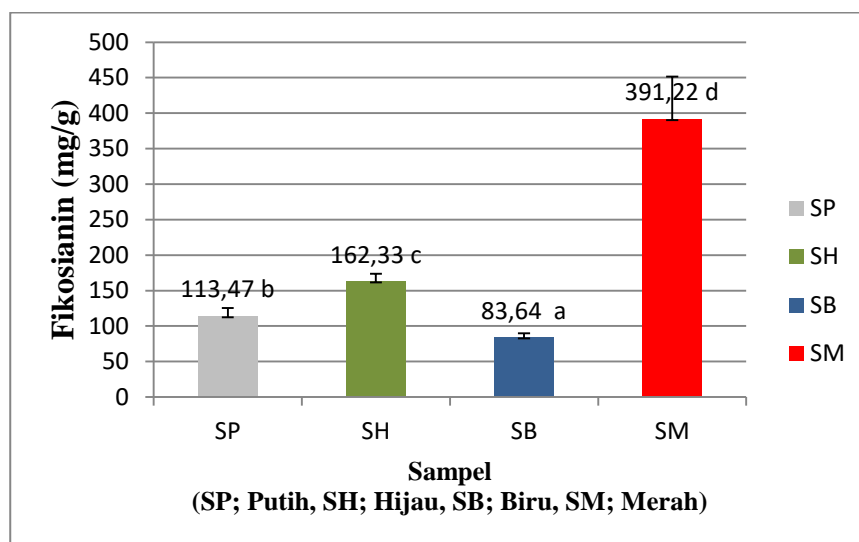
Laju pertumbuhan berpengaruh terhadap jumlah biomassa *Spirulina* sp. Hal ini terbukti dengan laju pertumbuhan yang meningkat sehingga jumlah biomassa juga meningkat. Penghitungan berat biomassa pada hari ke-10 yang merupakan fase stasioner (siap panen) sangat bergantung pada tingkat laju pertumbuhan, sebab kecepatan tumbuh dan kepadatan sel adalah komponen penentu berat biomassa. Pada pencahayaan warna hijau memiliki pertumbuhan relatif yang paling tinggi, begitupula dengan biomasanya. Begitu pula dengan pencahayaan warna putih yang mengalami kematian pada hari ke-10 menyebabkan sel yang ada didalamnya juga menurun sehingga memiliki biomassa terkecil dibandingkan perlakuan lainnya.

Aryono dkk (2022) menyatakan bahwa penyinaran pada panjang gelombang tertentu ataupun kombinasinya diduga dapat meningkatkan produksi biomassa ataupun kandungan komponen kimia mikroalga seperti senyawa bioaktif dan biopigmen. Sama halnya dengan pertumbuhan relatif yang dipengaruhi oleh cahaya karena kebutuhan fotosintesisnya, tingkat

biomassa juga memiliki sifat yang sama. Cahaya optimal yang dapat meningkatkan reaksi fotosintesis akan menyebabkan pertumbuhan sel dan produksi biomassa sel *Spirulina* sp. yang meningkat (Rodrigues *et al.*, 2020).

4.2 Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Fikosianin *Spirulina* sp.

Perbedaan spektrum cahaya LED berpengaruh signifikan terhadap kandungan fikosianin *Spirulina* sp. Spektrum merah memiliki hasil tertinggi dengan nilai fikosianin 391,22 mg/g (Gambar 4.3). Hal ini dikarenakan spektrum merah berpengaruh dalam mekanisme absorpsi cahaya, transfer energi, regulasi ekspresi gen serta produksi pigmen.



Gambar 4.3 Kandungan Fikosianin *Spirulina* sp.

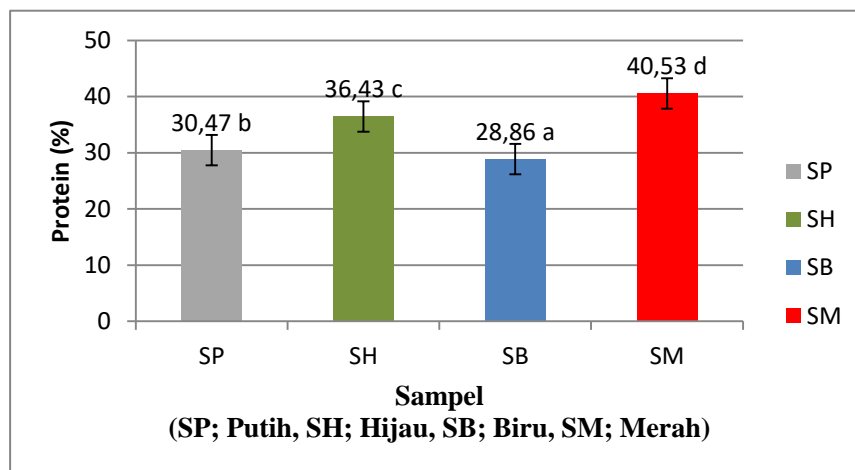
Produksi fikosianin umumnya terjadi saat fase eksponensial tahap akhir ketika *Spirulina* sp. dalam kondisi yang sangat optimal saat mencapai fase stasioner (Purvis *et al* dalam Aryono dkk., 2022). Fikosianin adalah pigmen berwarna biru yang diperoleh dari hasil metabolisme sekunder dan termasuk salah satu jenis fikobiliprotein yang membantu klorofil dalam menyerap cahaya untuk fotosintesis agar lebih maksimal, namun keduanya memiliki kemampuan absorpsi spektrum yang berbeda, sebab memiliki peran dalam fotosintesis yang berbeda pula. Fikobiliprotein adalah sekumpulan pigmen-protein seperti fikosianin, allofikosianin dan fikoeritrin yang terdapat

kisaran 40% dari kandungan total protein terlarut (Hidayati dkk., 2020). Fikobiliprotein akan mengabsorpsi cahaya dengan gelombang tampak tertentu kemudian mentransfer energi ke pusat reaksi pada membrane fotosintesis yang berfungsi untuk mengaktifkan reaksi fotosintesis. Energi eksitasi tersebut berperan untuk mengubah senyawa air serta CO₂ menjadi glukosa dan oksigen. Saat sampai di pusat reaksi terdapat klorofil a dan klorofil b yang berfungsi menangkap cahaya matahari lalu mengonversikannya menjadi energi kimia, sedangkan xanthofil dan karoten berfungsi sebagai pigmen pembantu. Pada saat transfer energi berlangsung maka terjadi interaksi antara fikobiliprotein dan klorofil a & b (Sulistiawati dkk., 2023). Oleh karena itu, peran tersebutlah yang membuat fikobiliprotein dan klorofil memiliki serapan spektrum yang berbeda.

Pada *Spirulina* sp. yang dikultur dalam media Zarrouk menunjukkan kandungan fikosianin tertinggi saat diberi penyinaran spektrum merah dan fikosianin terendah pada penyinaran dengan spektrum biru (Chen et al., 2010). Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa spektrum merah lebih efektif dalam meningkatkan kandungan fikosianin *Spirulina* sp. Spektrum merah memiliki panjang gelombang sekitar 625-740 nm (Handoko dan Fajariyanti., 2010). Cahaya merah berpengaruh pada ekspresi gen yang berkaitan dengan biosintesis fikosianin. Panjang gelombang yang tinggi pada cahaya merah menginduksi ekspresi gen-gen yang mengkode enzim-enzim kunci dalam jalur biosintesis fikosianin, seperti phycocyanobilin lyase dan phycocyanobilin reductase. Fotoreseptor phytochrome berperan dalam mendeteksi cahaya merah dan mengaktifkan jalur sinyal yang mengatur transkripsi gen-gen ini (Li et al., 2019). Selain itu, cahaya merah dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis yaitu dengan cara memperbaiki transfer elektron dalam fotosistem II dan fotosistem I sehingga meningkatkan produksi ATP dan NADPH yang dibutuhkan untuk biosintesis pigmen (Zeng et al., 2015). Oleh karena itu, energi yang diperoleh dari cahaya digunakan secara optimal untuk sintesis biomolekul penting termasuk fikosianin.

4.3 Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Protein *Spirulina* sp.

Spektrum cahaya yang berbeda memberikan pengaruh terhadap kandungan protein *Spirulina* sp. (Gambar 4.4). Persentase protein terbaik diperoleh pada *Spirulina* sp. dengan penyinaran spektrum merah sebesar 40,53%.



Gambar 4.4 Kandungan Protein *Spirulina* sp.

Spektrum merah tergolong cahaya monokromatik, sedangkan spektrum kontrol (putih) merupakan cahaya multikromatik. Cahaya multikromatik kurang efektif diabsorpsi mikroalga untuk fotosintesis sebab memiliki spektrum warna yang luas sehingga penyerapan energi menjadi tidak optimal. Berbeda dengan cahaya monokromatik yang memiliki spektrum warna lebih sempit sehingga mikroalga dapat mengabsorpsi energi yang sesuai untuk reaksi fotosintesis dan memberikan efek yang lebih efisien (Prates *et al.*, 2020). Energi foton yang terdapat pada cahaya monokromatik lebih besar yang umumnya digunakan untuk mengaktifkan reaksi fotosintesis seperti pengikatan CO₂ dan fotolisis (pemecahan air), oleh karena itu, klorofil yang berperan dalam penyerapan cahaya dapat bekerja lebih baik jika mendapat energi foton yang besar untuk diubah menjadi energi kimia (Suyatman.,2020).

Klorofil pada *Spirulina* sp. dapat menyerap energi dengan baik pada kisaran panjang gelombang cahaya 430-680 nm dan fikobiliprotein pada panjang gelombang 550-620 nm untuk penyerapan energi selama

pembudidayaan berlangsung (Schulze *et al.*, 2014). Fikobiliprotein adalah jenis protein yang memiliki cincin tetrapitrol dan termasuk dalam gugus kromofor yang menyerap cahaya pada panjang gelombang cahaya untuk mengaktifkan reaksi fotosintesis (Mailani., 2016). Pada penelitian ini, hasil kandungan protein yang tinggi tidak hanya didapat pada spektrum cahaya merah, namun juga diperoleh pada spektrum cahaya hijau yang menduduki kandungan protein tertinggi kedua. Hal tersebut selaras dengan hasil penelitian Prates *et al* (2020) yang menunjukkan bahwa sumber cahaya spektrum merah dan hijau meningkatkan produktivitas protein *Spirulina* sp. strain LEB 18 karena dimanfaatkan lebih efektif secara energetik dan protein terendah diperoleh pada spektrum cahaya putih serta biru, selain itu, kandungan asam amino juga menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi.

Asam amino yang tinggi berperan dalam mendukung produksi protein dalam sel *Spirulina* sp., sintesis asam amino meleburkan nitrogen ke dalam struktur karbon untuk senyawa nitrogen utama pada mikroorganisme fotosintetik (Shanti *et al.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa kandungan fikosianin yang meningkat juga akan berpengaruh sama dengan peningkatan kandungan proteinnya. Hal ini sebabkan jika sel-sel mikroalga mengalami peningkatan ataupun penurunan akan berpengaruh pada komponen sel yang berkaitan dengan sintesis protein, termasuk protein yang termasuk dalam fikosianin. Sel-sel pada mikroalga dapat mengalami penurunan kandungan protein yang mengakibatkan degradasi berbagai komponen sel yang berkaitan dengan sintesa protein termasuk protein yang terdapat dalam fikosianin (Notonegoro dkk., 2018).

Allah SWT menciptakan cahaya yang bersumber utama matahari sebagai salah satu kuasa yang dapat dinikmati oleh seluruh makhluk hidup untuk berbagai kepentingan. Atas kuasa dan ketetapanNya, cahaya menjadi sumber energi bagi tanaman yang dapat memproduksi makanannya sendiri atau disebut dengan istilah proses fotosintesis. Peran cahaya sangat besar dalam kehidupan makhluk hidup seperti tumbuhan. Sebagai sumber energi utama, pentingnya cahaya dijelaskan secara implisit dalam firman Allah SWT (QS: An-Naba' [78]: 13):

وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَاجًا ﴿١٣﴾

Artinya: “Dan Kami menjadikan pelita yang terang-benderang (Matahari).” (QS: An-Naba’ [78]: 13).

Menurut Shihab (2002) dalam tafsir Al-Misbah ayat tersebut menguraikan tentang langit dan manfaat yang diperoleh manusia dari penciptaannya seperti matahari. Sinar matahari menghasilkan energi berupa ultraviolet 9%, inframerah 45% dan cahaya 46% sehingga pada ayat tersebut terdapat kata *sirajan* yang memiliki arti pelita karena mengandung cahaya atau panas secara bersamaan. Kemudian pada kata *wahaja* berarti menyala atau bercahaya. Menurut Qurthubi (2007) arti وَهَاجًا^ط adalah terang menyala; sesuatu yang memiliki kilau; bersinar dan berkilauan, yaitu matahari. Dalam Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur’an (2015) juga menjelaskan bahwa kata *sirāj* digunakan untuk menjelaskan sifat cahaya yang ditimbulkan oleh Matahari dan Bulan karena memancarkan sinar yang berasal dari dirinya sendiri, selain itu juga dapat bermakna segala sesuatu yang bersinar. Hal ini menegaskan bahwa cahaya terbukti sebagai sumber energi yang penting untuk kehidupan, terutama pemanfaatannya oleh *Spirulina* sp. dalam proses fotosintesis.

Fotosintesis merupakan reaksi yang mengonversi energi cahaya menjadi energi kimia yang disimpan berupa senyawa organik (Sellick *et al*, 2008). Cahaya matahari termasuk salah satu faktor yang berperan dalam produktivitas tanaman karena pada jenis yang berbeda pasti memiliki kemampuan absorpsi cahaya yang berbeda sehingga tidak semua cahaya dapat diserap (Yustiningsih., 2019). Perbedaan Spektrum cahaya dan manfaat matahari sebagai salah satu nikmat besar dari Allah SWT juga di jelaskan dalam (QS: Yunus [10]: 5):

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ
مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ (٥)

Artinya: “Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya.

Dialah pula yang menetapkan tempat-tempat orbitnya agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu, kecuali dengan benar. Dia menjelaskan

tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada kaum yang mengetahui.”
(QS: Yunus [10]: 5).

Menurut Asy-Syaukani (2001) dalam tafsir Fathul Qadir bahwa ضِيَاءٌ adalah bentuk jamak dari sinar atau cahaya. وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِيَتَعَلَّمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ (dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah atau tempat-tempat bagi perjalanan bulan itu), yakni ditetapkan rotasinya (alur peredarannya) pada tempat-tempat tertentu, atau ditetapkan memiliki tempat-tempat tersendiri. Dhamir pada kalimat tersebut kembali kepada bulan. Manzilah-manzilah (tempat-tempat) bulan adalah jarak yang ditempuh oleh bulan dalam sehari semalam dengan peredarannya yang khusus. Kemudian Allah menyebutkan manfaat-manfaat yang berkaitan dengan penetapan manzilah-manzilah itu supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu), karena mengetahui bilangan tahun termasuk kemasalahatan agama dan dunia, termasuk juga mengetahui perhitungan bulan dan hari. يُفَصِّلُ الْآيَاتِ (menjelaskan tanda-tanda) adalah menerangkannya, dan yang dimaksud dengan (tanda-tanda) adalah ciptaan atau kekuasaan atau semuanya. Tanda-tanda ini mencakup tanda-tanda penciptaan yang telah disebutkan, لِقَوْمٍ kemudian hal tersebut dipahami dan diketahui oleh orang-orang yang diberi petunjuk olehnya berupa pengetahuan akan kebesaran Allah SWT. Menurut Qurthubi (2007) mengartikan ضِيَاءٌ sebagai yang menyinari sesuatu, sedangkan وَالْقَمَرَ نُورًا “Dan bulan bercahaya” dimaknai sebagai yang bercahaya (yang memantulkan sinar). مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ ۚ maksudnya adalah Allah SWT tidak menciptakan semua itu kecuali dengan tujuan menunjukkan kebesaran ciptannya. Kemudian makna dari lafadz يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ dijelaskan secara terperinci tanda-tanda kebesaran Allah SWT atas dalil pengkhususan malam dengan gelapnya dan siang dengan sinarnya yang merupakan tanda bagi manusia bahwa hal itu adalah kehendak yang maha berkehendak.

Menurut Shihab (2002) dalam Tafsir Al-Mishbah ضِيَاءٌ dipahami oleh ulama masa lalu sebagai cahaya yang sangat terang, karena menurut mereka ayat ini menggunakan kata tersebut untuk matahari dan menggunakan kata

نُورٌ untuk bulan, sedang cahaya bulan tidak seterang cahaya matahari. Asy-Sya'rawi menulis bahwa ayat ini menamai sinar matahari ضِيَاءٌ karena cahayanya menghasilkan panas/kehangatan, sedang kata نُورٌ memberi cahaya yang tidak terlalu besar dan juga tidak menghasilkan kehangatan. ضِيَاءٌ dapat dipahami dalam arti jamak dapat pula dalam arti tunggal. Ini mengisyaratkan bahwa sinar matahari bermacam-macam walaupun sumbernya hanya satu. Bila dipahami sebagai tunggal, maka ia menunjuk kepada sumber sinar itu dan jika dipahami secara jamak menunjuk aneka sinar matahari. Warna merah pada saat ia akan tenggelam, dan terlihat kuning saat siang hari dan warna lain di kali yang lain. Variasi warna atau lengkung spektrum yang tampak di langit akibat pembiasan sinar matahari oleh titik-titik hujan atau embun menghasilkan tujuh pancaran warna berbeda-beda: merah, oranye, kuning, hijau, biru, jingga dan ungu.

Ayat ini menekankan bahwa Allah swt. yang menciptakan matahari dan bulan seperti yang dijelaskan-Nya di atas, sehingga dengan demikian manusia, bahkan seluruh makhluk di planet bumi ini memperoleh manfaat yang tidak sedikit guna kelangsungan dan kenyamanan hidup mereka. Bukan kebetulan bukan pula diciptakan tanpa tujuan. Dan dengan demikian pula, manusia harus menjadikan dan menggunakannya untuk tujuan yang benar. قَوْمٌ يَعْلَمُونَ bagi orang yang mengetahui menjanjikan tersingkapnya ayat/tanda-tanda kebesaran Allah swt. Setiap saat dan secara bersinambung sepanjang masa bagi mereka yang ingin mengetahui yaitu dengan jalan terus-menerus berupaya mengetahuinya.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Spektrum cahaya berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan dan biomassa. Spektrum hijau menghasilkan laju pertumbuhan *Spirulina* sp. tertinggi dengan nilai rata-rata OD 1,5 dan biomassa tertinggi sebesar 0,0316 g/L.
2. Spektrum cahaya berpengaruh nyata terhadap kandungan fikosianin *Spirulina* sp. Spektrum merah menghasilkan kandungan fikosianin tertinggi sebesar 391,22 mg/g.
3. Spektrum cahaya berpengaruh nyata terhadap kandungan protein *Spirulina* sp. Kandungan protein tertinggi didapat dari hasil spektrum merah sebesar 40,53%.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan spektrum merah untuk meningkatkan kandungan protein dan fikosianin dengan intensitas yang beragam.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan spektrum hijau untuk meningkatkan laju pertumbuhan dan biomassa dengan intensitas yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriyanti, N.L.P, Arthana, I.W., Widiastuti. (2021). Respon Pertumbuhan dan Konsentrasi Klorofil-a pada Kultur Mikroalga *Chaetoceros gracilis* terhadap Perbedaan Suhu Kultur. *JMRT*, 04(01), 37-42.
- Algae Products Market Size, Growth and Forecast . (2020). Available online: <https://www.credenceresearch.com/report/algaeproducts-market> (Di-akses 28 November 2023).
- Al-Mahalli, Imam Jalaludin dan Imam Jalaludin As-Syuyuti. (1990). *Tafsir Jalalain*. Bandung: Sinar Baru Algesindo.
- Al-Qurthubi, Imam. *Tafsir Al-Qur'an Diterjemahkan oleh Muhyiddin Mas Rida dan M. Rana Mengala. Ed. Mukhlis B Mukti*. (2009). Jakarta: Pustaka Azzam.
- Amanatin, D. R., & Nurhidayati, T. (2013). Pengaruh Kombinasi Konsentrasi Media Ekstrak Tauge (MET) Dengan Pupuk Urea Terhadap Kadar Protein *Spirulina* sp. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), E182-E1885.
- Angin, Y., Purwaningrum, Y., Asbur, Y., Rahayu, M. S., & Nurhayati, N. (2019). Pemanfaatan Kandungan Metabolit Sekunder gang Dihasilkan Tanaman pada Cekaman Biotik. *AgriLand: Jurnal Ilmu Pertanian*, 7(1), 39-47.
- Aryono, B., Zainuddin, M., & Fithria, R. F. (2022). Pertumbuhan, Kadar Pigmen dan Aktivitas Antioksidan *Spirulina platensis* pada Kultur dengan Perbedaan Warna Pencahayaan Leds. *Journal of Marine Research*, 11(4), 805-818.
- Asghari, A., Fazilati, M., Latifi, A. M., Salavati, H., & Choopani, A. (2016). A review on antioxidant properties of *Spirulina*. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 3(1), 345-351.
- Asna, W. A. (2020). The Effect of Nutrient And CO₂ Change to *Spirullina* sp. Growth Cultivation: Pengaruh Perubahan Nutrien dan Gas CO₂ terhadap Kultivasi Pertumbuhan Mikroalga *Spirullina* sp. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 1(1), 14-23.
- Asy-Syaukani, I. (2012). *Tafsir Fathul Qadir*. Jakarta: Pusaka Azzam.

- Az-Zuhaili, Wahbah. (2002). *Tafsir Al-Munir (Aqidah, Syari'ah, Manhaj)*. Jakarta: Gema Insani.
- Bangun, H. H., Hutabarat, S., & Ain, C. (2015). Perbandingan Laju Pertumbuhan *Spirulina platensis* Pada Temperatur yang Berbeda Dalam Skala Laboratorium. *Diponegoro Journal of Maquares*, 4(1), 74–81.
- Belay, A. (2008). *Spirulina (Arthrospira): Production and Quality Assurance. Spirulina in Human Nutrition and Health*. Amerika: CRC Press.
- Berin, I., Murtadho, N. A., Nurkhamidah, S., & Taufany, F. (2021). Pra Desain Pabrik Triple Superphosphate (TSP) dari Batuan Fosfat. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), F203-F208.
- Buwono, N. R., & Nurhasanah, R. Q. (2018). Studi Pertumbuhan Populasi *Spirulina* sp. pada Skala Kultur yang Berbeda [Study of *Spirulina* sp. Population Growth in The Different Culture Scale]. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 10(1), 26-33.
- Cahaya, N., Waspododo, S., & Setyono, B. D. H. (2020). Analisis Pertumbuhan *Spirulina* sp. dengan Kombinasi Pupuk Yang Berbeda. *Jurnal Perikanan Unram*, 10(2), 123-133.
- Cao, S., Han, T., Li, Q., Peng, L., Zhao, C., Tang, Y. & Xu, J. (2020). Tunable Spektrum Resemblance Of LED Lights For Improving The Photosynthetic Action Of Chinese Cabbages. *Life Sciences in Space Research*, 26:28-33
- Caturwati, L. N., & Setyati, R. H. (2020). Optimation of *Spirulina* sp. Growth in Walne Media with Variation of Urea and NaHCO₃ Supplements. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 5(1), 53-58.
- Chen, H. B., Wu, J. Y., Wang, C. F., Fu, C. C., Shieh, C. J., Chen, C. I., ... & Liu, Y. C. (2010). Modeling on chlorophyll a and phycocyanin production by *Spirulina platensis* under various light-emitting diodes. *Biochemical Engineering Journal*, 53(1), 52-56.

- Christwardana, M., Nur, M. M. A., & Hadiyanto, H. (2013). *Spirulina platensis*: Potensinya sebagai bahan pangan fungsional. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(1).
- Costaa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Rosa, G. M., Moraes, L., Morais, M. G., & Mitchell, B. G. (2019). Operational and economic aspects of *Spirulina* -based biorefinery. *Bioresource technology*, 292, 121946.
- Da Fontoura Prates, D., Duarte, J. H., Vendruscolo, R. G., Wagner, R., Ballus, C. A., da Silva Oliveira, W., ... & Costa, J. A. V. (2020). Role of light emitting diode (LED) wavelengths on increase of protein productivity and free amino acid profile of *Spirulina* sp. cultures. *Bioresource technology*, 306, 123184.
- Darmawan, H., Tamrin, A., & Nadimin, N. (2018). Hubungan Asupan Natrium dan Status Gizi Terhadap Tingkat Hipertensi Pada Pasien Rawat Jalan Di RSUD Kota Makassar. *Media Gizi Pangan*, 25(1), 11-17.
- Dewi, R. K., & Minah, F. N. (2020). Penentuan Kadar Protein Pada *Spirulina* Platensis Menggunakan Metode Lowry Dan Kjeldah. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 40-45.
- Diharmi, A. (2001). *Pengaruh pencahayaan terhadap kandungan pigmen bioaktif mikroalga Spirulina platensis strain lokal (INK)* [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Djamaludin, H., & Chamidah, A. (2021). Kualitas Ekstrak Minyak Mikroalga *Spirulina* sp. Dengan Metode Ekstraksi Yang Berbeda. *Prosiding Simposium Nasional VIII Kelautan dan Perikanan*. 8(1), 215–224.
- Ekantari, N., Marsono, Y., Pranoto, Y., & Harmayani, E. (2017). Pengaruh Media Budidaya Menggunakan Air Laut dan Air Tawar terhadap Sifat Kimia dan Fungsional Biomassa Kering (*Spirulina platensis*). *Agritech*, 37(2), 173-182.
- El-Baky, N. A., Rezk, N. M. F., & Amara, A. A. (2023). *Arthrospira platensis* Variants: A Comparative Study Based on C-phycoyanin

- Gene and Protein, Habitat, and Growth Conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(3), 663.
- Fahleny, R., Trilaksani, W., & Setyaningsih I. (2014). Aktivitas Antioksidan Pada Formula Terpilih Tablet Hisap *S. platensis* Berdasarkan Karakteristik Fisik. *J Trop. Mar. Sci. Tech.*, 6(2), 427-444.
- Fakhri, M., Antika, P. W., Ekawati, A. W., & Arifin, N. B. (2020). Growth, Pigment and Protein Production of *Spirulina platensis* Under Different Ca (NO₃)² Concentrations. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(1), 38.
- Fernandes, R., Campos, J., Serra, M., Fidalgo, J., Almeida, H., Casas, A., ... & Barros, A. I. (2023). Exploring the Benefits of Phycocyanin: From *Spirulina* Cultivation to Its Widespread Applications. *Pharmaceuticals*, 16(4), 592.
- Giancoli, Douglas, C. (2001). *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Gubanenko, G., Naimushina, L., & Zykova, I. (2019). *Spirulina* As A Protein Ingredient In A Sports Nutrition Drink. In 4th International Conference On Innovations In Sports, *Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019)*, 17 (1), 162-166.
- Handoko, P. & Fajariyanti, Y. (2010). *Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak terhadap Laju Fotosintesis Tanaman Air Hydrilla Verticillata*. Kediri: Universitas Nusantara
- Hanryani, P., Efriyeldi, E., & Effendi, I. (2019). The Effect of Different Light Colors on the Biomass Growth of *Spirulina platensis*. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 2(2), 132-137.
- Hidayati, N., Agustini, N. W. S., Apriastini, M., & Margaretha, C. (2020). Potensi pigmen fikobiliprotein sebagai agen antioksidan dan toksisitas hayati dari sianobakteria *Chroococcus turgidus* (Potency of phycobiliprotein pigment as antioxidant and biological toxicity agents from cyanobacteria *Chroococcus turgidus*). *Biopropal Industri*, 11(1), 41-48.

- Jung, C. H., Braune, S., Waldeck, P., Küpper, J. H., Petrick, I., & Jung, F. (2021). Morphology and Growth of *Arthrospira platensis* during Cultivation in a Flat-Type Bioreactor. *Life*, 11(6), 536.
- Jung, C. H., Waldeck, P., Sykora, S., Braune, S., Petrick, I., Küpper, J. H., & Jung, F. (2022). Influence Of Different Light-Emitting Diode Colors On Growth And Phycobiliprotein Generation of *Arthrospira platensis*. *Life*, 12(6), 895.
- Kadam, A.R., Nair, G.B. & Dhoble, S.J. (2019). Insights Into The Extraction Of Mercury From Fluorescent Lamps: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4).
- Kamaludin, A. M., & Holik, H. A. (2022). Indonesian Journal of Biological Pharmacy. *Journal UNPAD*, 2(2), 59-66.
- Karkos, P. D., Leong, S. C., Karkos, C. D., Sivaji, N., & Assimakopoulos, D. A. (2011). Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2011(1), 531053.
- Kaya, E. (2013). Pengaruh Kompos Jerami Dan Pupuk NPK Terhadap N-Tersedia Tanah, Serapan-N, Pertumbuhan, Dan Hasil Padi Sawah (*Oryza Sativa L*). *Agrologia*, 2(1), 288785.
- Kulshreshtha, A., Jarouliya, U., Bhadauriya, P., Prasad, G. B. K. S., & Bisen, P. S. (2008). *Spirulina* In Health Care Management. *Current Pharmaceutical biotechnology*, 9(5), 400-405.
- Kusdarwati R, Bustaman RA, Arief M. (2011). Pengaruh Perbedaan warna Cahaya Terhadap Pertumbuhan Kultur *Spirulina* sp *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 3 (2), 1-10.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an. (2015). *Tumbuhan Dalam Perspektif Al-Quran dan Sains*. Jakarta: Kementrian Agama RI.
- Laura, B dan Paolo G. (2006). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton New York.
- Leopoldino, C.C.L., de Mendonça, F.M., de Lima Siqueira, P.H. & Borba, É.L. (2019). The Disposal Of Fluorescent Lamps Of Industries Of The

- Metropolitan Region Of Belo Horizonte-MG. *Journal Of Cleaner Production*, 233: 1486-1493.
- Liu, Q., Huang, Y., Zhang, R., Cai, T., & Cai, Y. (2016). Medical Application Of *Spirulina platensis* Derived C-Phycocyanin. *Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine*, 14 (1), 12-17.
- Madkour, F. F., Kamil, A. E. W., & Nasr, H. S. (2012). Production And Nutritive Value Of *Spirulina platensis* In Reduced Cost Media. *The egyptian journal of aquatic research*, 38(1), 51-57.
- Mailani, Intan. (2016). *Penentuan Aktivitas Antioksidan Fikobiliprotein dari Oscillatoria sp.* Lampung; Universitas Lampung.
- Mardiah, E., Pulungan, N. F., & Salim, M. (2019). Penambahan Pupuk Komersial Pada Medium BBM Untuk Pertumbuhan *Spirulina Plantensis* Dan Uji Aktivitas Antioksidan. *In Prosiding Seminar Nasional Pakar* (Pp. 1-16).
- Mariska, I. (2013). Metabolit Sekunder: Jalur pembentukan dan kegunaannya. Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik. Diakses dari <http://biogen.litbang.pertanian.go.id>. (Diakses 28 November 2023).
- Marrez, D.A., Mohamed, M.N., Yousef, Y.S., Zakaria, Y.D. & Aziz, M.H. (2014). Evaluation of Chemical Composition for *Spirulina platensis* in Different Culture Media. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5(4):1161 – 1171.
- Mukharromah, R. R. & Suyatno. (2014). Senyawa Metabolit Sekunder Dari Ekstrak Diklorometana Kulit Batang Bakau Merah (*Rhizophora stylosa*). *J. Chemis.*, 3 (3), 1-5.
- Murtono, (2008). Konsep Cahaya dalam Al Qur'an dan sains, *Jurnal Kaunia*, 4(2), 147-158.
- Naomi, A., Pertiwi, J., Permatasari, P. A., Dini, S. N., & Saefullah, A. (2018). Keefektifan spektrum cahaya terhadap pertumbuhan tanaman kacang hijau (*Vigna Radiata*). *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 4(2), 1-15.

- Noriko, N. (2011). Fungsionalisasi limbah Cair Industri Tahu Tradisional Primkopti Jakarta Barat Sebagai Media Tumbuh *Spirulina Platensis*. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 1(1), 38-41.
- Notonegoro, H., Djamaludin, H., Setyaningsih, I., & Tarman, K. (2022). Fraksinasi Flavonoid *Spirulina platensis* dengan Metode Kromatografi Lapis Tipis dan Aktivitas Inhibisi Enzim α -Glukosidase. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3), 299-308.
- Nurhayati, N., Purnama, T. B., & Siregar, P. A. (2020). *Fikih Kesehatan: Pengantar Komprehensif*. Jakarta: Prenadamedia.
- Padyana, A. K., Bhat, V. B., Madyastha, K. M., Rajashankar, K. R., & Ramakumar, S. (2001). Crystal Structure Of A Light-Harvesting Protein C-Phycocyanin From *Spirulina platensis*. *Biochemical and biophysical research communications*, 282 (4), 893-898.
- Pandey, G., Fatma, T., Cowsik, S. M., & Komath, S. S. (2009). Specific Interaction Of Jacalin With Phycocyanin, A Fluorescent Phycobiliprotein. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 97(2), 87-93.
- Pattarayan, D., Rajarajan, D., Sivanantham, A., Palanichamy, R., & Rajasekaran, S. (2017). C-Phycocyanin Suppresses Transforming Growth Factor-B1-Induced Epithelial Mesenchymal Transition In Human Epithelial Cells. *Pharmacological Reports*, 69, 426-431.
- Pirngadi, K., & Abdulrachman, S. (2005). Pengaruh Pupuk Majemuk NPK (15-15-15) Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Padi Sawah. *Jurnal Agrivigor*, 4(3), 188-197.
- Pleonsil, P., Soogarun, S., & Suwanwong, Y. (2013). Anti-Oxidant Activity Of Holo-And Apo-C-Phycocyanin And Their Protective Effects On Human Erythrocytes. *International journal of biological macromolecules*, 60, 393-398.
- Prayitno, J. (2015). Pola Pertumbuhan Dan Pemanenan Biomassa Dalam Fotobioreaktor Mikroalga Untuk Penangkapan Karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(1), 45-52.

- Probosari, E. (2019). Pengaruh Protein Diet Terhadap Indeks Glikemik. *Journal of Nutrition and Health*, 7(1), 33-39.
- Rafaelina, M., Rustam, Y., Amini, S. (2016). Pertumbuhan Dan Aktivitas Antioksidan Dari Mikroalga *Porphyridium cruentum* Dan *Chlorella* Sp. *Bioma*, 12 (1).
- Ramírez-Rodrigues, M. M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A., & Baigts-Allende, D. K. (2021). *Spirulina platensis* Protein As Sustainable Ingredient For Nutritional Food Products Development. *Sustainability*, 13(12), 6849.
- Razi, Fakhr al- Din.(2012). *Tafsir Al-Kabir Wa Mafatihul Ghaib*. Beirut : Daar Al-Fikr.
- Ridlo, Ali. Sedjati, Sri dan Supriyantini, Endang. (2015). Aktivitas Anti Oksidan Fikosianin Dari *Spirulina* sp. Menggunakan Metode Transfer Elektron Dengan DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil). *Jurnal Kelautan Tropis*. Vol. 18(2), 58–63.
- Rodrigues, Y. V. S., Almeida, E. D. S., & Vieira, E. D. (2020). Characterization of *Arthrospira* sp (*Spirulina*) Biomass Growth in Hydroponic Waste Solution: A Review. *J. Bioeng. Technol. Appl. Health*, 3, 354-358.
- Sahin, S. C. (2018). The Potential Of *Arthrospira platensis* Extract As A Tyrosinase Inhibitor For Pharmaceutical Or Cosmetic Applications. *South African Journal of Botany*, 119, 236-243.
- Sari, F. Y. A., Suryajaya, I. M. A., & Hadiyanto, H. (2012). Kultivasi Mikroalga *Spirulina platensis* Dalam Media Pome Dengan Variasi Konsentrasi Pome Dan Komposisi Jumlah Nutrien. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 1(1), 487-494.
- Sari, P. M., Surahman, M., & Budiman, C. (2018). Peningkatan produksi dan mutu benih jagung hibrida melalui aplikasi pupuk N, P, K dan bakteri probiotik. *Buletin Agrohorti*, 6(3), 412-421.
- Saxena, R.; Rodríguez-Jasso, R.M.; Chávez-Gonzalez, M.L.; Aguilar, C.N.; Quijano, G.; Ruiz, H.A. (2022). Strategy Development for Microalgae

- Spirulina platensis* Biomass Cultivation in a Bubble Photobioreactor to Promote High Carbohydrate Content. *Fermentation*, 8(1), 374.
- Schulze, P.S.C., Barreira, L.A., Pereira, H.G.C. Perales, J.A., & Varela, J.C.S. (2014). Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production. *Trends in Biotechnology*, 32(8), 422-430.
- Sellick, C. A., Campbell, R. N., & Reece, R. J. (2008). Galactose metabolism in yeast—structure and regulation of the Leloir pathway enzymes and the genes encoding them. *International review of cell and molecular biology*, 269, 111-150.
- Setyaningsih, I., Tarman, K., Satyantini, W. H., & Baru, D. A. (2013). Pengaruh waktu panen dan nutrisi media terhadap biopigmen *Spirulina platensis*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 16(3), 191-198.
- Shanthi, G., Premalatha, M., & Anantharaman, N. (2018). Effects of L-amino acids as organic nitrogen source on the growth rate, biochemical composition and polyphenol content of *Spirulina platensis*. *Algal research*, 35, 471-478.
- Shihab, M. Quraish. (2002). *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Quran*. Jakarta: Lentera Hati.
- Souza, C., & Campos, P. M. M. (2017). Development And Photoprotective Effect Of A Sunscreen Containing The Antioxidants *Spirulina* And Dimethylmethoxy Chromanol On Sun-Induced Skin Damage. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 104, 52-64.
- Suherman, S. P., Bunajir, B., Hasim, H., & Arsad, S. (2022). Protein Content of *Spirulina* sp. Cultured Using a Combination of Urea and TSP Fertilizers. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 11(2), 269-276.
- Sukardi, P., Wahyunika, F., Winanto, T., Prayogo, N. A., Harisam, T., Mahdiana, A., & Marnani, S. (2019). Effect of Land Agricultural Fertilizer on Growth of Marine Single Cell Protein, *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis*. *Omni-Akuatika*, 15(2), 69-74.

- Sulistiawati, E., Setyawan, M., Abidin, Z., Darmawan, M., Makasar, H. A., & Pamungkas, T. W. (2023). Perbandingan Kinerja Ekstraksi Fikobiliprotein dari *Spirulina platensis* Melalui Pengadukan dan Freezing-Thawing. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 18(1), 41-49.
- Sun, J., Nishio, J. N., & Vogelmann, T. C. (1998). Green light drives CO₂ fixation deep within leaves. *Plant and Cell Physiology*, 39(10), 1020-1026.
- Sunarto. (2008). *Peranan Cahaya Dalam Proses Produksi di Laut*. Bandung: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran.
- Supu, I., Akhiruddin., dan Setyaningsih, I. (2013). Studi Fluoresens Fikosianin dari Mikroalga *Spirulina platensis* dan Fotosensitisasi Nanopartikel TiO₂ Anatase. *Jurnal Biofisika*. 9(1) : 37-47.
- Sussana, D., Zakianis, E. H., & HK, A. (2007). Pemanfaatan *Spirulina platensis* Sebagai Suplemen Protein Sel Tunggal (PST) Mencit (*Mus musculus*). *Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia. Depok*, 11(1), 44-49.
- Suyatman, (2020). Menyelidiki Energi Pada Fotosintesis Tumbuhan. *Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2) : 125-13
- Syamdidi, dan Amini, S. (2005). Konsentrasi Unsur Hara pada Media dan Pertumbuhan *Chllorela vulgaris* dengan Pupuk Anorganik Teknis dan Analisis. *Jurnal Perikanan*, 6(2), 201-206.
- Tabri, F., Aqil, M., & Efendi, R. (2018). Uji aplikasi berbagai tingkat dosis pupuk ZA terhadap produktivitas dan mutu jagung. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*. 4(1). 1-5.
- Tambunan, A. L., Yuniar, I., & Trisyani, N. (2022). Kultur Pertumbuhan Mikroalga *Spirulina* sp. Pada Media Asam, Netral Dan Alkaline Skala Laboraturium. *Fisheries: Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 4(1), 28-37.

- Trisyulianti, E., Suryahadi & V. N. Rakhma. (2003). Pengaruh Penggunaan Molases dan Tepung Glapek Sebagai Bahan Perekat Terhadap Sifat Fisik Wafer Ransum Komplit. *Media Peternakan*, 26: 35-40.
- Ulya, S., Sedjati, S., & Yudiati, E. (2018). Kandungan protein *Spirulina platensis* Pada Media Kultur Dengan Konsentrasi Nitrat (KNO₃) Yang Berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2), 98.
- Utomo, N. B. P, Winarti., & Erlina. (2005). Pertumbuhan *Spirulina platensis* yang Dikultur dengan Pupuk Inorganik (Urea, TSP dan ZA) dan Kotoran Ayam. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 4(1), 41-48.
- Wang, Z. P., & Zhao, Y. (2005). Morphological reversion of *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* (Cyanophyta): from linear to helical 1. *Journal of Phycology*, 41(3), 622-628.
- Wicaksono, G. (2014). Pengaruh Pemberian Spektrum Cahaya Yang Berbeda Terhadap Kandungan Klorofil *Spirulina* sp (*Doctoral Dissertation, Universitas Airlangga*).
- Wu, H., Li, T., Lv, J., Chen, Z., Wu, J., Wang, N., & Xiang, W. (2021). Growth And Biochemical Composition Characteristics Of *Arthrospira platensis* Induced By Simultaneous Nitrogen Deficiency And Seawater-Supplemented Medium In An Outdoor Raceway Pond In Winter. *Foods*, 10(12), 2974.
- Yustiningsih, M. (2019). Intensitas cahaya dan efisiensi fotosintesis pada tanaman naungan dan tanaman terpapar cahaya langsung. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 4(2), 44-49.
- Zittelli, G. C., Mugnai, G., Milia, M., Cicchi, B., Benavides, A. S., Angioni, A., ... & Torzillo, G. (2022). Effects of Blue, Orange And White Lights On Growth, Chlorophyll Fluorescence, And Phycocyanin Production Of *Arthrospira platensis* Cultures. *Algal Research*, 61, 102583.
- Zujeva Stunda, A. (2020) . Review of *Spirulina* /*Arthrospira* Growth Medium Modifications. *Key Engineering Materials*, 850, 153-158.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

1. Fikosianin

Treatments	FIKOSIANIN			SUM	SUM	Hasil
	U1	U2	U3			
SP1	0,263	0,297	0,244	0,268	0,2702	98,82
SP2	0,332	0,353	0,349	0,34466667		127,09
SP3	0,329	0,315	0,31	0,318		117,26
SP4	0,346	0,263	0,292	0,30033333		110,74
SP5	0,12	0,109	0,131	0,12		44,25
SH1	0,404	0,411	0,4	0,405	0,3834	149,34
SH2	0,474	0,481	0,471	0,47533333		175,27
SH3	0,465	0,458	0,44	0,45433333		167,53
SH4	0,154	0,159	0,155	0,156		57,52
SH5	0,425	0,425	0,429	0,42633333		157,20
SB1	0,241	0,253	0,254	0,24933333	0,201066667	91,94
SB2	0,226	0,229	0,229	0,228		84,07
SB3	0,215	0,217	0,219	0,217		80,01
SB4	0,095	0,102	0,097	0,098		36,14
SB5	0,214	0,213	0,212	0,213		78,54
SM1	1,243	1,245	1,229	1,239	1,0064	456,86
SM2	0,805	0,893	0,898	0,86533333		319,08
SM3	1,147	1,118	1,160	1,14166667		420,97
SM4	0,998	0,998	0,998	0,998		367,99
SM5	0,791	0,787	0,786	0,788		290,56

2. Biomassa

Strains	Paper Weight (A)	Sample Weight (B)	B - A	Dry Weight (g/L)
SP1	0,122	0,124	0,0020	0,0087
SP2	0,117	0,123	0,0060	0,0150
SP3	0,122	0,127	0,0050	0,0125
SP4	0,119	0,123	0,0040	0,0100
SP5	0,121	0,126	0,0050	0,0125
SH1	0,120	0,132	0,0120	0,0300
SH2	0,120	0,13	0,0100	0,0250
SH3	0,122	0,13	0,0080	0,0200
SH4	0,123	0,135	0,0120	0,0347

SH5	0,123	0,135	0,0120	0,0369
SB1	0,127	0,133	0,0060	0,0150
SB2	0,125	0,131	0,0060	0,0150
SB3	0,124	0,129	0,0050	0,0125
SB4	0,123	0,13	0,0070	0,0175
SB5	0,117	0,121	0,0040	0,0100
SM1	0,120	0,127	0,0070	0,0175
SM2	0,121	0,128	0,0070	0,0150
SM3	0,123	0,131	0,0080	0,0200
SM4	0,129	0,141	0,0120	0,0195
SM5	0,124	0,131	0,0070	0,0185

3. Protein

Kadar Protein		rata-rata
SP1	32	30,474
SP2	31,21	
SP3	29,55	
SP4	30,88	
SP5	28,73	
SH1	36,98	36,434
SH2	37,21	
SH3	35,56	
SH4	36,56	
SH5	35,86	
SB1	29,32	28,866
SB2	28,93	
SB3	29,56	
SB4	28,54	
SB5	27,98	
SM1	41,04	40,53
SM2	39,77	
SM3	41,54	
SM4	39,43	
SM5	40,87	

4. Pertumbuhan Relatif

Pertumbuhan Relatif	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
SP	1	1,33	1,44	1,7	1,7	1,79	1,78	1,45
SH	0,92	1,18	1,42	1,43	1,48	1,58	1,77	1,73
SB	0,94	1,04	1,09	1,1	1,19	1,32	1,37	1,35
SM	0,91	1,03	1,14	1,14	1,15	1,24	1,27	1,31

Pertumbuhan Relatif	H9	H10
SP	1,33	0,95
SH	1,89	1,96
SB	1,25	1,33
SM	1,4	1,57

Lampiran 2. Hasil Uji SPSS

1. DATA SPSS FIKOSIANIN

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SP	.254	5	.200*	.871	5	.269
SH	.204	5	.200*	.918	5	.519
SB	.372	5	.022	.779	5	.054
SM	.295	5	.177	.826	5	.129
*. This is a lower bound of the true significance.						
a. Lilliefors Significance Correction						

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Fikosianin	Based on Mean	9.609	3	12	.002
	Based on Median	9.364	3	12	.002
	Based on Median and with adjusted df	9.364	3	3.734	.032
	Based on trimmed mean	9.606	3	12	.002

ANOVA					
Fikosianin					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	233613.073	3	77871.024	78.809	.000
Within Groups	11857.230	12	988.103		
Total	245470.303	15			

Robust Tests of Equality of Means				
Fikosianin				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	66.579	3	6.050	.000
Brown-Forsythe	78.809	3	3.516	.001
a. Asymptotically F distributed.				

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Fikosianin						
Games-Howell						
(I) sampel	(J) sampel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
SP	SH	-48.85750*	8.22336	.004	-77.3387	-20.3763
	SB	29.83750*	6.64709	.030	4.0847	55.5903
	SM	- 277.74750*	30.7671 7	.007	-419.0562	-136.4388
SH	SP	48.85750*	8.22336	.004	20.3763	77.3387
	SB	78.69500*	6.44077	.000	53.9911	103.3989
	SM	- 228.89000*	30.7232 6	.012	-370.4940	-87.2860
SB	SP	-29.83750*	6.64709	.030	-55.5903	-4.0847
	SH	-78.69500*	6.44077	.000	-103.3989	-53.9911
	SM	- 307.58500*	30.3393 9	.006	-452.0326	-163.1374
SM	SP	277.74750*	30.7671 7	.007	136.4388	419.0562
	SH	228.89000*	30.7232 6	.012	87.2860	370.4940
	SB	307.58500*	30.3393 9	.006	163.1374	452.0326

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

2. DATA SPSS PERTUMBUHAN RELATIF

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SP	.197	10	.200*	.898	10	.207
SH	.159	10	.200*	.959	10	.774

SB	.193	10	.200*	.920	10	.357
SM	.142	10	.200*	.981	10	.969
*. This is a lower bound of the true significance.						
a. Lilliefors Significance Correction						

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Pertumbuhan_R elatif	Based on Mean	1.997	3	36	.132
	Based on Median	1.971	3	36	.136
	Based on Median and with adjusted df	1.971	3	27.003	.142
	Based on trimmed mean	2.023	3	36	.128

ANOVA					
Pertumbuhan_Relatif					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.851	3	.284	4.476	.009
Within Groups	2.280	36	.063		
Total	3.131	39			

Multiple Comparisons							
Dependent Variable: Pertumbuhan_Relatif							
	(I) sampel	(J) sampel	Mean Differenc e (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	SP	SH	-.08900	.11256	.858	-.3921	.2141
		SB	.24900	.11256	.139	-.0541	.5521
		SM	.23100	.11256	.188	-.0721	.5341
	SH	SP	.08900	.11256	.858	-.2141	.3921
		SB	.33800*	.11256	.024	.0349	.6411
		SM	.32000*	.11256	.035	.0169	.6231
SB	SP	-.24900	.11256	.139	-.5521	.0541	

					Lower Bound	Upper Bound		
SP	4	.012500	.0020412	.0010206	.009252	.015748	.0100	.0150
SH	4	.031650	.0052855	.0026428	.023240	.040060	.0250	.0369
SB	4	.015000	.0020412	.0010206	.011752	.018248	.0125	.0175
SM	4	.018875	.0011087	.0005543	.017111	.020639	.0175	.0200
Total	16	.019506	.0080893	.0020223	.015196	.023817	.0100	.0369

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Biomasa	Based on Mean	3.969	3	12	.035
	Based on Median	3.702	3	12	.043
	Based on Median and with adjusted df	3.702	3	7.461	.066
	Based on trimmed mean	3.965	3	12	.035

ANOVA					
Biomasa					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	3	.000	30.900	.000
Within Groups	.000	12	.000		
Total	.001	15			

Robust Tests of Equality of Means				
Biomasa				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	17.730	3	6.146	.002
Brown-Forsythe	30.900	3	5.165	.001

a. Asymptotically F distributed.

SP	4	.0125 00	.0020412	.00102 06	.009252	.015748	.0100	.0150
SH	4	.0316 50	.0052855	.00264 28	.023240	.040060	.0250	.0369
SB	4	.0150 00	.0020412	.00102 06	.011752	.018248	.0125	.0175
SM	4	.0188 75	.0011087	.00055 43	.017111	.020639	.0175	.0200
Total	16	.0195 06	.0080893	.00202 23	.015196	.023817	.0100	.0369

4. DATA SPSS PROTEIN

Descriptives								
Protein								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
SP	5	30.47 40	1.31629	.58866	28.8396	32.1084	28.73	32.00
SH	5	36.43 40	.70879	.31698	35.5539	37.3141	35.56	37.21
SB	5	28.86 60	.62911	.28135	28.0849	29.6471	27.98	29.56
SM	5	40.53 00	.89210	.39896	39.4223	41.6377	39.43	41.54
Total	20	34.07 60	4.86865	1.0886 6	31.7974	36.3546	27.98	41.54

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SP	.221	5	.200*	.956	5	.780
SH	.191	5	.200*	.930	5	.596
SB	.165	5	.200*	.969	5	.867
SM	.248	5	.200*	.917	5	.513

*. This is a lower bound of the true significance.


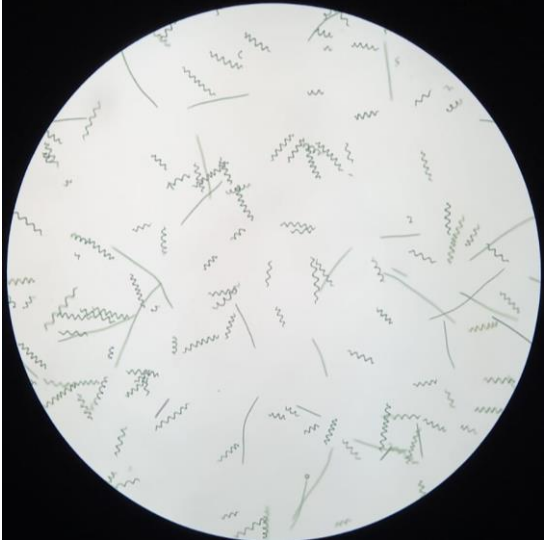
a. Lilliefors Significance Correction

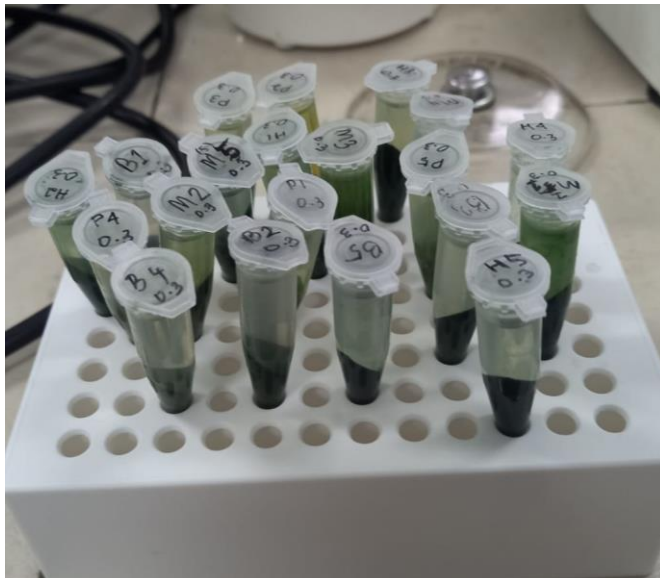
Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
kadar protein	Based on Mean	2.188	3	16	.129
	Based on Median	.751	3	16	.537
	Based on Median and with adjusted df	.751	3	10.563	.545
	Based on trimmed mean	2.137	3	16	.136

ANOVA					
Protein					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	436.664	3	145.555	169.909	.000
Within Groups	13.707	16	.857		
Total	450.370	19			

Protein					
Duncan ^a					
sampel	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
SB	5	28.8660			
SP	5		30.4740		
SH	5			36.4340	
SM	5				40.5300
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.					

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian

	Rak Kultur
	<i>Spirulina sp.</i>




H-1**H-7****Uji
Pendahuluan****Pengukuran
Fikosianin**



**Pengukuran
Protein**



**Filtrasi Sel
untuk
Pengukuran
Biomassa**

	<p>Pengukuran Pertumbuhan Relatif</p>
	<p>Pengukuran pH</p>
	<p>Pengukuran Salinitas</p>



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200602110082
 Nama : MARYANA HASIBATUL AFANAH
 Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
 Jurusan : BIOLOGI
 Dosen Pembimbing 1 : AZIZATUR RAHMAH, M.Sc
 Dosen Pembimbing 2 : DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si
 Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Fikosianin dan Protein *Spirulina* sp. Strain IA-1.3

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	17 Juli 2023	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	konsultasi judul	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	08 Agustus 2023	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	konsultasi judul (2)	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	18 September 2023	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	bimbingan rencana penelitian	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	13 Oktober 2023	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	revisi bab 3 dan bimbingan bab 1, 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	24 Oktober 2023	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	koreksi bab 1,2,3 terkait ayat	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	27 Oktober 2023	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	revisi kesesuaian ayat dan tema atau topik	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	07 November 2023	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	Revisi bab 1,2,3 dan konsultasi topik terbaru	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	07 November 2023	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	Revisi ulang ayat dan relevansi dengan target penelitian	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	10 November 2023	DIDIK WAHYUDI, S.Si., M.Si	ACC ayat	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	10 November 2023	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	ACC bab 1,2,3	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
11	26 Februari 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	Konsultasi rancangan penelitian untuk uji coba langsung	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
12	01 Maret 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	laporan hasil uji pendahuluan	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
13	06 Maret 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	lapor hasil uji pendahuluan	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
14	08 Maret 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	konsultasi penebaran inokulan spirulina sp. untuk RAL	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
15	13 Maret 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	Laporan kultur hari ke-1	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
16	15 Maret 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	Konsultasi dan pendampingan pengambilan data di hari libur	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
17	27 Maret 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	konsultasi pengenceran larutan untuk uji biomassa	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
18	17 Mei 2024	AZIZATUR RAHMAH, M.Sc	laporan hasil data yang didapat, dan diskusi metode pengujian protein	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi

19	20 Mei 2024	AZIZATUR RAHMAH,M.Sc	Konsultasi draft BAB 4	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
20	21 Mei 2024	AZIZATUR RAHMAH,M.Sc	Revisi bab 4.1	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
21	22 Mei 2024	AZIZATUR RAHMAH,M.Sc	Revisi 2 bab 4.1	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
22	22 Mei 2024	AZIZATUR RAHMAH,M.Sc	Revisi 3 bab 4.1	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
23	27 Mei 2024	DIDIK WAHYUDI,S.Si., M.Si	Konsul Integrasi ayat bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
24	29 Mei 2024	DIDIK WAHYUDI,S.Si., M.Si	Revisi ayat untuk bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
25	31 Mei 2024	DIDIK WAHYUDI,S.Si., M.Si	Penambahan tafsir ayat yang kurang dari bab 1-bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
26	03 Juni 2024	AZIZATUR RAHMAH,M.Sc	Konsultasi bab 4.2	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

DIDIK WAHYUDI, M.Si
NIP. 198601022018011001

Malang, 03 Juni 2024
Dosen Pembimbing 1

AZIZATUR RAHMAH, M.Sc
NIP. 198609302019032011






KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi


Nama : Maryana Hasibatul Afanah
NIM : 200602110082
Judul : Pengaruh Spektrum Cahaya Terhadap Kandungan Fikosianin dan Protein
Spirulina sp. Strain IA-1.3

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	287	
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc		

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi




Dwi Susika Sandi Savitri, M.P

NIP. 19741018 200312 2 002