

Optimasi dan Pola Pertumbuhan *Spirulina sp.* yang Dikultur Semi Massal Menggunakan Media Fermentasi dan Ekstraksi *Azolla*

Optimization and Growth Pattern of Spirulina sp. Cultivated Semi-Mass Using Fermentation and Azolla Extraction Media

Suwarsito^{1*}, Dewi SusyLOWATI¹, Binar Asrining Dhiani², Aman Suyadi³

¹*Program Studi Akuakultur, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*

²*Program Studi Farmasi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*

³*Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*

*corr-author: suwarsito@ump.ac.id

ABSTRAK

Spirulina sp. merupakan salah satu jenis mikroalga yang dapat dimanfaatkan dalam bidang pangan, farmasi, dan akuakultur sehingga perlu dibudidayakan secara massal. Namun, upaya budidaya *Spirulina sp.* masih menghadapi kendala, terutama terkait tingginya biaya penggunaan pupuk kimia sebagai sumber nutrisi dalam media kultur. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menghemat biaya pembuatan media kultur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan media kultur yang diperkaya dengan pupuk organik cair fermentasi dan ekstraksi *Azolla* terhadap pertumbuhan *Spirulina sp.* yang dikultur semi massal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdiri dari 3 perlakuan, masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Perlakuan yang dicobakan adalah P1 (pupuk an organik sebagai kontrol), P2 (pupuk organik cair fermentasi *Azolla*), dan P3 (ekstrak *Azolla*). Variabel penelitian meliputi pola pertumbuhan, pertumbuhan kepadatan sel, dan laju pertumbuhan harian *Spirulina sp.* Pola pertumbuhan dianalisis secara deskriptif kualitatif, sedangkan pertumbuhan kepadatan sel dan laju pertumbuhan harian sel *Spirulina sp.* dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik cair fermentasi dan ekstrak *Azolla* mampu meningkatkan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* secara optimal. Sedangkan pola pertumbuhan sel *Spirulina sp.* menunjukkan pola yang sama, namun waktu mencapai puncak populasinya berbeda. Penggunaan pupuk organik cair fermentasi *Azolla* menghasilkan pertumbuhan yang paling baik.

Kata-kata kunci: pupuk organik cair; fermentasi dan ekstraksi *Azolla*; *Spirulina sp.*

ABSTRACT

Spirulina sp. is one type of microalgae that can be utilized in the fields of food, pharmaceuticals, and aquaculture so that it needs to be cultivated in mass. However, in the cultivation of *Spirulina sp.* there are obstacles related to the cost of using expensive chemical fertilizers in the *Spirulina sp.* culture media. Therefore, efforts are needed to save the cost of culture media. The study addressed to determine the effect of using culture media enriched with fermented liquid organic fertilizer and *Azolla* extraction on the growth of *Spirulina sp.* which was cultured semi-mass. The research used an experimental method

with a Completely Randomized Design (CRD), consisting of 3 treatments, each treatment repeated three times. The treatments tried were P1 (inorganic fertilizer as control), P2 (liquid organic fertilizer fermented Azolla), and P3 (Azolla extract). The research variables include growth patterns, cell density growth, and daily growth rate of *Spirulina sp.* The growth pattern was analyzed descriptively qualitatively, while the growth of cell density and daily growth rate of *Spirulina sp.* cells were analyzed descriptively quantitatively. The results showed that the use of fermented liquid organic fertilizer and Azolla extract was able to increase the growth of *Spirulina sp.* cells optimally. However, the growth pattern of *Spirulina sp.* cells showed the same pattern, but the time to reach the peak population was different. The use of Azolla fermented liquid organic fertilizer produces the best growth.

Keywords: liquid organic fertilizer; fermentation and extraction of Azolla; *Spirulina sp.*

PENDAHULUAN

Spirulina sp. merupakan salah satu jenis mikroalga yang memiliki potensi besar sebagai sumber nutrisi dan obat-obatan. Jenis mikroalga ini banyak digunakan untuk menghasilkan suplemen makanan karena kandungan proteinnya yang tinggi. Salah satu kelebihan utama mikroalga dibandingkan organisme lainnya adalah kemampuannya untuk menghasilkan biomassa dan energi dalam waktu yang relatif singkat (Caturwati & Setyati, 2020). *Spirulina sp.* mengandung protein, vitamin, dan mineral yang tinggi yang dibutuhkan tubuh manusia. Mikroalga ini telah dimanfaatkan sejak ribuan tahun lalu sebagai sumber nutrisi karena komposisi nutrisinya yang beragam dan melimpah. Karakteristik tersebut menunjukkan potensi *Spirulina sp.* sebagai agen nutrasetikal, yaitu senyawa bioaktif yang tidak hanya menyediakan nilai gizi, tetapi juga berperan dalam pencegahan dan pengelolaan berbagai penyakit (Imran *et al.*, 2020). *Spirulina sp.* juga mempunyai potensi dalam bidang farmasi, industri makanan, pertanian, wewangian, obat-obatan, dan aplikasi lingkungan sehingga dapat dikomersialisasikan (Soni, *et al.*, 2019). Dalam bidang pangan, *Spirulina sp.* dimanfaatkan sebagai suplemen pangan yang aman (Anvar & Nowruz, 2021).

Spirulina sp. juga dimanfaatkan dalam kegiatan akuakultur, salah satunya untuk pakan alami dalam pembenihan ikan karena memiliki protein yang tinggi, yaitu 60-70% (Buwono & Nurhasanah, 2018). Beberapa penelitian telah dilakukan terkait fungsi *Spirulina sp.* sebagai bioenkapsulasi pakan alami seperti *Artemia*. Bioenkapsulasi *Spirulina sp.* mampu meningkatkan resistensi *Artemia* terhadap bakteri *Vibrio spp.* (Sedjati *et al.*, 2022). Proses bioenkapsulasi *Spirulina sp.* terbukti mampu meningkatkan tingkat kelulushidupan benih ikan nila, terutama ketika digunakan dalam formulasi pakan dengan proporsi *Spirulina sp.* sebesar 50–75% dibandingkan dengan pelet ikan konvensional (Suyanto *et al.*, 2019).

Mengingat manfaatnya yang luas, pengembangan budidaya *Spirulina sp.* secara massal sangat diperlukan. Namun, beberapa kendala seperti kebutuhan nutrisi spesifik dan kondisi lingkungan optimal perlu diatasi untuk meningkatkan produktivitas. Selain itu, kendala lain dalam pengembangan budidaya *Spirulina sp.* adalah biaya penggunaan pupuk kimia yang mahal dalam media kultur *Spirulina sp.* sehingga meningkatkan biaya produksi (Sopandi *et al.*, 2020). Proses produksi biomassa *Spirulina sp.* secara konvensional memiliki ketergantungan yang tinggi pada media budidaya kimia, yang menyumbang sekitar 35% dari total biaya produksi (Lim *et al.*, 2021). Media budidaya yang sering digunakan dalam kultur *Spirulina sp.* adalah Walne dan KW (Suyoso *et al.*, 2022), serta Zarrouk (Akbarnezhad *et al.*, 2020). Media Walne biasanya dipadukan dengan media organik lainnya seperti media R11 dan urea (Sirait, *et al.*, 2019). Media Zarrouk adalah

substrat standar yang digunakan untuk kultur *Spirulina sp.* Meskipun media seperti Zarrouk menawarkan produksi biomassa yang optimal, namun biaya yang diperlukan untuk meramu media tersebut sangat tinggi, sehingga membatasi penggunaannya dalam skala besar.

Salah satu cara untuk menghemat biaya media kultur untuk memproduksi biomassa *Spirulina sp.* adalah menggunakan media fermentasi dan ekstraksi *Azolla*. *Azolla* adalah kelompok tanaman pakis air yang berasal dari famili Azollaceae yang memiliki kandungan protein yang tinggi dengan asam amino esensial yang lengkap terutama lisin, treonin, triptofan, dan metionin (Prasetyo, 2021). Penggunaan media fermentasi dapat menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh *Spirulina sp.*, sedangkan ekstraksi *Azolla* dapat memberikan tambahan nutrisi dan zat-zat yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Spirulina sp.* Namun, masih belum banyak penelitian yang membahas tentang optimasi pertumbuhan *Spirulina sp.* dengan menggunakan media fermentasi dan ekstraksi *Azolla*. Leksono, *et al.*, (2017) telah melakukan penelitian penggunaan pupuk organik cair hasil fermentasi dari *Azolla pinnata* terhadap kepadatan sel *Spirulina sp.* Ginting *et al.*, (2022) juga melakukan penelitian pemanfaatan kotoran burung puyuh dan pupuk organik cair hasil fermentasi *Azolla pinnata* terhadap populasi serta kepadatan sel *Spirulina sp.* Namun kedua penelitian tersebut masih dilakukan dalam skala laboratorium. Sedangkan informasi penelitian mengenai penggunaan fermentasi dan ekstrak *Azolla* untuk media kultur *Spirulina sp.* secara semi massal masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan media kultur yang diperkaya dengan pupuk cair fermentasi dan ekstraksi *Azolla* terhadap pertumbuhan *Spirulina sp.* yang dikultur semi massal. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi yang berguna tentang cara mengoptimalkan pertumbuhan *Spirulina sp.* dengan menggunakan media fermentasi dan ekstraksi *Azolla*. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan kultur massal *Spirulina sp.*

METODE PENELITIAN

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Akuakultur, Fakultas Pertanian dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Purwokerto yang terletak di Desa Karang Sari, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas. Penelitian ini dilakukan pada Bulan Oktober sampai November 2024.

2. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdiri dari 3 perlakuan, masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Perlakuan yang dicobakan adalah kultur *Spirulina sp.* menggunakan media kultur yang berbeda, yaitu: P1 (pupuk an organik sebagai kontrol), P2 (pupuk organik cair fermentasi *Azolla*), dan P3 (ekstrak *Azolla*). Pupuk anorganik yang digunakan terdiri dari Urea 80 gram, Za 20 gram, TSP 40 gram, NPK 5 gram yang dilarutkan ke dalam 1 L air.

3. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian meliputi:

- a. Akuarium sebanyak 9 unit yang dilengkapi sistem aerasi.
- b. Alat pengukur kualitas air meliputi pH meter, DO meter, dan termometer air.
- c. Mikroskop dan haemocytometer untuk pengamatan dan penghitungan kepadatan sel *Spirulina sp.*

- d. Bibit *Spirulina sp.* dan *Azolla*.
- e. Pupuk anorganik terdiri dari Urea, Za, TSP, dan NPK.
- f. Probiotik MA 11 dan gula pasir untuk proses fermentasi.
- g. Aquabides yang digunakan sebagai pelarut media.

4. Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian diuraikan sebagai berikut:

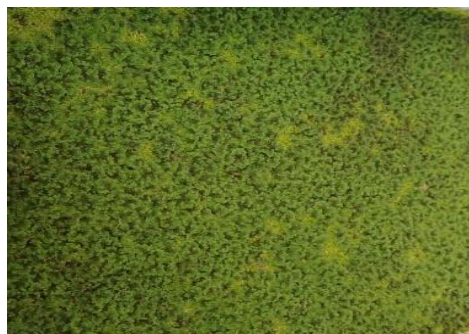
a. Persiapan Penelitian

- Persiapan wadah penelitian, inokulan *Spirulina sp.* dan *Azolla*.

Wadah penelitian menggunakan akuarium 80 cm x 50 cm x 50 cm sebanyak 9 unit. Semua akuarium dicuci dan diberi desinfektan *methylene blue*, lalu dibilas dan dikeringkan. Langkah berikutnya adalah mengisi masing-masing akuarium dengan air laut salinitas 15 ppt hingga volume 80 L dan dilengkapi sistem aerasi untuk menyuplai oksigen. Inokulan spesies *Spirulina sp.* diperoleh dari Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara (Gambar 1). *Azolla* yang digunakan berasal dari Balai Budidaya Ikan Air Tawar (BBIAT) Kutasari, Kabupaten Purbalingga (Gambar 2).



Gambar 1. Inokulan *Spirulina sp.*



Gambar 2. *Azolla pinnata*

- Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) Fermentasi *Azolla*

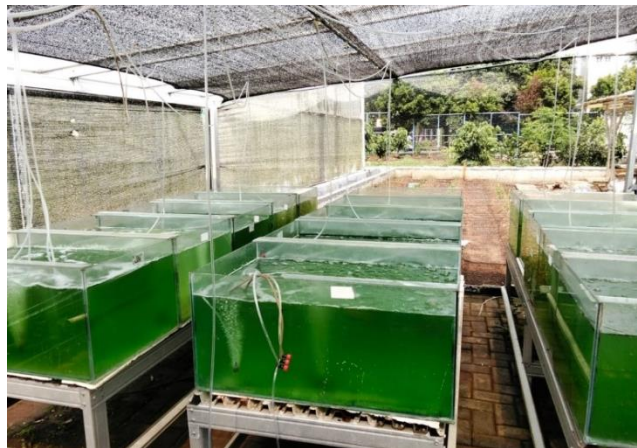
Azolla dicuci dengan air hingga bersih kemudian dijemur di bawah sinar matahari sampai kering. Setelah kering *Azolla* digiling menjadi serbuk sebanyak 200 gram, selanjutnya dilarutkan dalam akuades sebanyak 1 liter, probiotik MA 11 sebanyak 20 ml, dan gula pasir sebanyak 20 gram. Setelah selesai, bahan-bahan yang telah tercampur lalu difermentasi selama 7 hari secara anaerob. Selanjutnya pupuk organik cair *Azolla* yang telah difermentasi disaring untuk mendapatkan pupuk dalam bentuk cair (El-Sheekh *et al.*, 2021).

- Pembuatan Ekstrak *Azolla*

Sebanyak 1,0 kg *Azolla* segar dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 70°C. *Azolla* digiling hingga menjadi bubuk, lalu dilarutkan dalam 2,0 L air suling dan disimpan selama 72 jam untuk diekstraksi. Untuk menyiapkan ekstrak *Azolla*, sebanyak 1,0 kg bubuk *Azolla* kering direbus dalam 2,0 L air deionisasi selama 30 menit dan didinginkan. Untuk menghilangkan partikel besar dan kuman, *Azolla* disaring menggunakan filter mikrofiber kaca (934H, Whatman, USA). Kemudian setiap larutan diencerkan hingga 4,0 L menggunakan air deionisasi dan disimpan dalam lemari es pada suhu 4°C, yang diambil sebagai konsentrasi 100% dari masing-masing larutan.

- Kultur *Spirulina sp.*

Kultur *Spirulina sp.* dilakukan di *green house* yang beratapkan plastik UV (Gambar 3). Sumber penyinaran pada siang hari berasal dari cahaya matahari langsung, sedangkan pada malam hari berasal dari lampu TL 40 watt. Sebanyak sembilan unit akuarium yang telah diisi air laut kemudian diberi perlakuan pemupukan, masing-masing dengan dosis sebesar 1 mL per liter media kultur. Bibit *Spirulina sp.* kemudian diinokulasikan ke dalam masing-masing media kultur. Proses kultivasi *Spirulina sp.* dilakukan selama enam hari.



Gambar 3. Kultur *Spirulina sp.* semi massal di akuarium

b. Pengamatan Pertumbuhan *Spirulina sp.*

Pengamatan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* dilakukan mulai hari ke-1 sampai hari ke-6. Pertumbuhan *Spirulina sp.* dilakukan dengan menghitung sel sebagai unit atau filamen. Perhitungan jumlah sel *Spirulina sp.* menggunakan *haemocytometer*. Sedangkan penghitungan laju pertumbuhan harian *Spirulina sp.* menggunakan (1) (Vonshak, 1997).

$$\mu = (\ln N_t - \ln N_0)/t \quad (1)$$

Keterangan:

μ = Laju pertumbuhan harian (sel/ml/hari)

N_t = Kepadatan sel akhir (sel/ml)

N_0 = Kepadatan sel awal (sel/ml)

t = Selang waktu dari N_0 ke N_t (hari)

c. Pengamatan Kualitas Air

Pengamatan kualitas air pada masing-masing media kultur *Spirulina sp.* dilakukan setiap hari. Parameter kualitas air yang diamati meliputi temperature, pH, dan *Dissolve Oxygen* (DO).

d. Analisis data

Data laju pertumbuhan harian sel *Spirulina sp.* dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Sedangkan pola pertumbuhan sel dan kualitas air media kultur *Spirulina sp.* dianalisis secara deskriptif kualitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh data pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp.* masing-masing perlakuan. Data pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp.* yang dikultur selama 6 hari disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Pertumbuhan Kepadatan Sel *Spirulina sp.* Masing-Masing Perlakuan

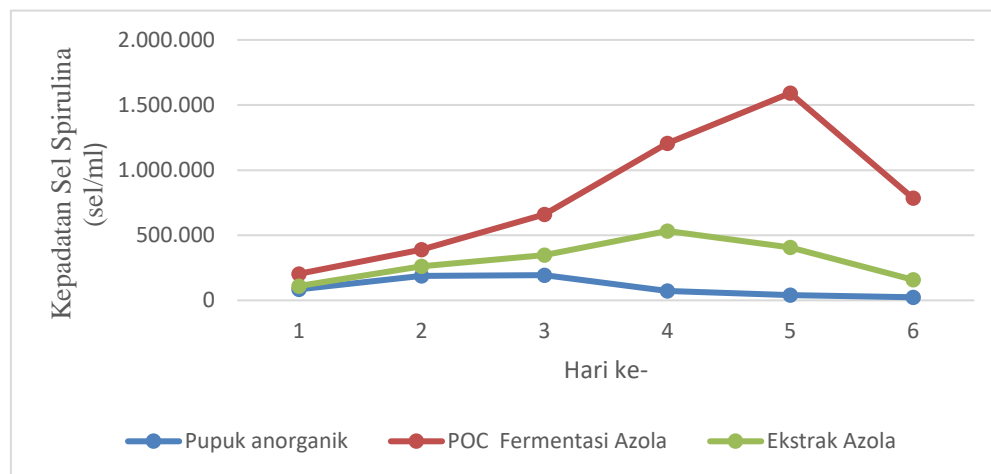
Perlakuan	Kepadatan Sel <i>Spirulina</i> (sel/ml)					
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6
Pupuk anorganik (kontrol)	84.076	186.518	193.694	71.146	39.023	23.906
POC Fermentasi <i>Azolla</i>	203.503	388.853	660.297	1.205.095	1.591.411	784.224
Ekstrak <i>Azolla</i>	110.191	261.577	346.709	532.696	407.133	158.386

Berdasarkan data Tabel 1 terlihat bahwa pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp.* berbeda-beda. Kepadatan sel *Spirulina sp.* pada media yang diberi pupuk anorganik menunjukkan peningkatan sampai hari ke-3, namun menurun pada hari ke-4. Hasil pengamatan kepadatan sel *Spirulina sp.* pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi *Azolla* juga menunjukkan peningkatan kepadatan selnya, namun peningkatan kepadatan sel *Spirulina sp.* terjadi hingga hari ke-5, setelah itu menurun pada hari ke-6. Begitu pula hasil pengamatan kepadatan sel *Spirulina sp.* pada media yang diperkaya dengan ekstrak *Azolla* juga menunjukkan peningkatan, namun hanya sampai hari ke-4, lalu menurun pada hari ke-5 dan ke-6. Dilihat dari jumlah kepadatan sel *Spirulina sp.* secara keseluruhan, baik pada pengamatan hari ke-1 hingga hari ke-6, media yang diperkaya dengan POC fermentasi *Azolla* menunjukkan jumlah yang paling tinggi, diikuti pada media yang diperkaya dengan ekstrak *Azolla*, dan kepadatan sel paling rendah pada media yang diberi pupuk anorganik.

Perbedaan pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp.* masing-masing perlakuan disebabkan oleh perbedaan kandungan nutrisi media kulturnya (Gambar 4). Selain itu, pola pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp.* masing-masing perlakuan juga berbeda. Penggunaan pupuk anorganik hanya mampu menumbuhkan sel *Spirulina sp.* hingga hari ke-3, sedangkan penggunaan ekstrak *Azolla* dan POC fermentasi *Azolla* mampu meningkatkan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* masing-masing sampai hari ke-4 dan ke-5.

Gambar 4 menunjukkan bahwa kepadatan sel *Spirulina sp.* pada setiap perlakuan mengalami perubahan yang signifikan setelah enam hari kultur. Perbedaan utama antar perlakuan terletak pada waktu pencapaian kepadatan sel maksimum. Pada media yang diberi pupuk anorganik, puncak kepadatan sel tercapai pada hari ke-3, sedangkan pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi dan ekstrak *Azolla* masing-masing terjadi pada hari ke-5 dan ke-4. Pada perlakuan dengan POC fermentasi *Azolla*, terjadi

peningkatan kepadatan sel yang sangat signifikan dari hari ke-1 hingga hari ke-5, dengan puncak kepadatan tertinggi tercatat pada hari ke-5 sebesar 1.591.411 sel/mL. Meskipun menurun pada hari ke-6, nilai kepadatan sel masih jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Sementara itu, perlakuan dengan ekstrak *Azolla* menunjukkan pola peningkatan yang moderat hingga hari ke-4, dengan puncak kepadatan sebesar 532.696 sel/mL, kemudian menurun pada hari ke-5 dan hari ke-6.



Gambar 4. Pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp* pada berbagai media kultur

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa pola pertumbuhan kepadatan sel *Spirulina sp.* masing-masing perlakuan hampir sama, yaitu mengalami fase lag, eksponensial, stasioner, dan fase kematian. Namun yang membedakan antar perlakuan tersebut adalah waktu mencapai puncak kepadatan sel *Spirulina sp.* tidak sama.

Fase lag merupakan fase dimana *Spirulina sp.* mulai beradaptasi dengan kondisi media kultur yang baru. Fase lag pada masing-masing perlakuan tersebut relative sama. Pada fase ini ditandai dengan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* yang masih lambat yang berlangsung pada hari pertama. Kemampuan beradaptasi dengan media kultur yang baru mengindikasikan bahwa *Spirulina sp.* mampu memanfaatkan nutrient pada media kultur untuk perkembangbiakan sel-selnya (Leksono *et al.*, 2017).

Fase pertumbuhan sel *Spirulina sp.* selanjutnya adalah fase eksponensial, yang ditandai dengan peningkatan kepadatan sel yang cepat. Peningkatan kepadatan sel ini menunjukkan kemampuan *Spirulina sp.* dalam memanfaatkan nutrien yang tersedia secara efektif (Febryana *et al.*, 2018). Waktu mencapai puncak kepadatan sel *Spirulina sp.* pada setiap perlakuan berbeda. Pada media yang diberi pupuk anorganik, puncak populasi tercapai pada hari ke-3, sedangkan pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi dan ekstrak *Azolla* masing-masing pada hari ke-5 dan ke-4. Perbedaan waktu mencapai puncak populasi ini disebabkan oleh perbedaan kandungan nutrien dalam media kultur. Pupuk anorganik yang digunakan pada perlakuan P1 terdiri dari Urea, Za, TSP, dan NPK, yang diduga kurang lengkap dan kurang optimal dimanfaatkan oleh *Spirulina sp.* Bahkan penggunaan pupuk anorganik berlebih dapat mencemari dan membahayakan organisme di perairan (Leksono *et al.*, 2017), yang terlihat dari pertumbuhan kepadatan dan waktu mencapai puncak populasi sel *Spirulina sp.* pada media yang diberi pupuk anorganik. Sebaliknya, penggunaan *Azolla* dalam media kultur, baik dalam bentuk pupuk organik cair maupun ekstrak, menghasilkan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* yang lebih tinggi dan waktu mencapai puncak populasi yang lebih lama. Media POC fermentasi *Azolla* menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh *Spirulina sp.*, sementara ekstrak *Azolla* memberikan

tambahan mineral seperti Ca, Sn, dan Fe (Mofiz *et al.*, 2024). *Azolla pinnata* mengandung nutrient yang terdiri dari N (1,96-5,30%), P (0,16-1,59%), Si (0,16-3,35%), Ca (0,31-5,97%), Fe (0,04-0,59%), Mg (0,22-0,66%), Zn (26-989 ppm), dan Mn (66-2944 ppm) (Ginting *et al.*, 2022). Kandungan nutrient tinggi dan lengkap pada *Azolla* diduga menyebabkan terjadinya peningkatan pertumbuhan dan waktu mencapai puncak populasi sel *Spirulina sp.*, Namun penggunaan pupuk organik cair fermentasi lebih baik dibandingkan ekstrak *Azolla*. Hal ini disebabkan karena nutrient yang terdapat pada media fermentasi *Azolla* lebih mudah diserap dan dimanfaatkan oleh *Spirulina sp.* untuk perkembangbiakan sel-selnya dibandingkan dengan ekstrak *Azolla*.

Setelah fase eksponensial, pertumbuhan sel *Spirulina sp.* memasuki fase stasioner, di mana jumlah kematian dan pertumbuhan sel seimbang, sehingga kepadatan populasi *Spirulina sp.* tidak berubah secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa jika nutrisi dalam media tidak mencukupi, sel akan memasuki fase kematian. Pada fase stasioner, kepadatan sel *Spirulina sp.* mencapai puncak populasi karena ketersediaan nutrisi dalam media kultur mulai berkurang (Cahaya *et al.*, 2020). Kepadatan sel *Spirulina sp.* pada media yang diberi pupuk anorganik mulai menurun pada hari ke-4, sementara pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi *Azolla* penurunan terjadi pada hari ke-6, dan pada media yang diperkaya dengan ekstrak *Azolla* pada hari ke-5.

Fase kematian pada masing-masing perlakuan berlangsung tidak bersamaan. Pada media yang diberi pupuk anorganik terjadi pada hari ke-4, sedangkan pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi dan ekstrak *Azolla* terjadi pada hari ke-6 dan ke-5. Fase kematian ditandai dengan penurunan kepadatan sel *Spirulina sp.* secara nyata. Penurunan ini disebabkan oleh persaingan antar sel dalam memanfaatkan nutrisi yang tersedia di media kultur, sehingga ketersediaan nutrisi menjadi tidak mencukupi. Menurut (Buwono dan Nurhasanah (2018), setelah *Spirulina sp.* mencapai puncak kepadatan, pertumbuhan sel terhenti karena berkurangnya ketersediaan nutrisi dan tidak adanya penambahan nutrisi lagi.

Hasil perhitungan laju pertumbuhan harian sel *Spirulina sp.* masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Laju Pertumbuhan Harian Sel *Spirulina sp.* Masing-Masing Perlakuan

Perlakuan	Laju Pertumbuhan Harian Sel <i>Spirulina sp.</i> (sel/ml/hari)					
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6
Pupuk anorganik (kontrol)	0,339	0,797	0,418	-0,056	-0,192	-0,251
POC Fermentasi <i>Azolla</i>	0,323	0,548	0,588	0,595	0,514	0,270
Ekstrak <i>Azolla</i>	0,309	0,565	0,574	0,526	0,327	0,073

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa laju pertumbuhan harian sel *Spirulina sp.* bervariasi antar perlakuan. Variasi ini disebabkan oleh perbedaan ketersediaan nutrisi dalam media kultur dan kemampuan *Spirulina sp.* dalam menyerap dan memanfaatkan nutrisi tersebut. Media yang diperkaya dengan POC fermentasi *Azolla* mampu menghasilkan pertumbuhan *Spirulina sp.* yang paling optimal serta mempertahankan durasi pertumbuhannya lebih lama. Pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi *Azolla*, laju pertumbuhan harian meningkat secara konsisten dari hari ke-1 hingga ke-4, kemudian mulai menurun pada hari ke-5 dan ke-6. Sementara itu, pada media yang diperkaya dengan ekstrak *Azolla*, peningkatan laju pertumbuhan terjadi dari hari ke-1 hingga ke-3, dan mulai menurun pada hari ke-4 hingga ke-6, namun tidak sampai mengalami pertumbuhan negative. Sedangkan laju pertumbuhan harian pada media yang

diberi pupuk anorganik meningkat pada hari ke-1 dan ke-2, namun mulai menurun pada hari ke-3 dan mengalami pertumbuhan negatif dari hari ke-4 hingga ke-6. Berdasarkan pola tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan nutrisi pada media yang diperkaya dengan POC fermentasi dan ekstrak *Azolla* masih dapat dimanfaatkan oleh *Spirulina sp.* dalam waktu yang relatif lebih lama untuk mendukung pertumbuhan. Sebaliknya, pada media yang diberi pupuk anorganik, ketersediaan nutrisi tampaknya hanya mencukupi hingga hari ke-3, yang ditunjukkan oleh penurunan pertumbuhan secara signifikan hingga mencapai nilai negatif pada hari-hari berikutnya.

Secara keseluruhan, penggunaan POC fermentasi dan ekstrak *Azolla* dapat meningkatkan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* yang optimal. Sedangkan dilihat dari pertumbuhan kepadatan sel dan waktu mencapai puncak populasi *Spirulina sp.*, penggunaan POC fermentasi *Azolla* memberikan hasil yang paling baik.

Hasil pengamatan parameter kualitas air masing-masing perlakuan selama penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Parameter Kualitas Air Masing-Masing Perlakuan

Perlakuan	Parameter Kualitas Air		
	Temperatur (°C)	pH	DO (ppm)
Pupuk anorganik (kontrol)	27,5 – 30,0	7,5 – 8,8	6,5 – 9,3
POC Fermentasi <i>Azolla</i>	27,7 – 30,1	7,4 – 8,6	7,3 – 8,1
Ekstrak <i>Azolla</i>	27,6 – 30,4	7,5 – 8,9	7,5 – 8,8

Hasil pengukuran parameter kualitas air pada masing-masing perlakuan menunjukkan bahwa temperature air berkisar antara 27,5 – 30,4 °C, pH antara 7,4 – 8,9, dan DO antara 6,5 – 9,3 ppm. Kondisi kualitas air dalam media kultur *Spirulina sp.* ini layak untuk kehidupan dan perkembangbiakan sel *Spirulina sp.* *Spirulina sp.* dapat tumbuh optimum pada suhu antara 18 - 40°C, pH antara 7,2 – 9,5 dan kadar oksigen terlarut >5 (Hulu *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan POC hasil fermentasi dan ekstrak *Azolla* mampu meningkatkan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* secara optimal. Pola pertumbuhan sel *Spirulina sp.* menunjukkan pola yang sama, namun waktu mencapai puncak populasinya berbeda. Penggunaan POC fermentasi *Azolla* menghasilkan pertumbuhan sel *Spirulina sp.* yang paling baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Purwokerto yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui kontrak Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Fundamental II Nomor: A.11-III/7162-S.Pj./LPPM/II/2024, tanggal 15 Februari 2024.

DAFTAR PUSTAKA

Akbarnezhad, M. *et al.* (2020) 'Effects of microelements (Fe, Cu, Zn) on growth and pigment contents of *Arthrospira (Spirulina) platensis*', *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(2), pp. 653–668. Available at: <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.120614>.

- Anvar, A.A. and Nowruzi, B. (2021) 'Bioactive Properties of Spirulina: A Review', *Microbial Bioactives*, 4(1), pp. 134–142. Available at: <https://doi.org/10.25163/microbbioacts.412117b0719110521>.
- Buwono, N.R. and Nurhasanah, R.Q. (2018) 'Studi Pertumbuhan Populasi Spirulina sp. pada Skala Kultur yang Berbeda
<i>[Study of Spirulina sp. Population Growth in The Different Culture Scale]</i>', *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 10(1), p. 26. Available at: <https://doi.org/10.20473/jipk.v10i1.8516>.
- Cahaya, N., Waspodo, S. and Setyono, B.D.H. (2020) 'ANALISIS PERTUMBUHAN Spirulina sp. DENGAN KOMBINASI PUPUK YANG BERBEDA', *Jurnal Perikanan Unram*, 10(2), pp. 123–133. Available at: <https://doi.org/10.29303/jp.v10i2.185>.
- Caturwati, L.N. and Setyati, R.H. (2020) 'Optimisation of Spirulina sp. Growth in Walne Media with Variation of Urea and NaHCO₃ Supplements', *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 5(1), pp. 53–58. Available at: <https://doi.org/10.22146/jtbb.53635>.
- El-Sheekh, M.M., Hassan, L.H.S. and Morsi, H.H. (2021) 'Growth enhancement of spirulina platensis through optimization of media and nitrogen sources', *Egyptian Journal of Botany*, 61(1), pp. 61–69. Available at: <https://doi.org/10.21608/ejbo.2020.27927.1487>.
- Febryana, N.E. *et al.* (2018) 'Kepadatan Sel Fitoplankton Chaetoceros calstrans dan Navicula sp sebagai Pakan Sea Urchin pada Skala Laboratorium 1)', *Prosiding Seminar Nasional SIMBIOSIS III*, (September), pp. 302–310.
- Ginting, A.N., Hasan, U. and Siswoyo, B.H. (2022) 'PEMANFAATAN KOTORAN BURUNG PUYUH DAN PUPUK ORGANIK CAIR HASIL FERMENTASI Azolla pinnata TERHADAP POPULASI SERTA KEPADATAN SEL Spirulina sp', *Jurnal Aquaculture Indonesia*, 1(2), pp. 120–130. Available at: <https://doi.org/10.46576/jai.v1i2.2047>.
- Hulu, F.I., Siswoyo, B.H. and Syafitri, E. (2023) 'PEMANFAATAN KOTORAN BURUNG PUYUH DAN PUPUK ORGANIK GUANO TERHADAP POPULASI SERTA KEPADATAN SEL Spirulina sp', *Jurnal Aquaculture Indonesia*, 3(1), pp. 52–63. Available at: <https://doi.org/10.46576/jai.v3i1.3657>.
- Imran, A. *et al.* (2020) *Efficacy of micro algae as a nutraceutical and sustainable food supplement*.
- Leksono, A.W., Mutiara, D. and Indah Anggraini Yusanti (2017) 'Organic Liquid Fertilizer Use of Azolla pinnata Fermentation Results With Different Doses of Cell Density Spirulina sp (Penggunaan Pupuk Organik Cair Hasil Fermentasi dari Azolla pinnata Terhadap Kepadatan Sel Spirulina sp.)', *Jurnal Ilmu-Ilmu ...*, 12(1), pp. 56–65. Available at: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/ikan/article/view/1414>.
- Lim, H.R. *et al.* (2021) 'Perspective of Spirulina culture with wastewater into a sustainable circular bioeconomy', *Environmental Pollution*, 284(May), p. 117492. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117492>.
- Mofiz, M.S.B. *et al.* (2024) 'Water Fern Azolla pinnata Extract as a Novel Organic Nutrient Source for the Cultivation of Spirulina Spirulina platensis', *Aquaculture Studies*, 24(3). Available at: <https://doi.org/10.4194/AQUAST1419>.
- Prasetyo, B.F. (2021) 'Uji Aktivitas Antioksidan dan Daya Hambat Enzim Tirosinase Ekstrak Etanol Azolla filiculoides Lam.', *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 8(1), p. 53. Available at: <https://doi.org/10.25077/jsfk.8.1.53-59.2021>.

-
- Sedjati, S. *et al.* (2022) 'Bioenkapsulasi Naupli Artemia dengan Spirulina sp. dan Resistensinya terhadap Bakteri *Vibrio* spp.', *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1), pp. 79–86. Available at: <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i1.12763>.
- Sirait, P.S., Setyaningsih, I. and Tarman, K. (2019) 'Anticancer Activity of Spirulina Cultivated in Walne and Organic Media', *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(1), p. 50. Available at: <https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i1.25876>.
- Soni, R.A., Sudhakar, K. and Rana, R.S. (2019) 'Comparative study on the growth performance of Spirulina platensis on modifying culture media', *Energy Reports*, 5, pp. 327–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.02.009>.
- Sopandi, T., Rohmah, S. and Agustina, S.A.T. (2020) 'Biomass and nutrient composition of Spirulina platensis grown in goat manure media', *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 8(2), pp. 158–167. Available at: <https://doi.org/10.35495/ajab.2019.06.274>.
- Suyanto, E., Saifur Rahman, Y. and Murwantoko, M. (2019) 'Pengaruh Bioenkapsulasi Artemia salina Terhadap Tingkat Kelangsungan Hidup Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)', *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 7(2), pp. 77–81. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2019.007.02.5>.
- Suyoso, A.L.A. *et al.* (2022) 'Evaluation of the culture of Spirulina sp. with Walne nutrient plus vitamin B12, KCl, NPK, ZA CaO and urea', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1036(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012026>.
- Vonshak, A. (1997) *Spirulina Platensis Arthrospira*. 1st edn. London: CRC Press.