

## **Pengaruh Intensitas Cahaya dan Nutrisi Terhadap Laju Pertumbuhan *Ulva* sp.**

**Bekti Palupi<sup>1,2)</sup>, Regita Gustiayu Pramisti Maharani<sup>1)</sup>, Salza Belila Kusuma Wardhani<sup>1)</sup>, Meta Fitri Rizkiana<sup>1,2)</sup>, Helda Wika Amini<sup>1,2)</sup>, Boy Arief Fachri<sup>1,2)</sup>, Istiqomah Rahmawati<sup>1,2)</sup>, Maktum Muharja<sup>1)</sup>, dan Lilin Indrayani<sup>3)</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Indonesia

<sup>2</sup>Research Center for Biobased Chemical Product, Universitas Jember, Indonesia

<sup>3</sup>Balai Besar Kerajinan dan Batik, Kemenperin, Indonesia

<sup>\*</sup>Corresponding author: [bekti.palupi@unej.ac.id](mailto:bekti.palupi@unej.ac.id)

### **Abstract**

*Ulva* sp. is a genus of green macroalgae with a large surface diameter. The benefits of high photosynthetic capacity in *Ulva* sp. as a medium for absorption of nutrients such as ammonium, nitrate, and phosphorus at high levels. *Ulva* sp. is an algae that grows based on the season, so cultivation is also required to meet the demand. This study aims to determine the effect of light intensity and the amount of nutrients on total chlorophyll content and specific growth rate of *Ulva* sp. The variables used were light intensity of 1000 to 3000 Lux and the amount of nutrients used, namely 0.6 mg/L to 1,8 mg/L. This study was conducted with 12 hours of lighting. The procedure performed is cultivation of *Ulva* sp. with controlled containers continued by total nitrogen analysis, phosphate analysis, chlorophyll analysis, and specific growth rate analysis. The acidity or pH value in the research container ranged from 6.5 - 8.5, the temperature was between 24 - 26°C, and the salinity was 35 - 37 ppt. The analysis results produce good data when viewed from the p-value which has a value of less than 0.05.

### **Abstrak**

*Ulva* sp. adalah genus makroalga hijau dengan diameter permukaan yang besar. Manfaat dari kapasitas fotosintesis yang tinggi pada *Ulva* sp. sebagai media penyerapan nutrisi seperti amonium, nitrat, dan fosfor dengan tingkat yang tinggi. *Ulva* sp. termasuk alga yang tumbuhnya berdasarkan musim, untuk itu diperlukan budidaya guna memenuhi kebutuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya dan jumlah nutrisi terhadap kadar klorofil total dan laju pertumbuhan spesifik *Ulva* sp. Variabel yang digunakan adalah intensitas cahaya sebesar 1000 sampai dengan 3000 Lux serta jumlah nutrisi yang digunakan yaitu 0,6 mg/L hingga 1,8 mg/L. Penelitian ini dilakukan dengan lama penyinaran selama 12 jam. Prosedur yang dilakukan berupa pemeliharaan *Ulva* sp. dengan wadah terkontrol dilanjutkan dengan pengujian kadar nitrogen total, pengujian kadar fosfat, pengujian kadar klorofil, dan laju pertumbuhan spesifik. Didapatkan nilai derajat keasaman atau pH pada wadah penelitian berkisar 6,5 – 8,5, suhu berada di antara 24 – 26°C, dan salinitas 35 – 37 ppt. Hasil analisis menghasilkan data yang baik jika ditinjau dari nilai p-value yang memiliki nilai kurang dari 0,05.

**Keywords:** *Acclimatization, chlorophyll, growth rate, nutrition, Ulva sp.*

## PENDAHULUAN

*Ulva* sp. adalah *genus* makroalga hijau dengan diameter permukaan yang besar (*Chlorophyta*). Alga jenis ini termasuk dalam *genus* yang tumbuh cepat dan memiliki siklus hidup yang pendek [1]. *Ulva* sp. umumnya ditemukan di daerah tercemar yang mengalami dampak aktivitas manusia yang tinggi. *Ulva* sp. memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada berbagai variasi salinitas, suhu, intensitas cahaya, konsentrasi polutan yang tinggi, dan faktor abiotik lainnya. Oleh karena itu, *Ulva* sp. sering ditemukan di daerah pesisir yang terkena dampak limbah rumah tangga, limbah pertanian, maupun akuakultur [2].

*Ulva* sp. termasuk dalam *genus* dengan fotosintetik yang paling produktif. Salah satu manfaat dari kapasitas fotosintesis yang tinggi pada *Ulva* sp. sebagai media penyerapan nutrisi seperti amonium, nitrat, dan fosfor dengan tingkat yang tinggi, terutama di perairan pesisir [3]. Salah satu pemanfaatan *Ulva* sp. adalah sebagai *bio-filter* air limbah. Air limbah yang digunakan berasal dari limbah cair batik. Proses pengolahan limbah cair batik umumnya masih menggunakan metode fisik seperti penyaringan multifilter. Pengolahan jenis ini membutuhkan beberapa jenis filter yang berbeda serta membutuhkan biaya berlebih karena filter harus diganti secara berkala. Selain itu, hal ini menghasilkan limbah sekunder karena filter dibuang begitu saja ketika sudah tidak digunakan [4], [5], [6]. Salah satu metode yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan alga seperti *Ulva* sp. sebagai pengolahan air limbah.

*Ulva* sp. termasuk dalam alga yang tumbuh berdasarkan musim. Tentunya hal ini berdampak tidak tersedianya *Ulva* sp. dalam jangka waktu yang panjang. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan dengan melakukan budidaya *Ulva* sp. dalam skala kecil atau skala laboratorium. Budidaya *Ulva* sp. dapat dilakukan dengan proses pemeliharaan dan aklimatisasi. Pemeliharaan merupakan tahapan pembibitan guna menumbuhkan talus baru pada *Ulva* sp. Aklimatisasi merupakan tahapan penyesuaian *Ulva* sp. di lingkungan yang baru dengan menggunakan wadah terkontrol sebelum dilakukan tahapan pemeliharaan. Pemeliharaan dan aklimatisasi juga dilakukan untuk mendapatkan *Ulva* sp. dengan kualitas terbaik. Kelebihan yang dimiliki *Ulva* sp. yakni sebagai biofilter yang efektif guna menyerap polutan organik dan anorganik [7]. Penggunaan *Ulva* sp. untuk pengolahan air limbah juga memiliki keuntungan karena secara alami sesuai dengan prinsip ekosistem tidak menghasilkan limbah sekunder [8]. Metode *High Rate Algae Reactor* (HRAR) adalah metode pengolahan limbah yang dimodifikasi dari metode *High Rate Algae Pond* (HRAP) untuk mengembangkan alga pada penelitian skala laboratorium. Berikut adalah *Ulva* sp. yang tertera pada Gambar 1.



**Gambar 1.** *Ulva* sp.

Penelitian terdahulu dilakukan menggunakan reaktor sistem batch HRAR berkapasitas 24 L dengan variabel konsentrasi substrat dan durasi. Variabel konsentrasi awal substrat yang digunakan sebesar 250 mg/L, 450 mg/L, dan 800 mg/L. Selain itu, digunakan pula durasi pencahayaan selama 12 jam dengan menggunakan lampu buatan dan 24 jam menggunakan cahaya matahari. Dari perlakuan tersebut, reaktor dengan konsentrasi substrat awal sebesar 800 mg/L dan durasi pencahayaan selama 12 jam memiliki laju pertumbuhan alga yang baik.

Koefisien biokinetik alga sebesar 0,624/hari [9]. Meskipun penggunaan alga seperti *Ulva sp.* dikombinasikan sistem HRAR sudah diteliti, namun dari studi literatur belum pernah ditemukan dalam proses pengolahan limbah cair batik. Penelitian ini difokuskan pada efektivitas seeding dan aklimatisasi *Ulva sp.* dengan sistem *High Rate Algae Reactor* (HRAR) dalam proses pengolahan limbah cair batik. Berikut terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai *Ulva sp.* beserta kondisi operasi yang tertera dalam Tabel 1.

### Pengujian Kadar Nitrogen Total

Pengujian kadar nitrogen menggunakan prosedur Kjeldahl. Prosedur pengukuran nitrogen total pada sampel dilakukan dengan menimbang sebanyak 0,5 gram sampel basah dan dimasukkan dalam labu Kjeldahl (*labu digestion*), ditambahkan katalis yang berupa *selenium mixture* sebanyak 0,1 gram dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat sebanyak 5 ml ke dalam labu Kjeldahl digoyang hingga tercampur rata. Labu kjeldahl dipanaskan selama 2 – 3 jam hingga mendidih dan cairan menjadi jernih, matikan pemanas dan dibiarkan bahan menjadi dingin. Tambahkan 200 ml aquadest kedalam labu Kjeldahl, kocok kemudian tuangkan dalam labu destilasi. Selanjutnya ditambahkan NaOH 30% 50 ml dan 30 ml *aquadest* ke dalam labu didih leher panjang. Campurkan 1-3% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> sebanyak 25-50 ml dan ditambahkan tiga tetes indikator BCG-MM. Destilasi dilakukan hingga volume mencapai 75 ml. Setelah itu, titrasi destilat yang diperoleh dengan HCl 0,1 N hingga larutan tepat berubah warna dari hijau menjadi merah muda, catat volume HCl yang diperoleh untuk proses titrasi [16].

### Pengujian Kadar Fosfat

Pengujian kadar fosfat menggunakan metode spektrofotometri. Pada metode ini dilakukan pembuatan larutan sampel dengan mencampurkan 0,5 gram sampel basah, 5 ml HNO dan 0,5 ml HCl yang dimasukkan ke dalam digestion blok yang dibiarkan selama satu malam. Selanjutnya digestion blok dipanaskan hingga suhu mencapai 200°C. Didestruksi hingga mengeluarkan uap putih dan sisa ekstrak <0,5 ml, kemudian didinginkan. Selanjutnya, dilakukan persiapan kurva standar dengan larutan KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1000 ppm yang telah dikondisikan pada suhu ruang. Ditambahkan 2,25 ml aquadest dan 2 ml pereaksi molibdovanadat, diamkan selama 10 menit. Ukur absorbansi sampel pada panjang gelombang 400 nm [17].

### Pengujian Kadar Klorofil *Ulva sp.*

Pengujian kadar klorofil menggunakan metode spektrofotometri dengan pembuatan dua larutan sampel yaitu berupa larutan blanko dan larutan hasil ekstrak *Ulva sp.* Pembuatan ekstrak *Ulva sp.* dapat dilakukan dengan menghaluskan 12 gram *Ulva sp.* basah yang dicampur dengan larutan aseton sebanyak 8 mL [10]. Kadar klorofil dengan pelarut aseton dapat dihitung dengan rumus Arnon pada persamaan (1) [18].

$$Total\ klorofil = (20,2 \times (A645)) + (8,02 \times (A663)) \quad (1)$$

Keterangan: A = Absorban pada panjang gelombang tertentu

### Laju Pertumbuhan Spesifik *Ulva sp.*

Laju pertumbuhan spesifik dihitung untuk mengetahui kemampuan *Ulva sp.* bertumbuh dalam kurun waktu tertentu. Pengukuran laju pertumbuhan dapat dihitung dengan persamaan (2) [10].

$$LPS\% = \frac{\ln W_t - \ln W_o}{t} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan: LPS = Laju Pertumbuhan Spesifik (%), W<sub>t</sub> = Bobot akhir (g), W<sub>o</sub> = Bobot awal (g), T = Lama waktu pemeliharaan (hari)

**Tabel 1.** Penelitian Terdahulu

No.	Bahan	Metode	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
1.	<i>Ulva</i> sp.	<i>Seeding</i> di wadah pemeliharaan	<i>Seeding</i> = 45 hari Salinitas = 30-35 ppt Suhu = 27-31°C Bahan = 100 gram Air laut = 50 L NPK = 0,2 mg/l per 10 hari sekali Tablet CO <sub>2</sub> = 2 biji/hari Sumber Cahaya = matahari 1235 – 1463 lux	Berat mutlak 16,33-45,33 gram Laju pertumbuhan spesifik 1,5-3,7% Klorofil awal 2,29 mg/l dan naik menjadi 3,78-6,53 mg/l	[10]
2.	<i>Ulva</i> sp.	<i>Seeding</i> di kolam pemeliharaan dengan tali disemai	<i>Seeding</i> = 21 hari Salinitas = 31,4 ppt Suhu = 25°C <i>Ulva</i> sp. + air laut = 25 L	Periode pembibitan optimal selama 5 hari Laju pertumbuhan spesifik setelah hari ke-5 turun sebesar 67.16%	[11]
3.	<i>Ulva</i> sp.	<i>Seeding</i> di wadah pemeliharaan dengan aerasi	<i>Seeding</i> = 40 hari Salinitas = 30-31 ppt Suhu = 29-31°C Bahan = 20 gram Air laut = 30 L NPK = 20 mg/l setiap seminggu sekali Sumber Cahaya = lampu LED	Berat mutlak 15,67-19,00 gram Laju pertumbuhan spesifik 0,86-1,67% Klorofil awal 53,48 mg/l dan turun menjadi 16,05-22,30 mg/l	[12]
4.	<i>Ulva</i> sp.	<i>Seeding</i> di kolam pemeliharaan dengan tali disemai dengan aerasi	<i>Seeding</i> = 21 hari Suhu = 17 - 23°C Nutrisi = 500 µm NH <sub>3</sub> NO <sub>3</sub> dan 50 µm H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Bahan = 3,2 kg/m <sup>2</sup>	Distribusi puncak sebesar 258 - 290 gram/m <sup>2</sup> hari	[13]
5.	Alga	<i>Seeding</i> di wadah pemeliharaan	<i>Seeding</i> = 7 hari Mixing = 24 jam Nutrisi = gula + urea Bahan : air = 2 : 3 Sumber Cahaya = matahari + lampu 36 watt	Klorofil awal 0,22 mg/l dan naik menjadi 21,92 mg/l Laju pertumbuhan spesifik terbaik ketika 0,624% per hari	[14]
6.	Alga	<i>Seeding</i> di wadah pemeliharaan	<i>Seeding</i> = 30 hari Suhu = 24-27°C Bahan = 25 gram Air laut = 10 L Substrat = Pupuk ZA 1 gram Sumber Cahaya = matahari	Salinitas terbaik berkisar 31- 32 ppt Didapatkan pH optimal 8 – 8,9	[15]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air sangat berpengaruh terhadap hasil penelitian. Pengukuran kualitas air dilakukan setiap hari selama 10 hari proses pemeliharaan. Parameter kualitas air yang diukur antara lain kadar salinitas, pH, dan suhu. Berdasarkan pengukuran selama penelitian, didapatkan nilai derajat keasaman atau pH pada wadah penelitian berkisar 6,5 – 8,5. Kisaran nilai pH yang optimal untuk bertumbuhnya alga yaitu 6,5 – 9 [19]. Derajat keasaman sangat berpengaruh bagi organisme, sehingga pH kurang dari 6,5 akan menghambat laju pertumbuhan. pH yang terlalu asam akan membuat alga tidak bisa melakukan reproduksi.

Suhu menjadi salah satu faktor lancarnya proses fotosintesis pada *Ulva* sp. Suhu perairan yang terlalu tinggi akan mengganggu dan dapat menghentikan proses pertumbuhan pada makroalga karena pigmen yang diperlukan pada proses fotosintesis rusak [20]. Dalam penelitian ini, dilakukan pengecekan suhu air setiap hari dan didapatkan hasil pengukuran bahwa suhu berada di antara 24 – 26°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Riry, dkk [21] bahwa suhu yang optimal untuk menumbuhkan makroalga sekitar 24 – 30°C. Selain pH dan suhu, salinitas juga menjadi salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam pengukuran kualitas air *Ulva* sp. Dalam penelitian ini, dilakukan pengecekan salinitas air setiap hari dan didapatkan hasil pengukuran bahwa salinitas berada di antara 35 – 37 ppt. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sapitri, dkk [22] kisaran nilai salinitas yang optimal untuk bertumbuhnya alga yaitu 30 – 37 ppt.

Penambahan nutrisi pada konsentrasi tertentu dapat membatasi pertumbuhan alga. Nitrogen dan fosfat sangat dibutuhkan alga untuk dapat bertumbuh secara optimal. Penggunaan pupuk NPK mampu meningkatkan fungsi metabolisme serta biokimia sel karena adanya unsur kalium didalamnya, sehingga mampu memberikan dampak yang baik pada tanaman [23]. Nitrogen adalah unsur makro yang menyebabkan adanya pertumbuhan pada tumbuhan [24]. Pengamatan kadar nitrogen dan fosfat sebelum dilakukan pemeliharaan selama sepuluh hari berturut-turut sebesar 2,55% dan 8,22%. Pengamatan kadar nitrogen dan fosfat setelah pemeliharaan pada *Ulva* sp. menggunakan sampel yang memiliki laju pertumbuhan terbaik di setiap intensitasnya. Hasil dari pengujian kadar nitrogen pada tiga sampel yang diuji mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian Oktafiani, dkk [25] yang menyatakan bahwa peningkatan kadar nitrogen dikarenakan adanya proses nitrifikasi pada alga, sedangkan hasil pengujian kadar fosfat dalam tiga sampel yang digunakan mengalami penurunan. Penurunan kadar fosfat ini disebabkan adanya *uptake* alga. Peran fosfat dalam pertumbuhan alga digunakan sebagai tempat membelahnya sel, menyusun lemak, protein serta pembentukan inti sel.

Hasil analisis uji klorofil dan laju pertumbuhan spesifik dalam 10 hari setelah proses pemeliharaan akibat perbedaan perlakuan pemberian jumlah nutrisi dan intensitas cahaya ditampilkan pada Tabel 2.

### **Pengaruh Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi terhadap Laju Pertumbuhan Spesifik *Ulva* sp.**

Hasil pemeliharaan *Ulva* sp. dengan waktu 10 hari dengan menerapkan sistem budidaya terkontrol didapatkan laju pertumbuhan spesifik berkisar 0,51 – 1,3%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan terbaik berada pada P-10 dengan laju pertumbuhan spesifik sebesar 1,3%, sedangkan laju pertumbuhan spesifik terendah berada pada P-1, P-5, P-11, dan P-12 yakni sebesar 0,51%. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang di kemukakan oleh Rosnawati, dkk [30] bahwa alga membutuhkan penyinaran yang memadai untuk melakukan proses fotosintesis. Proses fotosintesis alga lebih cepat karena penambahan sel persatuan waktu

berjalan cepat, sehingga akan mempercepat masa panen. Faktor yang mempengaruhi laju pertumbuhan spesifik yakni alga yang digunakan harus dalam keadaan bersih, tidak patah, tidak berlendir, dan *thallus* elastis. Hal ini bertujuan agar *Ulva sp.* masih mampu dalam melakukan pertumbuhan dan perkembangan setelah diberi perlakuan di wadah pemeliharaan [10].

**Tabel 2.** Hasil Pengamatan Laju Pertumbuhan Spesifik dan Pertumbuhan Klorofil Total

Run	Jumlah Nutrisi (mg/l)	Intensitas Cahaya (Lux)	Laju Pertumbuhan Spesifik (%)	Pertumbuhan Klorofil Total (mg/L)
1	1,2	2000	0,49	2,39
2	1,8	1000	0,93	1,87
3	1,2	2000	0,62	2,49
4	1,2	2000	0,66	2,63
5	1,2	2000	0,47	1,48
6	0,6	1000	0,82	1,42
7	1,8	3000	1	7,44
8	0,6	3000	1	5,95
9	1,2	585,78	1	0,96
10	1,2	3414,21	1,33	8,04
11	1,2	2000	0,51	2,11
12	2,05	2000	0,51	4,19
13	0,35	2000	0,65	2,08

Hasil analisis anova yang menghasilkan *p-value* sebesar kurang dari 0,05 dapat diterima dan signifikan [26]. *Design expert* memberikan *p-value* model sebesar 0,0005 dimana nilai tersebut memiliki pengaruh yang signifikan. Pemberian intensitas cahaya yang berbeda memberikan dampak signifikan terhadap laju pertumbuhan spesifik, yang didapatkan sebesar 0,0212. Penambahan jumlah nutrisi dengan *p-value* sebesar 0,8750 tidak berpengaruh signifikan terhadap laju pertumbuhan spesifik *Ulva sp.* menandakan bahwa untuk penelitian ini dengan variasi jumlah nutrisi yang digunakan tidak memiliki pengaruh dampak yang signifikan. Pemberian intensitas cahaya yang berbeda ini memberikan dampak yang lebih signifikan daripada jumlah nutrisi terhadap laju pertumbuhan spesifik pada *Ulva sp.* Menurut Putri, dkk [9] penambahan nutrisi berpengaruh terhadap *Mixed Liquid Suspended Solid* (MLSS). Penambahan nutrisi sebanyak 10 gram menunjukkan nilai MLSS yang seringkali lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan nutrisi dalam jumlah lebih sedikit. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis *Anova* yang dihitung bahwa *F-value* intensitas cahaya lebih besar dibandingkan dengan jumlah nutrisi yang ditambahkan. Nilai *Lack of Fit* pada respon laju pertumbuhan spesifik menunjukkan hasil yang tidak signifikan dengan nilai ketidaksesuaian untuk laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,5335. Secara keseluruhan dapat diartikan bahwa model yang digunakan signifikan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Secara matematis, model persamaan untuk menentukan laju pertumbuhan spesifik ditunjukkan pada Persamaan (3). Koefisien parameter yang bernilai positif menunjukkan peningkatan nilai laju pertumbuhan spesifik, begitu pula sebaliknya. Persamaan yang diperoleh dari model yang terpilih respon laju pertumbuhan spesifik adalah sebagai berikut.

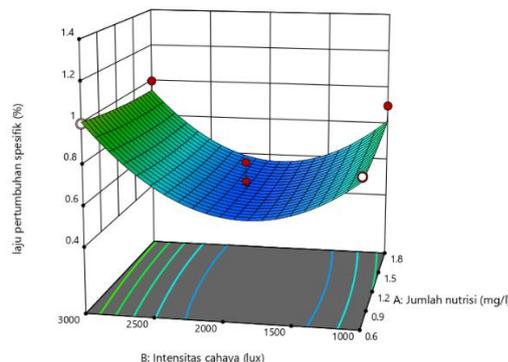
$$Y = 0,5600 - 0,0052A + 0,0905B - 0,0250AB + 0,0138 A^2 + 0,3137B^2 \quad (3)$$

Keterangan: Y = Laju Pertumbuhan Spesifik (%), A = Jumlah Nutrisi (mg/L), B = Intensitas Cahaya (Lux)

**Tabel 3.** Hasil Analisis Respon Laju Pertumbuhan Spesifik

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
<b>Model</b>	0,7583	5	0,1517	20,23	<b>0,0005</b>	<i>significant</i>
A-Jumlah nutrisi	0,0002	1	0,0002	0,0286	0,8705	
B-Intensitas cahaya	0,0656	1	0,0656	8,75	0,0212	
AB	0,0025	1	0,0025	0,3336	0,5817	
A <sup>2</sup>	0,0013	1	0,0013	0,1755	0,6878	
B <sup>2</sup>	0,6848	1	0,6848	91,37	< 0,0001	
<b>Residual</b>	0,0525	7	0,0075			
<i>Lack of Fit</i>	0,0205	3	0,0068	0,8527	0,5335	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,0320	4	0,0080			
<b>Cor Total</b>	0,8108	12				

Bentuk permukaan dari pengaruh intensitas cahaya dan jumlah nutrisi terhadap respon laju pertumbuhan spesifik dapat dilihat pada Gambar 1. Model kurva respon variabel intensitas cahaya dan jumlah nutrisi adalah model kurva *quadratic*. Intensitas cahaya menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap laju pertumbuhan spesifik yang ditandai dengan perubahan warna. Warna hijau menunjukkan nilai respon laju pertumbuhan spesifik tertinggi yaitu 1,33% dan warna biru menunjukkan nilai terendah dari respon laju pertumbuhan spesifik yaitu sebesar 0,51%.

**Gambar 3.** Pengaruh Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi Terhadap Respon Laju Pertumbuhan Spesifik

### **Pengaruh Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi terhadap Pertumbuhan Klorofil Total *Ulva* sp.**

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kadar klorofil total memiliki hasil yang berbeda-beda di setiap perlakuannya. Cahaya dari lampu adalah salah satu sumber cahaya yang dapat digunakan pada proses fotosintesis. Hasil pemeliharaan *Ulva* sp. selama sepuluh hari dengan penambahan nutrisi dan intensitas yang berbeda-beda mampu meningkatkan kadar klorofil pada *Ulva* sp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan klorofil total terbaik berada pada P-10 dengan pemberian intensitas cahaya sebesar 3414,21 lux dan jumlah nutrisi sebesar 1,2 mg/L yang ditandai adanya penambahan kadar klorofil hingga 8,04 mg/L. Hasil ini sesuai dengan penelitian Budiono, dkk [27] yang menyatakan bahwa pemberian intensitas cahaya yang tinggi akan menyebabkan tingginya kandungan klorofil total jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pemberian jumlah nutrisi tertinggi memiliki hasil klorofil yang tinggi pula pada setiap perlakuan intensitas yang diberikan. Kenaikan kadar klorofil terjadi karena adanya

penambahan N pada media pertumbuhan yang digunakan [24]. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan klorofil antara lain yaitu intensitas cahaya, unsur hara, air, dan suhu. Kondisi lingkungan berperan penting guna pembentukan zat hijau tumbuhan. Hal ini disebabkan karena adanya ikatan antara radiasi cahaya dengan hasil fotosintesis [28].

Pemberian jumlah nutrisi yang berbeda signifikan terhadap pertumbuhan klorofil total dimana didapatkan nilai P sebesar 0,004 kurang dari 0,05. Pemberian intensitas cahaya signifikan terhadap pertumbuhan klorofil total dimana nilai P yang didapatkan < 0,0001 yang berarti penambahan variasi jumlah nutrisi pada *Ulva* sp. berpengaruh secara signifikan yang signifikan terhadap pertumbuhan klorofil total pada *Ulva* sp. Pemberian intensitas cahaya yang berbeda ini memberikan dampak yang lebih signifikan terhadap pertumbuhan kandungan klorofil pada *Ulva* sp. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis *Anova* yang dihitung bahwa *F-value* intensitas cahaya lebih besar dibandingkan dengan jumlah nutrisi yang ditambahkan. Nilai *Lack of Fit* pada respon pertumbuhan klorofil total menunjukkan hasil yang tidak signifikan dengan nilai ketidaksesuaian untuk laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,6614. Secara keseluruhan dapat diartikan bahwa model yang digunakan signifikan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Analisis Respon Pertumbuhan Klorofil Total

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
<b>Model</b>	65,44	5	13,09	76,66	< 0,0001	<i>significant</i>
A-Jumlah nutrisi	3,02	1	3,02	17,69	0,0040	
B-Intensitas cahaya	50,67	1	50,67	296,77	< 0,0001	
AB	0,2601	1	0,2601	1,52	0,2569	
A <sup>2</sup>	2,08	1	2,08	12,20	0,0101	
B <sup>2</sup>	10,43	1	10,43	61,11	0,0001	
<b>Residual</b>	1,20	7	0,1707			
<i>Lack of Fit</i>	0,3600	3	0,1200	0,5748	0,6614	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0,8351	4	0,2088			
<b>Cor Total</b>	66,64	12				

Secara matematis, model persamaan untuk menentukan pertumbuhan klorofil total ditunjukkan pada Persamaan (4). Koefisien parameter yang bernilai positif menunjukkan peningkatan nilai pertumbuhan klorofil total. Persamaan yang diperoleh dari model yang terpilih respon laju pertumbuhan spesifik adalah sebagai berikut.

$$Y = 2,22 + 0,6145A + 2,52B - 0,02550AB + 0,5471 A^2 + 1,22B^2 \quad (4)$$

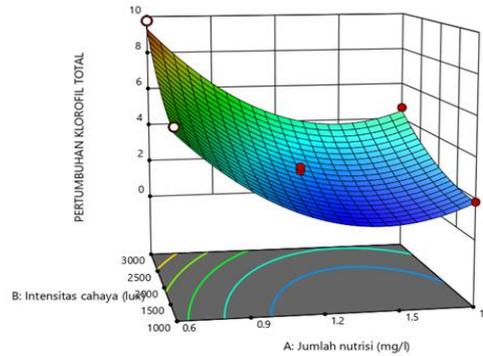
Dimana

Y = Pertumbuhan Klorofil Total (mg/L),

A = Jumlah Nutrisi (mg/L),

B = Intensitas Cahaya (Lux)

Bentuk permukaan dari pengaruh intensitas cahaya dan jumlah nutrisi terhadap pertumbuhan klorofil total dapat dilihat pada Gambar 2. Model kurva permukaan respon pertumbuhan klorofil adalah model kurva *quadratic*. Intensitas cahaya menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan klorofil total yang ditandai dengan adanya perubahan warna. Warna merah menunjukkan nilai respon pertumbuhan klorofil tertinggi yaitu 8,04 mg/L dan warna biru adalah pertumbuhan klorofil total paling rendah yaitu sebesar 0,96 mg/L.



**Gambar 4.** Pengaruh Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi Terhadap Pertumbuhan Klorofil Total

**Kondisi Optimum Kombinasi Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi**

Kombinasi jumlah nutrisi dan intensitas cahaya yang terpilih memiliki nilai *desirability* yang paling tinggi yaitu jumlah nutrisi sebesar 0,6 mg/L dan intensitas cahaya sebesar 3000 Lux. Nilai *desirability* yang diinginkan adalah nilai yang paling mendekati satu karena semakin menunjukkan nilai yang paling optimal [29]. Nilai yang terpilih memprediksi laju pertumbuhan spesifik sebesar 1,008 dan pertumbuhan klorofil total sebesar 5,641. Diperlukan verifikasi terhadap prediksi kondisi optimal dengan melakukan pengujian dan nilai harus berada dalam rentang nilai 95% *Confident Interval* (CI) dn 95% *Prediction Interval* (PI) [29]. Berikut ini adalah kombinasi jumlah nutrisi dan intensitas cahaya yang paling optimum tertera pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Solusi Kombinasi Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi

No.	Jumlah Nutrisi	Intensitas Cahaya	Laju Pertumbuhan Spesifik	Pertumbuhan Klorofil Total	<i>Desirability</i>	
1	<b>0,600</b>	<b>3000,000</b>	<b>1,008</b>	<b>5,641</b>	<b>0,729</b>	<i>Selected</i>
2	0,609	2999,999	1,007	5,637	0,725	
3	0,634	3000,000	1,005	5,630	0,714	
4	0,649	3000,000	1,004	5,626	0,708	
5	0,800	2999,999	0,991	5,627	0,647	

## Respon Verifikasi Model Kombinasi Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi

Kombinasi pada intensitas cahaya 3000 Lux dan jumlah nutrisi sebesar 0,6 mg/L memiliki respon nilai LPS 1% dan pertumbuhan klorofil total sebesar 5,95 mg/L. Nilai dari hasil tersebut berada di rentang 95% *Confident Interval* (CI) dan 95% *Prediction Interval* (PI). Nilai 95% *Confident Interval* menunjukkan bahwa 95% hasil dari pengamatan berada pada rentang tersebut. Nilai 95% *Prediction Interval* menandakan bahwa 95% data pengamatan dari respon yang diinginkan berada pada rentangnya [29]. Keseluruhan hasil pengamatan berada pada rentang yang telah diprediksi dan menandakan bahwa model dapat digunakan untuk kedua respon dengan baik. Berikut adalah respon verifikasi model kombinasi intensitas cahaya dan jumlah nutrisi yang tertera pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Respon Verifikasi Model Kombinasi Intensitas Cahaya dan Jumlah Nutrisi

Respon	Prediksi	Verifikasi	95% PI Low	95% PI High	95% CI Low	95% CI High
LPS (%)	1,008	1	0,747	1,269	0,846	1,170
Pertumbuhan Klorofil Total (mg/L)	5,641	5,95	4,395	6,886	4,868	6,413

## Analisis Model Matematika Respon Laju Pertumbuhan Spesifik dan Pertumbuhan Klorofil Total

Hasil analisis data dari *Analysis of Variance* (ANOVA) model respon laju pertumbuhan spesifik dan pertumbuhan jumlah klorofil total pada *Ulva* sp. selama pemeliharaan sepuluh hari tertera pada Tabel 7. Hasil  $R^2$  yang telah tercantum dalam tabel menunjukkan bahwa model laju pertumbuhan spesifik sebesar 93,53% dan pada respon pertumbuhan jumlah klorofil sebesar 98,21%. Model respon laju pertumbuhan spesifik dan pertumbuhan jumlah klorofil total telah memenuhi kriteria. Kriteria ini terpenuhi karena selisih antara *Adj R-squared* dan nilai *Pred R-square* kurang dari 0,2 serta nilai dari *Adeq Presicion* lebih besar dari yang diinginkan [29]. Dapat disimpulkan bahwa dengan persamaan yang dibentuk oleh *Design Expert 13* untuk memprediksi respon laju pertumbuhan spesifik dan pertumbuhan klorofil total *Ulva* sp. dapat digunakan modelnya.

**Tabel 7.** Analisis Model Matematika Respon Laju Pertumbuhan Spesifik dan Pertumbuhan Klorofil Total

Respon	Model Matematika	$R^2$	Adj $R^2$ Model	Pred $R^2$ Model	Adeq Precision
LPS	Kuadratik	0,9353	0,8891	0,7588	12,8458
Pertumbuhan klorofil total	Kuadratik	0,9821	0,9693	0,9420	25,3574

## Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Perbandingan hasil budidaya *Ulva* sp. yang dilakukan dalam penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

	Penelitian Saat Ini	Penelitian Terdahulu <a href="#">[12]</a>
Jenis Alga	<i>Ulva</i> sp.	<i>Ulva</i> sp.
Lama Waktu Pemeliharaan	10 hari	10 hari
Sumber Cahaya	Lampu LED	Matahari
Lama Penyinaran	12 jam	12 jam
pH	6,5 – 8,5	7,9 – 8,0
Suhu	24 – 26°C	29 – 31°C
Salinitas	35 – 37 ppt	30 – 31 ppt
Laju Pertumbuhan Spesifik	1,3%	1,5%
Pertumbuhan Klorofil Total	8,04 mg/L	3,78 mg/L

Berdasarkan Tabel 8, laju pertumbuhan spesifik yang dihasilkan pada penelitian ini lebih kecil dibandingkan laju pertumbuhan spesifik dari penelitian lain. Hal ini kemungkinan disebabkan karena *Ulva* sp. yang digunakan pada penelitian ini merupakan *Ulva* sp. dari Bali, sedangkan *Ulva* sp. yang digunakan oleh penelitian lain berasal dari Mataram, sehingga memiliki karakteristik yang berbeda. Meskipun hasil laju pertumbuhan spesifik yang diperoleh tidak sebesar pada penelitian sebelumnya, namun pada penelitian kali ini memiliki kelebihan yaitu klorofil total yang dihasilkan lebih tinggi. Alga dengan nilai klorofil yang lebih tinggi dapat memaksimalkan perkembangannya talus pada alga [\[12\]](#).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai derajat keasaman atau pH pada wadah penelitian berkisar 6,5 – 8,5, suhu berada diantara 24 – 26°C, dan salinitas 35 – 37 ppt. Laju pertumbuhan spesifik yang paling optimal berada pada intensitas 3414,21 lux dengan jumlah nutrisi 1,2 mg/L menghasilkan laju pertumbuhan spesifik sebesar 1,3%. Begitu pula dengan klorofil total yang paling optimal berada pada intensitas 3414,21 lux dengan jumlah nutrisi 1,2 mg/L menghasilkan klorofil total sebesar 8,04 mg/L. Hasil analisis data dari *Analysis of Variance* (ANOVA) model respon laju pertumbuhan spesifik dan pertumbuhan jumlah klorofil total pada *Ulva* sp. menghasilkan data yang baik jika ditinjau dari nilai *p-value* yang memiliki nilai kurang dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa model yang digunakan signifikan. Nilai *Lack of Fit* pada respon laju pertumbuhan spesifik dan pertumbuhan kadar klorofil total menunjukkan hasil yang tidak signifikan dengan nilai ketidaksesuaian untuk laju pertumbuhan spesifik sebesar 0,5335 dan ketidaksesuaian model kadar klorofil sebesar 0,6614.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LP2M Universitas Jember atas pendanaan hibah melalui Skema Penelitian MBKM dengan nomor kotrak 3576/UN25.3.1/LT/2023. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Rezi's Batik yang sudah menjadi mitra MBKM.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. B. F. Amaral, R. P. Reis, M. A. d. O. Figueiredo and A. d. G. Pedrini, "*Decadal shifts in macroalgae assemblages in impacted urban lagoons in Brazil*," *Ecological Indicators*, vol. 85, pp. 869-877, 2018.
- [2] A. I. Eismann, R. P. Reis, A. F. d. Silva and D. N. Cavalcanti, "*Ulva spp. carotenoids: Responses to environmental conditions*," *Algal Research*, vol. 48, 2020.
- [3] Á. Israel and M. Shpigel, "*Photosynthetic CO<sub>2</sub> uptake by Ulva (Chlorophyta) as a potential contribution to global warming containment*," *Journal of Applied Phycology*, 2023.
- [4] T. Handayani, "Karakteristik dan aspek biologi *Ulva Spp. (Chlorophyta, Ulvaceae)*," *Oseana Majalah Ilmiah Semi Populer*, vol. 41, no. 1, pp. 1-8, 2016.
- [5] J. Arun, R. Raghu, S. S. M. Hanif, P. Thilak, D. Sridhar, N. Nirmala, S. Dawn, R. Sivaramakrishnan, N. T. L. Chi and A. Pugazhendhi, "*A Comparative Review on Photo And Mixotrophic Mode of Algae Cultivation: Thermochemical Processing of Biomass, Necessity of Bio-Oil Upgrading, Challenges And Future Roadmaps*," *Applied Energy*, vol. 325, 2022.
- [6] E. Steinbruch, J. Wise, K. Levkov, A. Chemodanov, Á. Israel, Y. D. Livney and A. Golberg, "*Enzymatic Cell Wall Degradation Combined with Pulsed Electric Fields Increases Yields of Water-Soluble-Protein Extraction From The Green Marine Macroalga Ulva Sp.*," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 84, 2023.
- [7] M. Shpigel, D. B.-E. J. Y. L. Guttman and S. Chen, "*Is Ulva sp. able to be an efficient biofilter for mariculture effluents?*," *Journal of Applied Phycology*, vol. 31, p. 2449–2459, 2019.
- [8] T. Ramachandra, M. D. Madhab, S. Shilpi and N. Joshi, "*Algal Biofuel From Urban Wastewater In India: Scope and Challenges*," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 21, pp. 767-777, 2013.
- [9] L. R. Putri, A. Slamet and J. Hermana, "Pengaruh Penambahan Glukosa Sebagai Co-substrate dalam Pengolahan Air Limbah Minyak Solar Menggunakan Sistem High Rate Alga Reactor (HRAR)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 3, no. 2, pp. D94-D97, 2014.
- [10] Zunnuraini, N. Cokrowati and N. Diniarti, "Profil Klorofil Selada Laut *Ulva Sp.* dengan Umur Panen Yang Berbeda Pada Budidaya Terkontrol," *e-Journal Budidaya Perairan*, vol. 11, no. 1, pp. 68-78, 2023.
- [11] C. Carl, R. d. Nys and N. A. Paul, "*The Seeding and Cultivation of a Tropical Species of Filamentous Ulva for Algal Biomass Production*," *PLoS ONE*, vol. 9, 2014.
- [12] F. Fitri, N. Cokrowati and S. Y. Lumbessy, "Budidaya Rumput Laut *Ulva sp.* Pada Kepadatan Berbeda Dengan Menggunakan Sistem Aerasi," *Media Akuatika: Jurnal Ilmiah Jurusan Budidaya Perairan*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2023.
- [13] J. A. Zertuche-González, J. M. Sandoval-Gil, L. K. Rangel-Mendoza, A. I. Gálvez-Palazuelos, J. M. Guzmán-Calderón and C. Yarish, "*Seasonal and interannual production of sea lettuce*," *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 52, no. 5, pp. 1-12, 2021.

- [14] W. D. Septiani, A. Slamet and J. Hermana, "Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap Laju Pertumbuhan Alga dan Bakteri Heterotropik pada Sistem HRAR," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [15] P. d. A. M. Widyawati, "Pengaruh Berbagai Sumber Nitrogen dalam Meningkatkan Pertumbuhan Rumput Laut *Euclima cottoni* yang Dipelihara dalam Wadah Terkontrol," *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, vol. 5, no. 2, pp. 93-99, 2019.
- [16] M. Muktiniati, M. Junaidi and B. D. H. Setyono, "Nitrogen Absorption Rate in *Kappaphycus alvarezii* with a Longline System in the IMTA (Integrated MultiTrophic Aquaculture) Area at Ekas Bay," *Jurnal Biologi Tropis*, vol. 22, no. 3, pp. 815-823, 2022.
- [17] S. Nurmalawati, C. Banon and Devirizanty, "Validasi dan Verifikasi Metode Uji Fosfat dengan Spektrofotometer UV-VIS di Laboratorium Kimia," *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp. 68-76, 2021.
- [18] Sumiati, "Penggunaan Pelarut Etanol dan Aseton pada Prosedur Kerja Ekstraksi Total Klorofil Daun Jati (*Tectona grandis*) dengan Metode Spektrofotometri," *Indonesian Journal of Laboratory*, vol. 4, no. 1, pp. 30-35, 2021.
- [19] A. I. Nur, H. Syam and Patang, "Pengaruh Kualitas Air Terhadap Produksi Rumput Laut (*Kappaphycus alvarezii*)," *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, vol. 2, pp. 27-40, 2016.
- [20] Ira, Rahmadani and N. Irawati, "Komposisi Jenis Makroalga di Perairan Pulau Hari Sulawesi Tenggara (Spesies Composition of Makroalga in Hari Island, South East Sulawesi)," *Jurnal Biologi Tropis*, vol. 18, no. 2, pp. 141-158, 2018.
- [21] M. Riry, H. Sinay and R. L. Karuwal, "*Morphological Characterization of Brown Algae Turbinaria sp From The Coastal Water of Aboru Village Central Maluku*," *Jurnal Biologi Tropis*, vol. 22, no. 2, pp. 449-454, 2022.
- [22] Sapitri, A.R. and Cokrowati, N., "Pertumbuhan Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii* Hasil Kultur Jaringan Pada Jarak Tanam yang Berbeda". *Jurnal Ilmu Perairan*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [23] Afriza, Z., Diansyah, G., & Sunaryo, A. I, "Pengaruh Pemberian Pupuk Urea (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O) Dengan Dosis Berbeda Terhadap Kepadatan Sel dan Laju Pertumbuhan *Porphyridium Sp.* Pada Kultur Fitoplankton Skala Laboratorium". *Maspuri Journal: Marine Science Research*, vol. 7, no. 2, pp. 33-40. 2015.
- [24] F. zainuddin and T. Nofianti, "Pengaruh Nutrient N dan P terhadap Pertumbuhan Rumput Laut pada Budidaya Sistem Tertutup," *Jurnal Perikanan*, vol. 12, no. 1, pp. 115-124, 2022.
- [25] M. Oktafiani and J. Hermana, "Pengaruh Konsentrasi Nutrien dan Konsentrasi Bakteri Pada Produksi Alga Dalam Sistem Bioreaktor Proses Batch," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [26] Ramadhayanti, A., 2017. Analisis Komparasi. In: *Modul Statistik*. Jakarta: s.n.
- [27] Budiono, R., Sugiarti, D., Nurzaman, M., Setiawati, T., Supriatun, T. and Mutaqin, A.Z., "Kerapatan stomata dan kadar klorofil tumbuhan *Clausena excavata* berdasarkan perbedaan intensitas cahaya". Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek, 2016.
- [28] Setyanti, Y.H., Anwar, S. and Slamet, W., "Karakteristik fotosintetik dan serapan fosfor hijauan alfalfa (*Medicago sativa*) pada tinggi pemotongan dan pemupukan nitrogen yang berbeda". *Animal Agriculture Journal*, vol. 2, no. 1, pp.86-96, 2013.
- [29] Hepi, D. A., Yulianti, N. L. & Setiyo, Y., 2021. Optimasi Suhu Pengeringan dan Ketebalan Irisan pada Proses Pengeringan Jahe Merah (*Zingiber Officinale var. rubrum*) dengan Response Surface Methodology (RSM). *Jurnal Biosistem dan Teknik Pertanian*, 9(1).

- [30] Rosnawati, R., Cokrowati, N., & Diniarti, N. “Response of Light Intensity to The Carotenoid Content of Sea Grape *Caulerpa* sp”. *Jurnal Natur Indonesia*, vol. 20, no. 2, 41-49, 2022.