

BAB V. SPIRULINA SEBAGAI SUPER FOOD

**Andin Vita Amalia^{1*)}, Amnan Haris¹⁾, Falasifah²⁾,
Abdul Jabbar¹⁾, Rifa'atunnisa¹⁾, Erna Noor Savitri¹⁾**

¹⁾Jurusan IPA Terpadu, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Kota
Semarang, Indonesia

²⁾PT Alga Bioteknologi Indonesia, Semarang City, Indonesia

Corresponding Author: *andinvita@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.142>

ABSTRAK

Penggunaan spirulina sebagai sumber pangan baru terbaru digadang-gadang menjadi solusi yang inovatif, ekonomis dan berkelanjutan. Namun demikian, belum ditemukan formula kultur spirulina yang dapat meningkatkan laju pertumbuhan spesifik dan hasil panen biomassa untuk menekan biaya produksi dan energi listrik yang dibutuhkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pertumbuhan dan produksi biomassa setelah diberi perlakuan variasi hormon pertumbuhan. Tahapan penelitian diantaranya kultur mikroalga dan analisis yang meliputi analisis laju pertumbuhan spesifik, waktu penggandaan dan produktivitas biomassa. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pengambilan data secara kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hormon auksin dan stikonin mampu memacu pertumbuhan spirulina, namun menurunkan kandungan proteinnya.

Kata kunci: Biomass, Protein, Spirulina platenses

PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi tantangan berat untuk memastikan kecukupan gizi bagi anak-anak dan perempuan (Soni *et al.*, 2019). Perubahan musim yang sulit diprediksi dan minimnya pengetahuan petani terkait mitigasi perubahan cuaca menyebabkan banjir atau kemarau panjang yang tidak tertangani

dengan baik. Akibatnya kasus kegagalan panen masih sering terjadi. Hal ini diperparah dengan adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) seperti hama, gulma dan penyakit tanaman (Heong *et al.*, 2021). Seperti yang terjadi pada Bulan Februari 2022 di beberapa kabupaten di Jawa Tengah seperti Pati, Kudus, Grobogan, Tegal dan Klaten. Maka dari itu, diperlukan alternatif solusi pangan bergizi tinggi yang dapat disediakan dalam waktu singkat dan harganya terjangkau (F. Jung *et al.*, 2019).

KONDISI UMUM

Ekosistem perairan bisa dijumpai mulai dari sumber mata air sampai dengan laut. Berdasarkan salinitasnya, perairan dapat dibedakan menjadi air tawar, payau dan asin (Astuti, Jamali and Amin, 2007). Air tawar bisa ditemukan mulai dari sumber mata air sampai muara sungai. Biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, irigasi dan industri. Air payau banyak ditemukan di daerah muara. Biasanya digunakan untuk budidaya seperti bandeng. Air asin terdapat di lautan lepas atau samudra. Salah satu makhluk hidup yang bisa ditemukan di seluruh ekosistem perairan adalah mikroalga. Mikroalga memegang peranan penting yakni sebagai produsen (Sjollema *et al.*, 2016). Selain itu, berbagai penelitian membuktikan bahwa mikroalga juga berpotensi sebagai organisme yang mereduksi limbah (reduksen). Hal ini karena mikroalga mampu menyerap zat-zat kimia yang terkandung dalam limbah sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya (Christenson and Sims, 2011). Salah satu jenis mikroalga adalah *Spirulina* yang sering digunakan dalam industri makanan, kosmetik dan obat (Jung *et al.*, 2019).

Kultur *Spirulina* bisa dilakukan pada ekosistem perairan (Borowitzka, 2018). Selama kultivasi, kondisi lingkungannya harus selalu dijaga supaya tidak melampaui faktor pembatas tumbuh, yang meliputi intensitas cahaya, temperatur, nutrien, oksigen terlarut, karbon dioksida, pH, salinitas, dan pengadukan (Hadiyanto dan Azim, 2012). Faktor tersebut bisa dimanipulasi untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas dari *Spirulina* yang dikultur. Salah satu faktor yang berpengaruh adalah salinitas.

Salinitas akan mempengaruhi osmoregulasi yang berdampak pada aktivitas fotosintesis, hingga akhirnya mempengaruhi kadar biomassa yang dihasilkan (Widianingsih *et al.*, 2015).

MIKROALGA

Mikroalga merupakan sejenis makhluk hidup bersel satu (uniseluler) yang tinggal di air, mulai air tawar sampai air laut. Mikroalga tidak mempunyai akar, batang dan daun. Namun mempunyai pigmen klorofil (hijau), fikosantin (coklat), fikoeritrin (merah), fikosianin (biru) dan karotenoid (oranye). Mikroalga dikenal juga dengan istilah fitoplankton karena mempunyai kemiripan dengan tumbuhan tingkat tinggi. Kemiripan tersebut adalah kemampuan mikroalga untuk berfotosintesis (autotrof), sehingga mikroalga berperan sebagai produsen dalam jaring-jaring makanan di lingkungan perairan. Karena kemampuannya tersebut, mikroalga banyak dimanfaatkan sebagai biofuel, pangan dan biomaterial (Christi, 2007 dalam Hadiyanto and Azim, 2012).

Mikroalga mampu mengubah energi cahaya dan karbon dioksida (CO₂) menjadi oksigen dan biomassa seperti karbohidrat dan lipid. Mikroalga mempunyai kemampuan mengubah energi matahari dan karbon dioksida (CO₂) menjadi biomassa secara lebih efisien dibandingkan tumbuhan tingkat tinggi karena memiliki struktur seluler yang lebih sederhana. Salah satu sumber karbon bisa diperoleh dari styrofoam. Kemampuan mikroalga untuk mengurangi karbondioksida, menjadikannya sebagai solusi pencegahan pemanasan global (Harun *et al.*, 2010).

Mikroalga membutuhkan nutrisi untuk mendukung pertumbuhannya. Nutrisi ini terdiri dari komponen makronutrien dan mikronutrien. Komponen makronutrien adalah nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah besar, contohnya yaitu karbon (C), Nitrogen (N), dan Fosfor (P). Selain itu, Hidrogen (H) dan Oksigen (O) juga penting untuk pertumbuhan mikroalga. Sedangkan komponen mikronutrien adalah nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun berkelanjutan, contohnya yaitu Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Kalium (K), Besi (Fe), Mangan (Mn), Belerang (S), Seng (Zn), Tembaga (Cu) dan Kobalt (Co). Selain itu,

faktor lingkungan seperti pH, salinitas, temperatur dan intensitas cahaya juga turut mendukung pertumbuhan mikroalga (Raja *et al.*, 2014). Mikroalga memiliki jenis yang beragam. Menurut Hadiyanto and Azim (2012), jumlah mikroalga di alam diperkirakan mencapai 800.000 jenis. Namun jumlah yang teridentifikasi baru sekitar 35.000 dan baru beberapa jenis yang dikultivasi dalam skala besar. Salah satu jenis mikroalga yang banyak dikultivasi adalah *Spirulina*.

SPIRULINA

Menurut Gomon (1892) dalam Guiry (2016), klasifikasi dari *Spirulina* adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Eubacteria
Filum	: Cyanobacteria
Kelas	: Cyanophyceae
Ordo	: Oscillatoriales
Famili	: Microcoleaceae
Genus	: <i>Arthrospira</i>
Spesies	: <i>Arthrospira platensis</i>



Gambar 5.1. *Arthrospira platensis* (Hadiyanto dan Azim, 2012)

Spirulina berwarna hijau kebiruan, mempunyai bentuk

tubuh benang (*filament*) berpilin menyerupai spiral (*helix*), tidak bercabang, berukuran 1-12 mikrometer, biasanya hidup berkoloni. Aktif bergerak (*motil*) dengan merotasikan tubuhnya. Habitatnya di air tawar, biasanya di perairan yang belum tercemar (Hariyati, 2008). Beberapa spesies menyukai mata air panas, sulfur, perairan payau dan pesisir laut. *Spirulina* berkembang biak secara vegetatif yaitu dengan cara fragmentasi atau membelah diri secara bersilangan, tegak lurus terhadap sumbu trikoma (Guiry, 2016).

Spirulina sudah banyak digunakan sebagai pakan alami / protein sel tunggal karena mengandung nutrisi yang tinggi. Kandungan protein pada *Spirulina* adalah 60-70%. Kandungan proteinnya bahkan lebih tinggi dari daging, ikan, telur dan kedelai (Hadiyanto dan Azim, 2012), sedangkan kandungan lemaknya cukup rendah 1,5-12%. Selain digunakan sebagai pakan alami, *Spirulina* juga banyak digunakan sebagai bahan kosmetik, obat-obatan dan pewarna alami (Buwono and Nurhasanah, 2018).

Manfaat *Spirulina* yang sangat beragam menjadikannya sangat berpotensi untuk dikembangkan. Menurut Hutabarat dan Herawati (2014), tujuan kultur mikroalga adalah untuk mendapatkan stok yang melimpah dengan kandungan nutrisi yang optimal. Kultur mikroalga dapat dilakukan dalam tahap skala laboratorium, semi massal dan skala komersial. Kultur skala laboratorium dilakukan untuk pembibitan, sehingga harus steril. Selain itu faktor lingkungan seperti pH, temperatur, intensitas cahaya dan nutrien dijaga tetap stabil. Skala semi massal dilakukan untuk mempersiapkan kultur mikroalga secara komersial. Kultur komersial dilakukan untuk meningkatkan biomassa. sehingga diharapkan mendapatkan panen *Spirulina* lebih besar. Waktu pemanenan juga harus menunggu puncak pertumbuhan populasi, sehingga biomassa yang dipanen bisa optimal (Hadiyanto dan Azim, 2012).

FAKTOR PEMBATAS TUMBUH MIKROALGA

Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh banyak faktor. Menurut (Hadiyanto dan Azim, 2012), faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga meliputi intensitas

cahaya, temperatur, nutrien, aerasi dan oksigen terlarut, pH, salinitas dan pengadukan. Faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap jumlah biomassa dan produk yang dihasilkan.

E.1. Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga karena berperan dalam fotosintesis. Intensitas cahaya sangat menentukan pertumbuhan mikroalga jika dilihat dari durasi penyinaran dan panjang gelombang yang digunakan. Menurut Belay (2013), aktivitas fotosintesis akan meningkat seiring meningkatnya intensitas cahaya yang digunakan. Kebutuhan cahaya juga sangat tergantung pada kedalaman dan kepadatannya. Sumber energi yang didapat dari cahaya akan digunakan mikroalga untuk menghasilkan karbon organik sehingga menentukan kadar biomassa. Intensitas cahaya 1000 lux merupakan intensitas cahaya optimum untuk pertumbuhan mikroalga di dalam Erlenmeyer, sedangkan intensitas cahaya 5000-10000 lux optimum untuk volume kultur yang lebih besar. Selain itu, pencahayaan yang cukup juga berperan menjaga temperatur media supaya tetap berada pada kisaran optimum pertumbuhan mikroalga, terutama pada malam hari

E.2. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga. Perubahan temperatur berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi. Perubahan temperatur juga berpengaruh pada tingkat kelarutan suatu bahan, mempengaruhi kecepatan metabolisme dan respirasi mikroalga. Temperatur yang dibutuhkan oleh sebagian besar mikroalga adalah pada kisaran 15-40 °C. Sedangkan temperatur optimum untuk pertumbuhannya yaitu pada 24-26 °C. Temperatur optimum mampu meningkatkan *growth rate* mikroalga. Temperatur di bawah 16 °C menyebabkan pertumbuhan mikroalga turun, sedangkan temperatur di atas 35°C menyebabkan kematian atau lisis (pecah) pada jenis tertentu.

E.3. Nutrien

Nutrien dibutuhkan oleh mikroalga untuk mendukung pertumbuhannya. Kebutuhan nutrien juga ditentukan oleh habitat mikroalga: air tawar, payau, air laut. Nutrien yang dibutuhkan terdiri dari makronutrien dan mikronutrien. Unsur makronutrien antara lain C, H, N, P, K, S, Mg, dan Ca. Makronutrien digunakan untuk pertumbuhan sel dan metabolisme. Mikronutrien yang dibutuhkan antara lain Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn, dan Si. Mikronutrien dibutuhkan dalam jumlah sedikit, namun fungsinya tidak bisa digantikan oleh unsur lain.

Unsur nitrogen (N) dan fosfor (P) merupakan nutrient penting yang dibutuhkan mikroalga untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Unsur-unsur tersebut ada dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}). Nitrat adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di dalam perairan. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Fosfat seringkali dijumpai dalam bentuk terikat dengan unsur lain, terdapat pada batu karang atau endapan di dasar lautan.

E.4. Aerasi dan Oksigen Terlarut

Aerasi pada saat kultivasi bertujuan agar tidak terjadi pengendapan sehingga semua sel mikroalga memperoleh cahaya, udara dan nutrisi yang sama. Aerasi mengandung karbon dalam bentuk karbon dioksida (CO_2) yang digunakan untuk berfotosintesis. CO_2 yang masuk ke media kultur akan berubah bentuk menjadi asam karbonat (HCO_3). Gas CO_2 dalam air dipengaruhi oleh derajat keasaman (pH) air. Derajat keasaman (pH) yang optimum untuk melarutkan CO_2 adalah pada kisaran 6,5 – 9,5. Kisaran pH di bawahnya akan menyebabkan CO_2 mudah lepas ke atmosfer sehingga tidak dapat diserap oleh mikroalga. Sebaliknya pH yang berada di atas kisaran tersebut akan menyebabkan CO_2 menjadi bikarbonat (HCO_3^-) sehingga tidak dapat diserap oleh mikroalga.

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen-DO*) dibutuhkan oleh

semua jasad hidup untuk bernafas. Proses metabolisme tersebut menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Selain itu, oksigen juga dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Oksigen pada perairan berasal dari proses difusi udara bebas dan hasil fotosintesis dari organisme yang hidup di dalam perairan tersebut. Namun, kadar oksigen yang terlalu tinggi justru menghambat konstanta kecepatan fotosintesis (Christenson and Sims, 2011).

E.5. Derajat Keasaman (pH)

Tingkat derajat keasaman (pH) akan mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan kultur mikroalga yaitu : mengubah keseimbangan karbon anorganik, mengubah ketersediaan nutrisi dan mempengaruhi fisiologi sel. Proses fotosintesis akan menyebabkan penurunan CO₂ terlarut dalam air. Penurunan ini akan diikuti dengan peningkatan pH, sehingga menyebabkan konstanta kecepatan fotosintesis menjadi terbatas.

Belay (2013) menyatakan bahwa mikroalga *Spirulina* mampu tumbuh pada pH 9-10. Pertumbuhan di bawah pH menyebabkan mikroalga membutuhkan lebih banyak energi cahaya tiap sel. Cahaya tersebut tidak seluruhnya digunakan oleh mikroalga sehingga menyebabkan inefisiensi. pH mempengaruhi toksisitas semua senyawa kimia. Variasi pH dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroalga dalam beberapa hal, antara lain : mengubah keseimbangan dari karbon organik, mengubah ketersediaan nutrisi, dan dapat mempengaruhi fisiologi sel.

E.6. Salinitas

Salinitas atau kadar garam merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap tekanan osmotik organisme air yaitu antara protoplasma dengan air. Variasi tekanan osmotik menyebabkan respon adaptasi *Spirulina* yang berbeda-beda dalam mempertahankan hidupnya. Pada penelitian mikroalga, salinitas tinggi yang diberikan pada media bertujuan untuk meningkatkan produksi biomassa dari mikroalga tersebut. Pengenceran dengan

menggunakan air tawar merupakan salah satu metode dalam pengaturan salinitas pada medium yang diperkaya nutrisi. Umumnya *Spirulina* mampu tumbuh pada kadar salinitas 2,5-30 g/L (Belay, 2013).

FASE PERTUMBUHAN MIKROALGA

Menurut Hadiyanto dan Azim (2016), pertumbuhan mikroalga dibagi menjadi beberapa fase yaitu :

F.1. Fase Adaptasi (*Lag Phase*)

Fase adaptasi merupakan fase awal pertumbuhan dimana mikroalga baru melakukan penyesuaian terhadap lingkungan baru. Fase ini dimulai setelah penambahan inokulum ke dalam media kultur hingga beberapa saat sesudahnya. Pada fase ini biasanya mikroalga mengalami tekanan (*stress*) fisiologis karena terjadi perubahan kondisi lingkungan yang cenderung berbeda dari lingkungan sebelumnya. Pada media baru, perlu dilakukan penambahan nutrient untuk mendukung pertumbuhan mikroalga. Hal ini akan memicu metabolisme mikroalga. Pada fase ini, pembelahan sel belum terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat karena mikroalga masih beradaptasi dengan lingkungan barunya.

F.2. Fase Eksponensial (*Log Phase*)

Fase eksponensial merupakan tahap pertumbuhan mikroalga pasca fase adaptasi. Fase ini dimulai dengan pembelahan sel yang meningkat secara intensif, konstanta kecepatan pertumbuhan konstan dan metabolismenya stabil. Jika digambarkan dalam kurva, pertumbuhan mikroalga akan berbentuk eksponensial. Pada fase ini mikroalga akan mengalami penambahan biomassa secara cepat karena didukung oleh ketersediaan nutrient dalam media. Pemanenan mikroalga pada umumnya dilakukan pada akhir fase ini karena struktur sel masih dalam kondisi normal. Nutrien dalam media dan kandungan nutrisi dalam sel mengalami keseimbangan. Kandungan protein dalam sel juga sangat tinggi sehingga sangat optimal untuk dimanfaatkan

baik untuk bibit maupun untuk konsumsi.

F.3. Fase Penurunan Pertumbuhan (*Declining Growth Phase*)

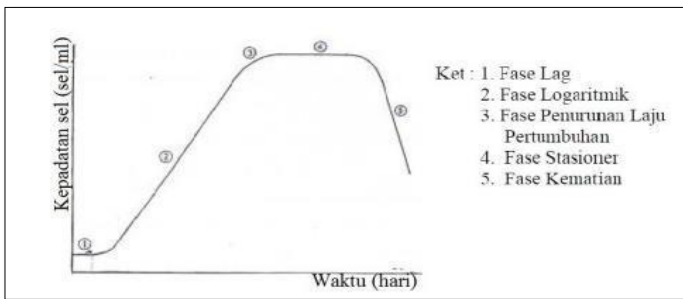
Fase penurunan pertumbuhan ditandai dengan berkurangnya kecepatan pertumbuhan mikroalga. Hal ini disebabkan oleh biomassa mikroalga yang telah mencapai tahap maksimum, sehingga kebutuhan nutrisi menjadi berkurang. Selain itu, jumlah sel mikroalga yang banyak juga menghalangi masuknya cahaya ke media, sehingga akan berpengaruh pada aktivitas fotosintesis. Pada fase ini, pembelahan sel masih terjadi namun tidak seintensif fase eksponensial, sehingga konstanta kecepatan pertumbuhan juga menurun. Faktor lingkungan yang lain seperti cahaya, pH, CO dan O₂ juga mulai membatasi pertumbuhan mikroalga.

F.4. Fase Stasioner (*Stationary Phase*)

Fase stasioner merupakan fase dimana tidak ada lagi pertumbuhan mikroalga. Konstanta kecepatan pertumbuhan menjadi nol. Aktivitas metabolisme menurun dan terjadi akumulasi racun. Kondisi lingkungan mulai terasa jenuh sehingga jumlah sel yang hidup sama dengan sel yang mati.

F.5. Fase Kematian (*Death Phase*)

Fase kematian merupakan fase akhir dari pertumbuhan mikroalga. Pada fase ini kemampuan metabolisme semakin turun sehingga cadangan makanan menjadi berkurang. Akumulasi racun juga semakin banyak, sehingga jumlah sel mikroalga yang mati semakin meningkat. Kepadatan sel menurun dengan cepat karena konstanta kecepatan kematian mikroalga jauh lebih tinggi daripada konstanta kecepatan pertumbuhannya. Sel yang mati bahkan bisa pecah (*lisis*) dan larut ke dalam media. Kondisi lingkungan berubah yang ditandai dengan warna air media kultur yang menjadi semakin pekat, terbentuk buih di permukaan dan terbentuk gumpalan mikroalga yang mengendap di dasar wadah kultur.



Gambar 5.2. Kurva Pertumbuhan Mikroalga

SPIRULINA SEBAGAI SUPER FOOD

Spirulina banyak digunakan sebagai pakan alami / protein sel tunggal karena mengandung nutrisi seperti karbohidrat, protein dan lemak (D. Ebowski *et al.*, 2022). Kandungan protein pada spirulina adalah 60-70%. Kandungan proteinnya bahkan lebih tinggi dari daging, ikan, telur dan kedelai (F. Jung *et al.*, 2019), sedangkan kandungan lemaknya rendah yaitu 1,5-12%. Selain digunakan sebagai pakan alami (Boukid & Castellari, 2023), spirulina juga banyak digunakan sebagai bahan kosmetik, obat-obatan dan pewarna alami (Ragusa *et al.*, 2021).

Manfaat spirulina yang sangat beragam menjadikannya sangat berpotensi untuk dikembangkan. Menurut (Saxena *et al.*, 2022), tujuan kultur mikroalga adalah untuk mendapatkan biomassa yang melimpah dengan kandungan nutrisi yang optimal. Selain itu faktor lingkungan seperti pH, temperatur, intensitas cahaya dan nutrien. Faktor internal seperti gen dan hormon juga sangat berpengaruh. Kultur dilakukan untuk meningkatkan biomassa. Waktu pemanenan juga harus menunggu puncak pertumbuhan populasi, sehingga biomassa yang dipanen bisa optimal (Zhang *et al.*, 2015).

Hormon merupakan zat kimia bukan hara (nutrisi) pada makhluk hidup yang dapat mempengaruhi pertumbuhan walaupun dalam kadar yang sedikit. Hormon berperan penting mengatur metabolisme sel, toleransi terhadap cekaman, meningkatkan efisiensi fotosintesis dan meningkatkan biomassa sel. Beberapa

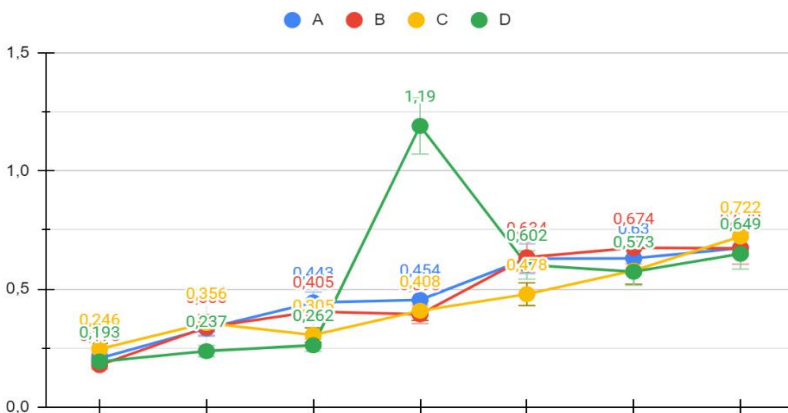
hormon pada tumbuhan dan mikroalga (fitohormon) yang dapat menstimulasi pertumbuhan adalah hormon auksin dan sitokinin. Hormon auksin berfungsi mengatur pembelahan sel. Hormon Sitokinin bersama dengan auksin berfungsi mengatur pertumbuhan dan perkembangan sel. Transportasi hormon pada tumbuhan dan mikroalga tidak harus melalui pembuluh, karena bisa juga melalui sitoplasma atau ruang antarsel (Wang *et al.*, 2022)

Penelitian yang dilaksanakan oleh penulis di Laboratorium Riset PT Alga Bioteknologi Indonesia pada Bulan Juli 2022 menggunakan variable bebas berupa hormon pertumbuhan yaitu hormon auksin dan sitokinin. Variabel terikat meliputi pertumbuhan sel, biomassa dan kandungan protein pada spirulina. Hasil penelitian meliputi kepadatan sel mikroalga Spirulina, kadar protein dan factor lingkungan yang meliputi pH, suhu dan salinitas.

1. Pertumbuhan Spirulina

Pertumbuhan spirulina diukur optical density nya menggunakan spektrofotometer. Optical density menggambarkan kepadatan sel yang diukur melalui kepadatan massanya. Grafik pertumbuhan spirulina tersaji dalam gambar 5.3

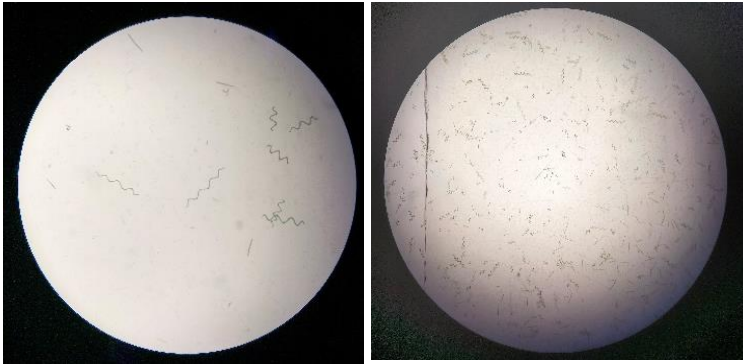
Optical Density Spirulina



Gambar 5.3. Grafik Pertumbuhan Spirulina

Berdasarkan grafik tersebut, pertumbuhan spirulina cenderung naik. Ada 1 kenaikan logaritmik yang terjadi pada

perlakuan D hari ke-4 dimana pertumbuhan spirulina tiba-tiba melonjak naik dan kemudian turun pada hari ke-5. Pertumbuhan ini diduga akibat dari pemberian hormon NAA yang berfungsi untuk menginduksi pembentangan sel. Perbandingan hasil pengamatan spirulina menggunakan mikroskop pada hari pertama dan hari ke empat bisa dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Hasil Pengamatan Menggunakan Mikroskop Perbesaran 400x (Kiri Hari ke-1, Kanan Hari ke-4)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada hari pertama masih jarang, kemudian bertambah banyak pada hari ke-4. Hal ini selaras dengan pengamatan optical density menggunakan spektrofotometer.

2. Kandungan Protein

Kandungan protein pada spirulina bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.1. Kandungan Protein

Nama Sampel	Kandungan Protein
Sampel A	74%
Sampel B	74%
Sampel C	37,5%
Sampel D	60,67%

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan protein menurun pada sampel C dan D. Hal ini karena pengaruh pemberian hormone NAA yang memacu pembelahan sel, namun kurang bisa meningkatkan kandungan protein.

3. Faktor Lingkungan

Kualitas air pada media kultivasi sangat penting untuk mendukung pertumbuhan *Spirulina* sehingga dapat tumbuh dengan baik. Faktor lingkungan merupakan faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga selain nutrisi (Budiman, 2019). Faktor lingkungan dalam penelitian ini meliputi pH, temperatur, dan salinitas yang diamati setiap hari. Tujuannya untuk memantau dan memastikan kultur berada dalam kondisi normal. Hasil pengamatan kualitas air selama penelitian disajikan dalam tabel 5.2.

Tabel 5.2. Faktor Lingkungan

Parameter	Kondisi Lingkungan
pH	9-11
Temperatur (°C)	32-40
Salinitas (ppt)	1-10

Derajat Keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup organisme yang tinggal di lingkungan perairan. Perubahan pH yang drastis dapat mempengaruhi kinerja enzim dan mengacaukan proses fotosintesis (Jung *et al.*, 2019). Pengamatan pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Berdasarkan tabel 5.2, pH media kultur berada pada kisaran 9-11. Angka tersebut masih termasuk batas pH yang dibutuhkan *Spirulina* untuk bisa tumbuh secara optimal.

Menurut Soni, Sudhakar and Rana, (2019), *Spirulina* tumbuh secara optimal pada pH 9 – 10. Untuk mempertahankan kestabilan pH dilakukan aerasi, penjagaan temperatur, pemberian nutrisi yang cukup dan menghindari kontaminasi (Belay, 2013).

Temperatur pada media kultur berkisar antara 32-40 °C. Temperatur tersebut masih memungkinkan *Spirulina* untuk tumbuh. Menurut Belay (2013), temperatur minimum untuk menopang pertumbuhan *Spirulina* adalah 15 – 20 °C, sedangkan menurut Soni, Sudhakar and Rana (2019), temperatur optimum untuk pertumbuhan *Spirulina* adalah 30-40 °C. Temperatur yang optimum dapat meningkatkan metabolisme sel *Spirulina*. Namun temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian sel.

Salinitas pada media kultur awalnya sebesar 5 ppt. Selama 7 hari kultur, salinitas mengalami naik-turun. Menurut (Almahrouqi *et al.*, 2015), *Spirulina* dapat tumbuh optimal pada kadar salinitas 5 -15 ppt. Belay (2013), menambahkan bahwa *Spirulina* tumbuh lebih optimal pada kadar salinitas tinggi, bahkan masih dapat hidup pada air payau yang memiliki kadar salinitas 32 – 65 ppt .

SIMPULAN

Pemberian hormon Auksin dan Sitokinin berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan biomass spirulina, namun menurunkan kandungan proteinnya, sehingga perlu penelitian lebih lanjut. Jumlah biomassa yang melimpah bisa digunakan sebagai bahan masker, pakan ternak, dan pakan ikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kepada LPPM UNNES yang telah memberikan dana Penelitian Dasar tahun 2022 dengan Nomor 114.8.4/UN37/PPK.3.1/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M.A., Othman, M.H.D., Ismail, A.F., & Jaafar, J., 2017. *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy, Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Abidin, Z., Atmadja, S.T., & Arijanto., 2017. Pengujian Alat Pengolah Limbah Plastik Jenis Ps (Polystyrene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 5(2), pp.100–105.
- Almahrouqi, H. A., Naqqiuddin, M.A., Achankunju, J., Omar, H., & Ismail, A., 2015. Different Salinity Effects on the Mass Cultivation of Spirulina (Arthrospira platensis) Under Sheltered Outdoor Conditions in Oman and Malaysia. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 6(1), pp.1–14.
- Astuti, W., Jamali, A., & Amin, M., 2007. Desalinasi Air Payau Menggunakan Surfactant Modified Zeolite (SMZ). *Jurnal Zeolit Indonesia*, 6(1), pp.32–37.
- Belay, A., 2013 *Biology and Industrial Production of Arthrospira (Spirulina)*. Second. Edited by R. Amos, Qiyang Hu. California: Blackwell Publishing Ltd.
- Borowitzka, M.A., 2018. *Biology of Microalgae, Microalgae in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc.
- Budiman, A., 2019. *Mikroalga Kultivasi, Pemanenan, Ekstraksi dan Konversi Energi*. Pertama. Edited by Monica. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Buwono, N.R., & Nurhasanah, R.Q., 2018. Studi Pertumbuhan Populasi Spitulina sp. pada Skala Kultur yang Berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 10(1), pp.26–33.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V.F., 2020. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4).
- Canniff, P.M., & Hoang, T.C., 2018. Microplastic Ingestion by Daphnia Magna and Its Enhancement on Algal Growth. *Science of the Total Environment*, 633, pp.500–507.
- Chandra, M., 2016. *Real Cost of Styrofoam*. St. Louis, Missouri, USA:

Saint Luis University.

- Chentir, I., Hamdi, M., Doumandji, A., HadjSadok, A., Ouada, H.B., Nasri, M., & Jridi, M., 2017. Enhancement of Extracellular Polymeric Substances (EPS) Production in *Spirulina* (*Arthrospira* sp.) by Two-Step Cultivation Process and Partial Characterization of Their Polysaccharidic Moiety. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, pp.1412–1420.
- Christenson, L., & Sims, R., 2011. Production and Harvesting of Microalgae for Wastewater Treatment, Biofuels, and Bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29(6), pp.686–702.
- Fachrul, M.F., & Rinanti, A., 2018. Bioremediasi Pencemar Mikroplastik di Ekosistem Perairan Menggunakan Bakteri Indigenous (Bioremediation of Microplastic Pollutant in Aquatic Ecosystem by Indigenous Bacteria). *Seminar Nasional Kota Berkelanjutan*, 1(1), pp.302.
- Fahrenfeld, N.L., Arbuckle-Keil, G., Beni, N.N., & Bartelt-Hunt, S.L., 2019. Source Tracking Microplastics in the Freshwater Environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 112, pp.248–254.
- Fakhri, M., Antika, P.W., Ekawati, A.W., & Arifin, N.B., 2020. Pertumbuhan, Kandungan Pigmen, dan Protein *Spirulina platensis* yang Dikultur Pada $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Dengan Dosis yang Berbeda. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(1), pp.38–47.
- Farrelly, T.A., & Shaw, I.C., 2017. Polystyrene as Hazardous Household Waste. *Household Hazardous Waste Management*, 2017.
- Guiry, M.D., 2016. *World-wide Electronic Publication*. National University of Ireland, Galway, AlgaeBase.
- Hadiyanto., & Azim, M., 2012. *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. Edisi 1. Semarang: UNDIP Press.
- Hadiyanto., & Azim, M., 2016. *Dasar-Dasar Bioproses*. Pertama. Semarang: EF Press Digimedia.
- Harding, S., 2016. Marine Debris: Understanding, Preventing and Mitigating the Significant Adverse Impacts on Marine and

- Coastal Biodiversity. *CBD Technical Series*, 2016.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., Danquah, M.K., 2010. Bioprocess Engineering of Microalgae to Produce a Variety of Consumer Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), pp.1037–1047.
- Ho, B.T., Roberts, T.K., & Lucas, S., 2018. An Overview on Biodegradation of Polystyrene and Modified Polystyrene: The Microbial Approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), pp.308– 320.
- Hutabarat., & Herawati, V.E.J. 2014. Profil Asam Amino Essensial *Skeletonema costatum* dalam Kultur Massal Menggunakan Media Kultur Teknis yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan - Aquasains*, 53(9), pp.221–226.
- Inkson, B.J., 2016. *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization, Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd.
- Islam, M.T., 2020. *Learning SPSS without Pain: A Comprehensive Manual for Data Analysis and Interpretation of Outputs*. First Edit. Dhaka, Bangladesh: ASA Publications.
- Julinawati., Marlina., Nasution, R., & Sheilatina., 2015. Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural*, 15(2).
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., Küpper, J.-H., 2019. *Spirulina Platensis*, a Super Food?. *Journal of Cellular Biotechnology*, 5, pp.43–54.
- Khoironi, A., & Sudarno, A., 2019. Evaluation of the Interaction Among Micoalgae *Spirulina* sp, Plastics Polyethylene Terephthalate and Polypropylene in Freshwater Environment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(6), pp.161–173.
- Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., & Caruso, A., 2016. Microplastic Interactions with Freshwater Microalgae: Hetero-aggregation and Changes in Plastic Density Appear Strongly Dependent on Polymer Type. *Environmental Pollution*, 215, pp.331–339.
- Li, S., Wang, P., Zhang, C., Zhou, X., Yin, Z., Hu, T., Hu, D., Liu, C., Zhu,

- L., 2020. Influence of Polystyrene Microplastics on the Growth, Photosynthetic Efficiency and Aggregation of Freshwater Microalgae *Chlamydomonas Reinhardtii*. *Science of the Total Environment*, 714, pp.136767.
- Li, Y., Lu, Z., Zheng, H., Wang, J., & Chen, C., 2020. Microplastics in Surface Water and Sediments of Chongming Island in the Yangtze Estuary, China. *Environmental Sciences Europe*, 32(1).
- Mohamed, M.A., Jaafar, J., Ismail, A.F., Othman, M.H.D., & Rahman, M.A., 2017. *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Molugaram, K., & Rao, G.S., 2017. ANOVA (Analysis of Variance). *Statistical Techniques for Transportation Engineering*, pp. 451–462.
- Nakkabi, A., Sadiki, M., Fahim, M., Ittobane, N., IbensoudaKoraichi, S., Barkai, H., El-abed, S., 2015. Biodegradation of Polyester urethanes by *Bacillus subtilis*. *Int. J. Environ. Res.*, 9, pp.157–162.
- Nandiyanto, A.B.D., Oktiani, R., & Ragadhita, R., 2019. How to Read and Interpret Ftir Spectroscope of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), pp.97–118.
- Nur, M.M.A., Swaminathan, M.K., Boelen, P., & Buma, A.G.J., 2019. Sulfated Exopolysaccharide Production and Nutrient Removal by the Marine Diatom *Phaeodactylum tricornutum* Growing on Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Applied Phycology*, 31(4), pp.2335–2348.
- Phelan, A.A., Ross, H., Setianto, N.A., Fielding, K., & Pradipta, L., 2020. Ocean Plastic Crisis—Mental Models of Plastic Pollution from Remote Indonesian Coastal Communities. *PLoS ONE*, 15(7), pp.1–29.
- Prata, J.C., Lavorante, B.R.B.O., Montenegro, M.d-C.B.S.M., Guilhermino, L., 2018. Influence of Microplastics on the Toxicity of the Pharmaceuticals Procainamide and Doxycycline on the Marine Microalgae *Tetraselmis chuii*. *Aquatic Toxicology*, 197, pp.143–152.

- Raja, R., Shanmugam, H., Ganesan, V., & Carvalho, I.S., 2014. Biomass from Microalgae: An Overview. *Journal of Oceanography and Marine Research*, 2(1), pp.1–7.
- Rummel, C.D., Jahnke, A., Gorokhova, E., Kühnel, D., & Jansen, M.S., 2017. Impacts of Biofilm Formation on the Fate and Potential Effects of Microplastic in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology Letters*, 4(7), pp.258–267.
- Sajdak, M.M., 2018. *Optimization Frameworks in Resource Management and Process Engineering, Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications*. Elsevier Inc.
- Salamah, S., & Maryudi, M., 2018. Proses Pirolisis Limbah Styrofoam Menggunakan Katalis Silika-Alumina. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), pp.1–7.
- Sastrohamidjojo, H., 2019. *Dasar-Dasar Spektroskopi*. Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sjollema, S.B., Redondo-Hasselerharm, P., Leslie, H.A., Kraak, M.H.S., Vethaak, A.D., 2016. Do Plastic Particles Affect Microalgal Photosynthesis and Growth?. *Aquatic Toxicology*, 170, pp.259–261.
- Song, Y., Qiu, R., Hu, J., Li, X., Zhang, X., Chen, Y., Wu, W.M., He, D., 2020. Biodegradation and Disintegration of Expanded Polystyrene by Land Snails *Achatina fulica*. *Science of the Total Environment*, 746, pp.141289.
- Soni, R.A., Sudhakar, K., & Rana, R.S., 2019. Comparative Study on the Growth Performance of *Spirulina Platensis* on Modifying Culture Media. *Energy Reports*, 5, pp.327–336.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, & Dimiyati, A., 2015. Studi Scanning Electron Microscopy(SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9, pp.44–50.
- Van den Broek, W.H.A.M., Derks, E.P.P.A., van de Ven, D.E.W., Wienke, P., & Geladi, L.M.C.B., 1996. Polymer Identification Using Mid Infrared Spectroscopy. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 35, pp.187–197.
- Weber, A., Randow, M.V., Voigt, A., Au, M.V.D., Fischer, E.,

- Meermann, B., & Wagner, M., 2021. Ingestion and Toxicity of Microplastics in the Freshwater Gastropod *Lymnaea stagnalis*: No Microplastic-Induced Effects Alone or in Combination with Copper. *Chemosphere*, 263.
- Wibawa, P.J., Nur, M., Asy'ari, M., & Nur, H., 2020. SEM, XRD and FTIR Analyses of Both Ultrasonic and Heat Generated Activated Carbon Black Microstructures. *Heliyon*, 6(3), pp.e03546.
- Widianingsih., Hartati, R., Endrawati, H., & Hilal, M., 2015. Kajian Kadar Total Lipid Dan Kepadatan. *Metana*, 7(1).