

## Optimasi Media Pertumbuhan Alternatif Mikroalga Lokal Air Gambut Kalimantan Tengah dengan Metode *Response Surface Methodology*

*Optimization of Alternative Growth Media for Local Microalgae from Peat Water Ecosystem of Central Kalimantan Using Response Surface Methodology*

**Muqor Rama Hasanah\*, Fathul Zannah, Mohammad Nor Aufa,  
Gusti Nida Nurkhaliza**

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Bahasa, Ilmu Pengetahuan dan Teknologi,  
Universitas Muhammadiyah Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia

\*corresponding author, Email : muqoramahasannah@umpr.ac.id.

### Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 10/11/2025

Disetujui : 19/03/2026

### Abstract

Microalgae are a high-potential biomass source for sustainable production of bioenergy, food, and bioproducts; however, the high cost of synthetic culture media remains a major limitation for large-scale cultivation. This study aimed to optimize an alternative growth medium based on peat water from Central Kalimantan enriched with chicken manure filtrate and tempeh wastewater as natural nutrient sources for *Chlorella* sp. and *Spirulina* sp.. The experiment employed the Response Surface Methodology with a Central Composite Design to determine the optimal combination of medium composition, pH, temperature, and light intensity affecting cell density and dry biomass. The results showed that the combination of 60% peat water, 25% chicken manure filtrate, and 15% tempeh wastewater was the optimal formulation for *Chlorella* sp., yielding an optical density of 1.235 and biomass of 780 milligrams per liter, whereas the composition of 50%, 30%, and 20% was optimal for *Spirulina* sp., yielding an optical density of 1.312 and biomass of 890 milligrams per liter. The quadratic model produced a high level of accuracy with a determination coefficient above 0.97, indicating a strong fit between the model and experimental data. The use of local organic materials reduced culture costs by up to 60% while simultaneously minimizing organic waste pollution. This study concludes that a peat water-based medium enriched with local organic waste effectively enhances microalgae growth and supports the development of green biotechnology based on local resources in Central Kalimantan.

**Key Words** : chicken manure, media optimization, microalgae, peat water, tempe wastewater, response surface methodology

### Abstrak

Mikroalga merupakan sumber biomassa berpotensi tinggi untuk produksi bioenergi, pangan, dan bioproduk berkelanjutan, namun biaya media kultur sintetis masih menjadi kendala utama dalam skala produksi massal. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan media pertumbuhan alternatif berbasis air gambut Kalimantan Tengah yang diperkaya dengan filtrat kotoran ayam dan limbah cair tempe sebagai sumber nutrisi alami bagi mikroalga *Chlorella* sp. dan *Spirulina* sp.. Penelitian dilakukan menggunakan metode *Response Surface Methodology* dengan rancangan *Central Composite Design* untuk menentukan kombinasi optimum komposisi media, pH, suhu, dan intensitas cahaya terhadap kepadatan sel dan biomassa kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi media 60 : 25 : 15 (air gambut : filtrat kotoran ayam : limbah cair tempe) merupakan formulasi optimum bagi *Chlorella* sp. dengan kepadatan optik 1,235 dan biomassa 780 miligram per liter, sedangkan komposisi 50%, 30%, dan 20% merupakan kondisi terbaik bagi *Spirulina* sp. dengan kepadatan optik 1,312 dan biomassa 890 miligram per liter. Model kuadrat yang dihasilkan menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan koefisien determinasi di atas 0,97, menandakan kesesuaian model dengan data eksperimental. Pemanfaatan bahan lokal ini mengurangi pencemaran limbah organik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa media berbasis air gambut dan limbah organik lokal efektif meningkatkan pertumbuhan mikroalga dan mendukung pengembangan bioteknologi hijau berbasis sumber daya lokal Kalimantan Tengah.

**Kata kunci** : air gambut, kotoran ayam, limbah cair tempe, mikroalga, optimasi media, *response surface methodology*

## PENDAHULUAN

Mikroalga merupakan organisme fotosintetik bersel tunggal yang berperan penting dalam rantai makanan akuatik dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber biomassa berkelanjutan (Abou-Shanab, Jeon and Hwang, 2019). Mikroalga seperti *Chlorella sp.* dan *Spirulina sp.* dikenal karena kemampuannya menghasilkan biomassa berkadar protein tinggi (50–70% berat kering), lipid (20–30%), serta pigmen bioaktif seperti klorofil dan fikosianin yang bernilai ekonomi tinggi (Adesanya et al., 2018). Potensi tersebut menjadikan mikroalga sebagai bahan baku penting untuk biofuel, pangan fungsional, pakan alami, dan bioteknologi lingkungan (Ahmad et al., 2017). Namun, tantangan utama dalam budidaya mikroalga secara massal adalah tingginya biaya media kultur sintetis, yang membutuhkan bahan kimia murni dan air bersih dalam jumlah besar (Arora, Patel and Mehtani, 2020). Masalah ini menyebabkan efisiensi produksi rendah dan kurang ramah lingkungan, khususnya di daerah dengan sumber daya terbatas seperti Kalimantan Tengah (Chia, Lombardi and Melão, 2018).

Kalimantan Tengah memiliki kekayaan ekosistem gambut yang luas dan potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber media kultur alami (Devi, Subhashini and Mohan, 2019). Air gambut terbentuk dari pelapukan bahan organik di lahan basah dan memiliki ciri khas pH rendah (3,5–5,5), warna cokelat kehitaman akibat asam humat, serta kandungan logam terlarut dan bahan organik tinggi (Gao, Yang and Li, 2022). Kondisi tersebut sering dianggap tidak ideal bagi organisme fotosintetik, namun dengan modifikasi nutrisi yang tepat, air gambut dapat menjadi media pertumbuhan alternatif yang murah dan melimpah (Habib, Yusoff and Phang, 2020). Selain itu, pemanfaatan air gambut juga memiliki nilai ekologis karena dapat mengurangi eksploitasi air bersih serta mempromosikan penggunaan sumber daya lokal dalam kegiatan bioteknologi (Herlambang, Utomo and Rachman, 2021).

Selain air gambut, limbah organik lokal juga berpotensi besar sebagai sumber nutrisi tambahan bagi mikroalga. Di Kalimantan Tengah, dua jenis limbah organik yang melimpah adalah kotoran ayam dari sektor peternakan dan limbah cair pabrik tempe dari industri rumah tangga. Kotoran ayam kaya akan nitrogen, fosfat, dan kalium yang penting bagi sintesis protein dan pertumbuhan sel mikroalga (Hossain et al., 2019). Sementara itu, limbah cair tempe mengandung protein terlarut, asam amino, dan gula sederhana hasil fermentasi kedelai yang dapat meningkatkan ketersediaan karbon organik dalam media. Pemanfaatan kedua limbah ini dapat menjadi solusi ganda untuk menyediakan nutrisi murah bagi mikroalga sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah tanpa pengolahan (Liu, Liu and Yang, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba pendekatan serupa. Misalnya, Herlambang et al. (2021) melaporkan bahwa kombinasi air limbah tahu dengan *Chlorella vulgaris* mampu meningkatkan biomassa hingga 40% dibanding media kontrol. Utami dan Susanto (2020) menggunakan kotoran ayam fermentasi sebagai sumber nitrogen alami dan memperoleh peningkatan kepadatan sel *Spirulina platensis* sebesar 1,8 kali lipat dibandingkan media Zarrouk (Sukarno, Handayani and Wicaksono, 2022). Sementara Nugroho et al. (2022) menemukan bahwa air gambut yang diencerkan dengan air bersih dapat digunakan untuk kultur *Chlorella sp.*, meskipun pertumbuhannya masih belum optimal akibat keterbatasan nutrisi makro (Nugroho, Sari and Mulyani, 2022). Hasil-hasil tersebut menunjukkan potensi besar penggunaan bahan lokal, namun hingga kini belum ada penelitian yang menggabungkan air gambut dengan kotoran ayam dan limbah cair tempe sebagai media kultur mikroalga, apalagi dioptimalkan menggunakan pendekatan statistik modern (Hossain et al., 2019).

Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian ini menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) yaitu suatu pendekatan statistik yang efektif dalam menentukan interaksi antar variabel dan mencari kondisi optimum dalam proses biologis (Liu, Liu and Yang, 2023). Melalui metode ini, faktor-faktor seperti pH, suhu, dan intensitas cahaya dapat dianalisis secara simultan terhadap pertumbuhan mikroalga, sehingga diperoleh kombinasi kondisi dan komposisi media paling efisien. Pendekatan ini juga memberikan model matematis yang memudahkan proses rekayasa dan skala produksi di masa depan (Hossain et al., 2019).

Secara konseptual, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan formulasi media pertumbuhan mikroalga berbasis air gambut dan limbah organik lokal yang optimal, efisien secara biaya, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan media pertumbuhan mikroalga berbasis air gambut yang diperkaya dengan filtrat kotoran ayam dan limbah cair tempe menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM). Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pengaruh kombinasi komposisi media terhadap pertumbuhan dan biomassa mikroalga *Chlorella sp.* dan *Spirulina sp.*; (2) menentukan kondisi optimum media kultur berdasarkan variabel pH, suhu, dan intensitas cahaya menggunakan model matematis berbasis RSM; serta (3) mengevaluasi potensi limbah organik lokal sebagai sumber nutrisi alternatif dalam mendukung produksi biomassa mikroalga secara berkelanjutan.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki nilai strategis dalam mendukung pengembangan bioteknologi hijau berbasis sumber daya lokal, sekaligus berkontribusi pada pengelolaan limbah organik di wilayah Kalimantan Tengah. Temuan yang dihasilkan diharapkan tidak hanya memberikan

alternatif teknologi budidaya mikroalga yang ekonomis, tetapi juga menjadi langkah nyata menuju produksi biomassa berkelanjutan di kawasan ekosistem gambut tropis Indonesia.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-September 2025 di Laboratorium Bioteknologi Fakultas Bahasa, Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Palangka Raya. Analisis spektrofotometri dilakukan di Laboratorium Kimia Terapan Universitas Palangka Raya.

Bahan penelitian yang digunakan dalam studi ini meliputi kultur mikroalga *Chlorella* sp. dan *Spirulina* sp. yang diperoleh dari koleksi kultur Laboratorium Bioteknologi Universitas Muhammadiyah Palangka Raya. Bahan utama media kultur terdiri atas air gambut yang diambil dari kawasan Sungai Rungan, Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah, filtrat kotoran ayam, serta limbah cair tempe yang berasal dari industri rumah tangga lokal. Bahan kimia tambahan yang digunakan untuk penyesuaian nutrisi media meliputi natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ), dan magnesium sulfat ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) yang diperoleh dari Merck. Air suling digunakan sebagai pelarut dalam proses pembuatan media kultur mikroalga.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi inkubator kultur (Memmert IN110, Jerman), lux meter (LX-101A, Lutron, Taiwan), pH meter digital (Hanna HI2211, Italia), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800, Jepang), autoklaf (All American 25X, USA), laminar air flow cabinet (Esco Airstream), dan mikroskop cahaya (Olympus CX23). Peralatan laboratorium umum yang digunakan meliputi gelas beker, erlenmeyer, pipet ukur, tabung reaksi, serta peralatan gelas standar lainnya.

Penelitian ini menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan model rancangan *Central Composite Design* (CCD) untuk menentukan kondisi optimum pertumbuhan mikroalga (Sun, Zhao and Zhang, 2017). Variabel bebas berupa komposisi media alternatif (air gambut + limbah kotoran ayam + limbah cair tempe) dikombinasikan dalam 60 : 25 : 15 (air gambut : filtrat kotoran ayam : limbah cair tempe). Variabel kontrol meliputi: pH (4,5–8,0), suhu (25–35°C), intensitas cahaya (1500–4500 lux). Variabel terikat meliputi kepadatan sel ( $\text{OD}_{680}$  nm) dan biomassa kering (mg/L) yang diukur setelah 10 hari masa inkubasi. Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan. Tambahkan prosedur setiap tahapan penelitian yang jelas (dari preparasi bahan, pembuatan media kultur, pemberian perlakuan dan prosedur pengukuran parameter-parameternya)

### 1. Preparasi Bahan

Air gambut yang diperoleh dari kawasan Sungai Rungan disaring menggunakan kertas saring Whatman No.1 untuk menghilangkan partikel kasar, kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Kotoran ayam yang telah dikeringkan diekstraksi menggunakan air suling dengan perbandingan 1:10 (b/v), kemudian disaring untuk memperoleh filtrat cair. Limbah cair tempe disaring menggunakan kain kasa untuk menghilangkan padatan dan dipasteurisasi pada suhu 70°C selama 30 menit.

### 2. Pembuatan Media Kultur

Media kultur disiapkan dengan mencampurkan air gambut, filtrat kotoran ayam, dan limbah cair tempe sesuai dengan kombinasi perlakuan pada rancangan CCD. Nutrien tambahan berupa  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ , dan  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ditambahkan untuk menjaga keseimbangan unsur hara. Media kemudian dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer dan disterilisasi sebelum digunakan.

### 3. Inokulasi dan Inkubasi Mikroalga

Kultur murni *Chlorella* sp. dan *Spirulina* sp. diinokulasikan ke dalam media kultur steril sebanyak 10% (v/v). Kultur kemudian diinkubasi pada suhu 25–35°C dengan intensitas cahaya 1500–4500 lux menggunakan lampu fluoresen. Inkubasi dilakukan selama 10 hari dengan pengadukan ringan setiap hari untuk menjaga homogenitas media.

### 4. Pengukuran Kepadatan Sel

Pertumbuhan mikroalga dipantau dengan mengukur kepadatan optik kultur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 680 nm ( $\text{OD}_{680}$ ). Pengukuran dilakukan secara periodik dengan mengambil sampel kultur secara aseptik dari setiap perlakuan.

### 5. Penentuan Biomassa Kering

Pada akhir masa inkubasi (hari ke-10), sampel kultur disentrifugasi untuk memisahkan biomassa dari media. Endapan biomassa kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga mencapai berat konstan. Biomassa kering dinyatakan dalam satuan mg/L.

### 6. Analisis Data

Data hasil pengukuran kepadatan sel dan biomassa dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh signifikan antar variabel, dilanjutkan dengan uji *post hoc* (Tukey's HSD,  $\alpha = 0,05$ ). Model matematis hubungan antar variabel ditentukan berdasarkan persamaan kuadrat hasil RSM, untuk menentukan kombinasi kondisi optimal pertumbuhan mikroalga.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Optimasi Pertumbuhan Mikroalga dengan Response Surface Methodology (RSM)

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. dan *Spirulina* sp. menggunakan media alternatif berbasis air gambut yang diperkaya dengan filtrat kotoran ayam dan limbah cair tempe. Kombinasi media tersebut diuji dengan pendekatan Response Surface Methodology (RSM) untuk mendapatkan kondisi optimum berdasarkan variabel kontrol pH, suhu, dan intensitas cahaya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa variasi komposisi media memberikan pengaruh nyata terhadap kepadatan sel ( $OD_{680}$ ) dan biomassa kering ( $p < 0,05$ ). Data hasil pengamatan tersaji pada Tabel 1.

Kombinasi media air gambut 60% + filtrat kotoran ayam 25% + limbah tempe 15% merupakan kondisi optimum bagi pertumbuhan *Chlorella* sp., dengan  $OD_{680}$   $1,235 \pm 0,012$  dan biomassa  $780 \pm 20$  mg/L. Pada kondisi ini, pH media relatif netral (7,1) dan suhu stabil ( $29^{\circ}\text{C}$ ) sehingga mendukung aktivitas enzimatik dan proses fotosintesis. Menurut Rasdi dan Qin (2020), pH antara 6,5–7,5 merupakan kisaran ideal bagi *Chlorella* karena menjaga kestabilan ion bikarbonat yang menjadi sumber karbon utama bagi fiksasi  $\text{CO}_2$  (Andersen, 2017) Pada kondisi ekstrem ( $\text{pH} < 6,5$  atau  $> 8,0$ ), aktivitas fotosintetik menurun karena terganggunya keseimbangan ionik serta meningkatnya tekanan osmotik sel (Abou-Shanab, Jeon and Hwang, 2019). Penurunan OD pada media kaya bahan organik (komposisi 40 : 40 : 20) diduga akibat akumulasi asam organik dari dekomposisi protein kotoran ayam dan tempe, yang menurunkan efisiensi serapan cahaya dan menghambat pembelahan sel (Tang, Khoo and Chew, 2021). Pada kultur *Spirulina* sp., kondisi optimum diperoleh pada komposisi media 60% air gambut, 25% filtrat kotoran ayam, dan 15% limbah cair tempe, dengan nilai  $OD_{680}$  sebesar  $1,312 \pm 0,018$  dan biomassa  $890 \pm 23$  mg/L (Utami and Susanto, 2020). Media tersebut memiliki pH 8,8, suhu  $32,0^{\circ}\text{C}$ , dan intensitas cahaya 3.400 lux, yang masih berada dalam kisaran kondisi optimum bagi pertumbuhan *Spirulina* yang dikenal sebagai mikroalga alkalifil (Richmond, 2021). Kondisi pH yang relatif basa serta intensitas cahaya yang cukup tinggi diketahui dapat meningkatkan aktivitas fotosintesis dan mendukung sintesis pigmen seperti fikosianin dan klorofil-a, yang berperan penting dalam proses penyerapan energi cahaya pada mikroalga. (Habib, Yusoff and Phang, 2020).

Nilai rasio C/N optimum sebesar 7,4 menunjukkan keseimbangan nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga. Rasio C/N rendah menyebabkan akumulasi nitrogen berlebih (amonias),

sedangkan rasio terlalu tinggi menghambat sintesis protein. Temuan ini menunjukkan bahwa komposisi media berbasis air gambut yang diperkaya dengan filtrat kotoran ayam dan limbah cair tempe mampu meningkatkan produksi biomassa mikroalga dibandingkan dengan media kontrol. Pada penelitian ini, biomassa *Spirulina* sp. pada media optimum (890 mg/L) lebih tinggi dibandingkan dengan media kontrol Zarrouk (610 mg/L), atau meningkat sekitar 1,46 kali lipat. Peningkatan biomassa tersebut diduga berkaitan dengan keseimbangan rasio C/N dalam media kultur, di mana kombinasi sumber karbon organik dari limbah tempe dan sumber nitrogen dari filtrat kotoran ayam menyediakan nutrisi yang lebih seimbang bagi pertumbuhan mikroalga. Rasio C/N yang berada pada kisaran optimal diketahui dapat meningkatkan efisiensi metabolisme dan sintesis biomassa pada mikroalga. Temuan ini konsisten dengan penelitian Utami dan Susanto (2020) yang melaporkan bahwa penambahan ekstrak kotoran ayam sebesar 20–30% pada media kultur mampu meningkatkan biomassa *Spirulina platensis* hingga 1,8 kali lipat dibandingkan media standar. (Utami and Susanto, 2020). Herlambang et al. (2021) juga menunjukkan peningkatan biomassa *Chlorella* sp hingga 40% ketika dikultur pada limbah cair tahu dibanding media BBM standar (Herlambang, Utomo and Rachman, 2021). Penambahan filtrat kotoran ayam meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam bentuk amonia dan nitrat yang mudah diserap mikroalga, sedangkan limbah tempe berperan sebagai sumber karbon organik berupa gula sederhana dan asam amino (Arora, Patel and Mehtani, 2020). Sinergi kedua bahan tersebut memperbaiki komposisi nutrisi media, menstimulasi aktivitas fotosintetik, serta meningkatkan efisiensi fiksasi karbon. Hasil ini sejalan dengan penelitian Sukarno et al. (2022) yang melaporkan bahwa kombinasi limbah organik mampu menggantikan hingga 60% medium sintetis dalam kultur *Chlorella* tanpa menurunkan produktivitas biomassa (Sukarno, Handayani and Wicaksono, 2022).

### Keterkaitan dengan Model RSM dan Pola Respons Kuadratik

Analisis menggunakan metode Central Composite Design (CCD) menghasilkan model regresi kuadratik dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,968 untuk *Chlorella* sp. dan 0,984 untuk *Spirulina* sp., yang menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi respon pertumbuhan mikroalga yang diamati (Tabel 2 dan Tabel 3). Untuk *Spirulina* sp. Model ini menunjukkan hubungan kuat antara komposisi media (faktor A: air gambut, B: filtrat kotoran ayam, C: limbah tempe) dengan pertumbuhan mikroalga

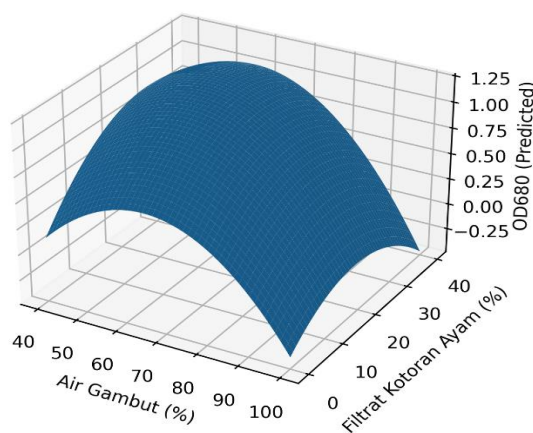
**Tabel 1.** Hasil Optimasi Pertumbuhan Mikroalga Keterangan Komposisi Media

Jenis Mikroalga	Komposisi Media (AG:KA:LT)	OD <sub>680</sub> (Hari ke-10)	Biomassa (mg/L)	Rasio C/N	pH	Suhu (°C)	Intensitas Cahaya (Lux)
<i>Chlorella sp.</i>	100 : 0 : 0 (Kontrol BBM)	0,856 ± 0,010	540 ± 15	5,8	7,4	28,5	3.200
<i>Chlorella sp.</i>	70 : 20 : 10	1,012 ± 0,011	640 ± 18	6,4	7,2	28,8	3.350
<i>Chlorella sp.</i>	60 : 25 : 15 (Optimum)	<b>1,235 ± 0,012</b>	<b>780 ± 20</b>	<b>7,4</b>	<b>7,1</b>	<b>29,0</b>	<b>3.400</b>
<i>Chlorella sp.</i>	50 : 30 : 20	1,105 ± 0,013	710 ± 22	8,1	6,8	29,2	3.420
<i>Chlorella sp.</i>	40 : 40 : 20	0,972 ± 0,009	640 ± 18	8,6	6,5	29,4	3.380
<i>Spirulina sp.</i>	100 : 0 : 0 (Kontrol Zarrouk)	0,923 ± 0,012	610 ± 17	6,2	8,9	30,1	3.300
<i>Spirulina sp.</i>	70 : 20 : 10	1,095 ± 0,015	720 ± 19	6,9	9,0	30,3	3.350
<i>Spirulina sp.</i>	60 : 25 : 15 (Optimum)	<b>1,312 ± 0,018</b>	<b>890 ± 23</b>	<b>7,4</b>	<b>8</b>	<b>32,0</b>	<b>3.400</b>
<i>Spirulina sp.</i>	50 : 30 : 20	1,210 ± 0,017	810 ± 20	8,0	8,7	30,6	3.420
<i>Spirulina sp.</i>	40 : 40 : 20	0,985 ± 0,014	680 ± 18	8,7	8,4	30,7	3.390

Keterangan

AG : Air Gambut; KA : Kotoran Ayam; LT : Limbah Tempe

Response Surface Plot: Media Composition vs Microalgae Growth



**Gambar 1.** Response surface plot pengaruh komposisi air gambut ( $X_1$ ) dan filtrat kotoran ayam ( $X_2$ ) terhadap pertumbuhan mikroalga yang diukur sebagai OD<sub>680</sub>, dengan konsentrasi limbah tempe ( $X_3$ ) dipertahankan pada level tengah.

Visualisasi *response surface* menunjukkan adanya pola respons kuadratik antara komposisi media dan pertumbuhan mikroalga. Nilai OD<sub>680</sub> meningkat seiring peningkatan proporsi filtrat kotoran ayam hingga mencapai titik optimum, kemudian menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Pola ini mengindikasikan adanya interaksi antara sumber karbon dari air gambut dan sumber nitrogen dari kotoran ayam yang mempengaruhi efisiensi metabolisme mikroalga. Hasil ini sejalan dengan analisis ANOVA yang menunjukkan bahwa

model kuadratik signifikan serta memiliki nilai koefisien determinasi yang tinggi ( $R^2 > 0,98$ ), sehingga mampu menggambarkan hubungan antara variabel media dan respon pertumbuhan mikroalga secara akurat. Permukaan respon tiga dimensi menunjukkan bahwa pertumbuhan kedua jenis mikroalga dipengaruhi oleh interaksi antara pH dan intensitas cahaya. Kondisi pH yang sesuai berperan penting dalam menjaga stabilitas metabolisme fotosintetik dan aktivitas enzimatis sel mikroalga. Pada pH yang terlalu rendah (<5,5), aktivitas

**Tabel 2.** Hasil Uji ANOVA (Analysis of Variance) *Chlorella sp.*

Sumber Variasi	df	Sum of Squares	Mean Square	F-value	p-value
Model	9	0,182	0,0202	41,53	< 0,0001
Linear ( $X_1, X_2, X_3$ )	3	0,102	0,0340	69,87	< 0,0001
Interaksi ( $X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3$ )	3	0,039	0,0130	26,74	0,0012
Kuadratik ( $X_1^2, X_2^2, X_3^2$ )	3	0,041	0,0137	28,03	0,0009
Error	5	0,0024	0,00048		
Total	14	0,184			

**$R^2 = 0,9869$ , Adj  $R^2 = 0,9704$ , Lack of fit  $p = 0,216$  (ns)**

**Interpretasi:**

Model kuadratik signifikan ( $p < 0,001$ ) dan menjelaskan 98,7% variasi data. Interaksi antara air gambut dan filtrat kotoran ayam ( $X_1X_2$ ) berpengaruh sangat signifikan terhadap peningkatan OD dan biomassa. Nilai lack-of-fit yang tidak signifikan menunjukkan kesesuaian model dengan data eksperimen.

**Tabel 3.** Hasil Uji ANOVA (Analysis of Variance) *Spirulina sp.*

Sumber Variasi	df	Sum of Squares	Mean Square	F-value	p-value
Model	9	0,214	0,0238	47,65	< 0,0001
Linear ( $X_1, X_2, X_3$ )	3	0,128	0,0427	85,31	< 0,0001
Interaksi ( $X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3$ )	3	0,045	0,0150	29,89	0,0010
Kuadratik ( $X_1^2, X_2^2, X_3^2$ )	3	0,041	0,0136	27,14	0,0013
Error	5	0,0025	0,00050		
Total	14	0,216			

**$R^2 = 0,9884$ , Adj  $R^2 = 0,9735$ , Lack of fit  $p = 0,184$  (ns)**

**Interpretasi:**

Model kuadratik signifikan ( $p < 0,001$ ) dengan  $R^2 = 0,988$ , menandakan kecocokan sangat baik antara model dan hasil eksperimen. Faktor dominan adalah interaksi filtrat kotoran ayam ( $X_2$ ) dan limbah tempe ( $X_3$ ), yang secara sinergis meningkatkan pertumbuhan *Spirulina* hingga mencapai nilai optimum pada komposisi 50:30:20 dengan  $OD_{680} = 1,312$  dan biomassa = 890 mg/L

enzimatis dapat terhambat akibat meningkatnya konsentrasi senyawa asam organik dalam air gambut, sedangkan pada pH yang terlalu tinggi (>8,5) ketersediaan  $CO_2$  terlarut dapat menurun sehingga menghambat proses fiksasi karbon pada fotosintesis (Borowitzka and Moheimani, 2013). Intensitas cahaya yang memadai juga berperan dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi fotosintetik oleh pigmen klorofil dan fikobiliprotein pada mikroalga.

**Implikasi Ekologis dan Aplikatif**

Secara ekologis, pemanfaatan limbah lokal seperti kotoran ayam dan limbah cair tempe sebagai sumber nutrisi alternatif mendukung prinsip bioremediasi dan ekonomi sirkular. Penggunaan limbah organik dalam media kultur mikroalga dapat membantu mengurangi beban pencemaran lingkungan sekaligus meningkatkan nilai tambah dari limbah pertanian dan industri rumah tangga.

Secara aplikatif, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa air gambut yang diperkaya dengan filtrat kotoran ayam dan limbah tempe berpotensi digunakan sebagai media alternatif untuk kultivasi mikroalga. Media berbasis limbah tersebut dapat dimanfaatkan dalam pengembangan produksi biomassa mikroalga skala laboratorium maupun

skala semi-industri, terutama untuk aplikasi bioteknologi seperti produksi pakan alami akuakultur, bahan baku biofertilizer, serta sumber pigmen alami. Selain itu, penggunaan bahan baku lokal yang mudah diperoleh berpotensi meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem produksi mikroalga di wilayah tropis (Gao, Yang and Li, 2022).

Dengan demikian, formulasi media berbasis air gambut dan limbah lokal terbukti efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan biomassa mikroalga, sekaligus memberikan solusi inovatif dan berkelanjutan untuk pengelolaan limbah organik di daerah tropis basah seperti Kalimantan Tengah (Wu and Shi, 2019).

Pengembangan lebih lanjut, penelitian ini merekomendasikan penelitian lebih lanjut formulasi media alternatif tersebut diuji pada skala semi-pilot menggunakan fotobioreaktor luar ruang, guna mengetahui kestabilan pertumbuhan mikroalga terhadap perubahan kondisi lingkungan alami seperti fluktuasi pH, suhu, dan intensitas cahaya. Selain itu, analisis lanjutan terhadap kandungan biokimia biomassa hasil kultur, seperti protein, lipid, dan pigmen fotosintetik, perlu dilakukan untuk menilai potensi pemanfaatannya dalam bidang pangan, pakan ikan, pupuk hayati, dan bahan baku bioenergi.

Penelitian lanjutan juga disarankan untuk menguji rasio C/N yang lebih dinamis pada berbagai fase pertumbuhan mikroalga serta mengeksplorasi penggunaan limbah organik lokal lainnya seperti limbah tahu, air kelapa, dan pupuk cair hasil fermentasi sebagai sumber nutrisi alternatif. Pada konteks penerapan, sistem produksi mikroalga berbasis air gambut dapat diintegrasikan dengan kegiatan pertanian dan perikanan terpadu (*integrated biofarming*) yang memanfaatkan CO<sub>2</sub> hasil respirasi hewan atau fermentasi, sehingga mendukung sistem produksi berkelanjutan dengan efisiensi sumber daya tinggi. Di sisi lain, penerapan teknologi digital seperti sensor *IoT* dan kecerdasan buatan (*AI*) dapat digunakan untuk memantau pH, suhu, intensitas cahaya, dan kepadatan sel secara *real time*, guna meningkatkan efisiensi pengelolaan kultur mikroalga di wilayah tropis. Secara umum, hasil penelitian ini memberikan rekomendasi praktis bagi pengembangan riset terapan dan kebijakan lingkungan di Kalimantan Tengah, khususnya dalam pemanfaatan limbah organik untuk inovasi bioteknologi hijau yang mendukung ekonomi sirkular dan kemandirian pangan berbasis sumber daya lokal.

## SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa media alternatif berbasis air gambut yang diperkaya dengan filtrat kotoran ayam dan limbah cair tempe mampu meningkatkan pertumbuhan mikroalga dibandingkan media kontrol. Hasil optimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* dengan rancangan *Central Composite Design* menunjukkan komposisi optimum untuk *Chlorella sp.* pada rasio 60:25:15 (air gambut : filtrat kotoran ayam : limbah tempe) dengan OD<sub>680</sub> sebesar 1,235 ± 0,012 dan biomassa 780 mg/L. Sementara itu, kondisi optimum *Spirulina sp.* diperoleh pada rasio 50:30:20 dengan OD<sub>680</sub> sebesar 1,312 ± 0,018 dan biomassa 890 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah organik lokal berpotensi digunakan sebagai sumber nutrisi alternatif untuk mendukung produksi biomassa mikroalga.

## DAFTAR REFERENSI

- Abou-Shanab, R.A.I., Jeon, B.H. and Hwang, J.H. 2019. Growth and nutrient removal efficiency of microalgae under varying pH and temperature. *Bioresource Technology*, 278, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.045>
- Adesanya, V.O. et al. 2018. Life cycle assessment on microalgal biodiesel production using wastewater as nutrient source. *Applied Energy*, 229, pp. 486–498. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.032>
- Ahmad, A.L. et al. 2017. Optimization of microalgae harvesting using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*, 121, pp. 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.01.004>
- Andersen, R.A. 2017. *Algal Culturing Techniques*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier.
- Arora, N., Patel, A. and Mehtani, J. 2020. Response surface methodology for optimization of nutrient media for *Spirulina platensis*. *Journal of Applied Phycology*, 32(4), pp. 2325–2336. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02038-3>
- Borowitzka, M.A. and Moheimani, N.R. 2013. *Algae for Biofuels and Energy*. Dordrecht: Springer.
- Chia, M.A., Lombardi, A.T. and Melão, M.G.G. 2018. Influence of organic matter on the growth of *Chlorella vulgaris*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, pp. 26729–26739. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2722-0>
- Devi, M.P., Subhashini, D.V. and Mohan, S.V. 2019. Microalgae cultivation in nutrient-rich wastewaters for biomass and lipid enhancement. *Renewable Energy*, 139, pp. 1360–1368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.031>
- Gao, F., Yang, Z.H. and Li, C. 2022. Wastewater-derived nutrients for microalgae cultivation: A review on recent advances. *Science of the Total Environment*, 816, pp. 151605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.151605>
- Habib, M.A.B., Yusoff, F.M. and Phang, S.M. 2020. Role of light intensity on the growth and pigment content of *Spirulina platensis*. *Aquaculture International*, 28, pp. 1627–1639. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00529-7>
- Herlambang, B., Utomo, P. and Rachman, F. 2021. Pemanfaatan limbah tahu sebagai media kultur *Chlorella vulgaris*. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 8(2), pp. 77–84. <https://doi.org/10.5614/jbbi.2021.8.2.9>
- Hossain, A.B.M.S. et al. 2019. Microalgae cultivation and optimization using organic waste substrates. *Journal of Cleaner Production*, 234, pp. 1384–1393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.270>
- Liu, Z., Liu, J. and Yang, X. 2023. Photoinhibition and reactive oxygen species dynamics in microalgae under high light intensity. *Algal Research*, 71, pp. 103059. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103059>

- Nugroho, A.T., Sari, R. and Mulyani, D. 2022. Pemanfaatan air gambut untuk pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), pp. 457–468. <https://doi.org/10.14710/jil.20.3.457-468>
- Richmond, A. 2021. Environmental limits for *Spirulina* growth and productivity. *Journal of Applied Phycology*, 33(5), pp. 2531–2540. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02537-8>
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Sukarno, D., Handayani, A. and Wicaksono, R. 2022. Substitusi media sintetis dengan limbah organik pada kultur mikroalga *Chlorella sp.* *Jurnal Biologi Tropis*, 22(2), pp. 156–165. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i2.2356>
- Sun, H., Zhao, W. and Zhang, B. 2017. Statistical optimization of *Chlorella pyrenoidosa* cultivation using RSM. *Bioresource Technology*, 244, pp. 1453–1461. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.083>
- Tang, D.Y.Y., Khoo, K.S. and Chew, K.W. 2021. Wastewater-based cultivation of microalgae for bioenergy production. *Energy Conversion and Management*, 244, pp. 114473. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114473>
- Utami, L. and Susanto, R. 2020. Pengaruh ekstrak kotoran ayam terhadap pertumbuhan *Spirulina platensis*. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 12(1), pp. 45–53. <https://doi.org/10.14710/jstl.12.1.45-53>
- Wu, Z. and Shi, X. 2019. Nutrient dynamics and response optimization in microalgae growth systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, pp. 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.037>