

PERFORMA FOTOSINTESIS *Kappaphycus* sp. (strain Sumba) YANG DIUKUR BERDASARKAN EVOLUSI OKSIGEN TERLARUT PADA BEBERAPA TINGKAT SUHU DAN CAHAYA

Lideman^{*)#} dan Asda Laining^{**)}

^{*)} Balai Perikanan Budidaya Air Payau

^{**)} Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau

(Naskah diterima: 2 Februari 2015; Revisi final: 5 Maret 2015; Disetujui publikasi: 11 Maret 2015)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan cahaya terhadap laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. (strain Sumba) yang diukur berdasarkan perubahan oksigen terlarut. Pengukuran laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. pertama-tama dilakukan pada suhu 20°C, 24°C, 28°C, dan 32°C pada tingkat cahaya 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ untuk mendapatkan kurva fotosintesis versus suhu (kurva P-T). Selanjutnya, pengukuran laju fotosintesis dilakukan pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C dengan intensitas cahaya 9, 22, 46, 58, 87, 137, 245, 353, 487, 608, dan 789 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dan juga pengukuran laju respirasi pada tingkat cahaya 0 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ untuk menghasilkan kurva fotosintesis versus cahaya (kurva P-I). Beberapa parameter fotosintesis yaitu: laju fotosintesis maksimum (P_{max}), koefisien fotosintesis (α), intensitas cahaya jenuh (E_k), dan intensitas cahaya kompensasi (E_c) dihitung dengan cara memplotkan kurva P-I terhadap model persamaan regresi non linear $P = \{P_{\text{max}} \times \tanh(\alpha / P_{\text{max}} \times I)\} + R_d$. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa laju fotosintesis tertinggi sebesar 6,92 $\mu\text{g O}_2 \text{ g}_{\text{ww}}^{-1} \text{ min}^{-1}$ dicapai pada suhu 28°C dengan tingkat cahaya 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C, laju fotosintesis mencapai tingkat maksimum (P_{max}) pada intensitas cahaya (E_k) 86,1; 154,2; dan 162,4 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Suhu yang optimum untuk aktivitas fotosintesis berkorelasi erat dengan suhu pada lingkungan budidaya di alam.

KATA KUNCI: budidaya, cahaya, fotosintesis, *Kappaphycus* sp., suhu

ABSTRACT: *Photosynthetic performances of Kappaphycus sp. (Sumba strain) as measured by dissolved oxygen evolution at several temperatures and light intensities. By: Lideman and Asda Laining*

The objective of this experiment was to determine the effect of temperature and light intensity (irradiance) on the photosynthesis of *Kappaphycus* sp. (Sumba strain) as measured by evolution of dissolved oxygen. At the first experiment, photosynthetic rate was measured at temperatures of 20°C, 24°C, 28°C, and 32°C at irradiance of 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in order to obtain photosynthesis versus temperature curve (P-T curve). At temperatures of 20°C, 24°C, and 28°C, measuring of photosynthetic rate was carried out at irradiance of 9, 22, 46, 58, 87, 137, 245, 353, 487, 608, and 789 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and also measuring of respiration rate was at 0 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in order to generate photosynthesis versus irradiance curve (P-I curve). Several photosynthetic parameters such as maximum photosynthetic rate (P_{max}), photosynthetic coefficient (α), saturation irradiance (E_k) and compensation irradiance (E_c) were estimated by plotting P-I curve to non linear regression model of $P = \{P_{\text{max}} \times \tanh(\alpha / P_{\text{max}} \times I)\} + R_d$. The result showed that the highest photosynthetic rate of 6.92 $\mu\text{g O}_2 \text{ g}_{\text{ww}}^{-1} \text{ min}^{-1}$ was obtained at temperature of 28°C with light intensity of 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. At temperatures of 20°C, 24°C, and 28°C, photosynthesis rate reaches their maximum value (P_{max}) at irradiance (E_k) of 86.6, 154.2, and 162.4 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. Optimum temperature for photosynthesis activity was related to temperature in their natural habitat.

KEYWORDS: aquaculture, light intensity, photosynthesis, *Kappaphycus* sp., temperature

Korespondensi: Balai Perikanan Budidaya Air Payau.
Ds. Bontole Kec. Galesong Selatan Kab. Takalar, Ujung Pandang
92254. Indonesia. Tel. (0411) 720730
E-mail: lideman@yahoo.com

PENDAHULUAN

Genus *Eucheuma* dan *Kappaphycus* (*red algae*) adalah rumput laut yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi karena kandungan karagenannya. Karagenan ini digunakan pada berbagai industri seperti: industri makanan, kosmetik, tekstil, dan farmasi karena dapat berfungsi sebagai pengental, pengemulsi, penggumpal, dan pengisi material. Sejak tahun 2008, Indonesia merupakan negara penghasil terbesar *cottonii* (*Kappaphycus alvarezii*) di dunia dan pada tahun 2009, sebanyak 94% produksi *cottonii* di dunia berasal dari Indonesia dan Filipina (Bixler & Porse, 2011).

Budidaya *Kappaphycus alvarezii* secara komersial sudah berkembang di Filipina sejak tahun 1960-an dengan menggunakan varietas lokal dari alam (Parker, 1974). Budidaya *Kappaphycus* ini juga berhasil dikembangkan di Cina (Wu *et al.*, 1989), Madagascar (Mollion & Braud, 1993) dan Vietnam (Ohno *et al.*, 1996). Di Indonesia, berbagai strain *Kappaphycus alvarezii* telah dibudidayakan di antaranya adalah: *Sakol*, *Tambalang*, *Cottonii*, dan *Sumba*. Strain *Sumba* diduga berasal dari Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur, sedangkan *Sakol* dan *Tambalang* berasal dari Filipina yang diintroduksi ke Indonesia pada tahun 1990-an.

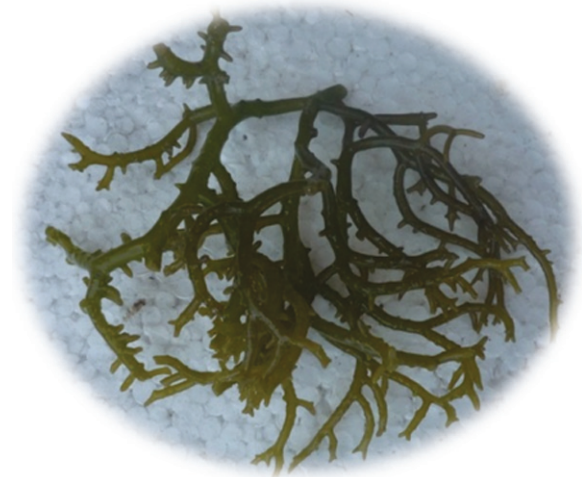
Beberapa studi mengenai *Eucheuma* dan generanya telah banyak dilakukan meliputi: karakteristik pertumbuhan, kandungan karagenan, dan konservasi (Dawes *et al.*, 1974; Paula *et al.*, 2001; 2002; Hung *et al.*, 2009). Studi mengenai fisiologi banyak dilakukan pada strain-strain yang berasal dari alam terutama yang berasal dari Filipina dan sangat terbatas dilakukan pada strain hasil budidaya.

Salah satu aspek fisiologis yang perlu dikaji pada *Eucheuma* adalah laju fotosintesis, proses yang sangat penting dalam pertumbuhan rumput laut untuk mengonversi cahaya menjadi energi kimia seperti gula dan molekul bahan organik (Lobban & Harrison, 1997). Faktor utama yang memengaruhi laju fotosintesis adalah: suhu dan cahaya. Studi mengenai performa fotosintesis *Kappaphycus* sp. (strain *Sumba*) dengan metode evolusi oksigen pada suhu dan cahaya yang berbeda perlu dilakukan untuk dijadikan acuan dalam mengoptimalkan sistem budidayanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan cahaya terhadap laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. (strain *Sumba*) yang diukur berdasarkan perubahan oksigen terlarut.

BAHAN DAN METODE

Koleksi Sampel

Sampel rumput laut yang digunakan pada penelitian ini adalah *Kappaphycus* sp. (strain *Sumba*) (Gambar 1), famili Solieriaceae (Rhodophyta) yang dibudi-



Gambar 1. *Kappaphycus* sp. (strain *Sumba*) hasil budidaya

Figure 1. Cultured *Kappaphycus* sp. (*Sumba* strain)

dayakan di Desa Punaga Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan (5°34'56.62"N, 119°27'42.56"E). Rumput laut yang telah diambil ditampung pada wadah styrofoam yang berisi air laut lalu dibawa ke Laboratorium *Marine Botany*, Fakultas Perikanan, Kagoshima University, Japan. Selama pengangkutan, suhu dalam styrofoam dipertahankan kurang lebih 20°C. Selama proses adaptasi di laboratorium, *Kappaphycus* sp. dipelihara dalam akuarium berukuran 2,0 m x 1,0 m x 0,5 m dengan salinitas 30 ppt; pH 8,0; cahaya 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, suhu 20°C dan siklus cahaya 14 jam terang : 10 jam gelap.

Pengukuran Laju Fotosintesis pada Suhu yang Berbeda

Pengukuran laju fotosintesis ini dilakukan pada empat tingkat suhu yaitu: 20°C, 24°C, 28°C, dan 32°C dengan cahaya (*irradiance*) sebesar 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Tingkat cahaya ini lebih tinggi dari tingkat saturasi cahaya (*saturation irradiance; E_k*) yang diperoleh dari kurva *photosynthetic versus irradiance (P-I)* menggunakan lampu *metal-halide* sebagai sumber cahaya yang telah dicoba pada berbagai makro-alga (Nishihara *et al.*, 2004). Percobaan ini dilakukan dengan empat ulangan.

Pengukuran *irradiance* dilakukan dengan menggunakan sensor quantum pada air LI-193SA (LI-250; Li-Cor Inc., Nebraska). Suhu diatur dan dipertahankan dengan menggunakan pengontrol suhu air (Coolnit CL-80F, Taitec, Inc., Tokyo). Laju fotosintesis dihitung berdasarkan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen; mg/L*) tiap lima menit selama 30 menit. Setiap pengukuran, sampel diaklimatisasi selama 30 menit. Oksigen terlarut diukur menggunakan prob polarographic DO meter (Model 58, and 5100, YSI Incorporated, Ohio) (Gambar 2).



Gambar 2. Peralatan yang digunakan untuk mengukur evolusi oksigen terlarut, antara lain: DO meter, pengatur suhu air, akuarium, botol BOD yang berisi air laut steril, probe DO meter

Figure 2. Equipments used for measuring evolution of dissolved oxygen (DO): DO meter, water temperature regulator, aquarium, BOD bottle containing sterilized sea water, and DO meter probe

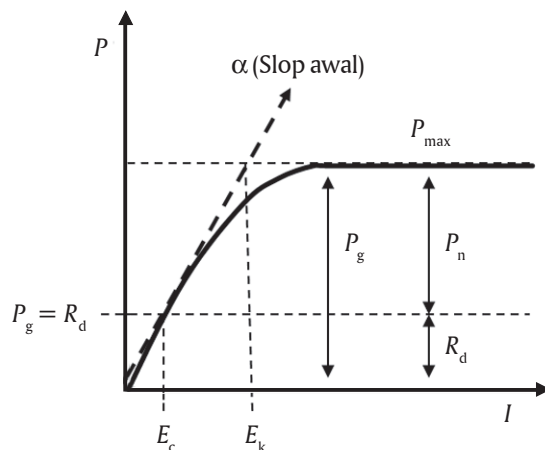
Eksplan yang digunakan pada penelitian ini berukuran 0,3-0,5 g basah (g_{ww}). Eksplan yang telah dipotong dari talusnya diaklimatisasi selama semalam

dengan air laut steril di dalam inkubator (Muraoka *et al.*, 1998; Serisawa *et al.*, 2001). Sebelum pengukuran dimulai, eksplan dimasukan ke dalam botol BOD yang berisi 99,2 mL air laut steril. Sensor DO diletakkan dalam air laut steril tersebut tanpa gelembung udara (*bubbles*), kemudian air laut steril tersebut diputar dengan menggunakan *stirer* yang ada pada prob DO meter. Pengukuran laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. selanjutnya dilakukan pada suhu yang telah ditentukan yaitu 20°C, 24°C, 28°C, dan 32°C pada tingkat cahaya 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk mendapatkan kurva fotosintesis versus suhu (kurva *P-T*).

Pengukuran Laju Fotosintesis pada Cahaya (*Irradiance*) yang Berbeda

Pengukuran laju fotosintesis pada percobaan ini dilakukan pada sebelas tingkat cahaya yaitu: 9, 22, 46, 58, 87, 137, 245, 353, 487, 608, and 789 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ dan laju respirasi diukur pada intensitas cahaya 0 $\text{photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Pengukuran laju fotosintesis dan laju respirasi ini dilakukan pada tiga suhu yang berbeda yaitu 20°C, 24°C, dan 28°C. Pengukuran dilakukan dengan empat ulangan. Metode pengukuran laju fotosintesis pada percobaan ini sama dengan metode sebelumnya yaitu dengan mengukur konsentrasi oksigen terlarut (mg/L) setiap lima menit selama 30 menit dengan menggunakan DO meter.

Parameter-parameter fotosintesis diperoleh dengan cara memplotkan model *P-I* (*Photosynthesis versus Irradiance*) terhadap kurva *P-I* (Gambar 3) untuk



Sumber (Source):
Loban & Harrison (1997)

Gambar 3. Model kurva *P-I* yang digunakan untuk men-estimasi parameter-parameter fotosintesis. P = Laju fotosintesis, I = Intensitas cahaya, P_n = Laju fotosintesis bersih, P_{max} = Laju fotosintesis maksimum (kondisi di mana fotosintesis mengalami kejenuhan), R_d = Laju respirasi, α = Slop awal laju fotosintesis (koefisien fotosintesis), E_k = Cahaya jenuh (P_{max} / α ; adalah cahaya yang menyebabkan fotosintesis mengalami kejenuhan (α bersilangan dengan P_{max})), E_c = Cahaya kompensasi ($P_g = R_d$ atau R_d / α ; adalah cahaya yang menyebabkan laju fotosintesis sama dengan laju respirasi)

Figure 3. *P-I* curve model used for estimating photosynthetic parameters. P = Photosynthetic rate, I = Irradiance, P_n = Net photosynthetic rate, P_{max} = Maximum photosynthetic rate, R_d = Respiration rate, α = Initial slope (coefficient photosynthesis), E_k = Saturation irradiance (P_{max} / α), E_c = Compensation irradiance ($P_g = R_d$ or R_d / α)

tiap tingkatan suhu dengan menggunakan regresi *non linear least squares* berdasarkan persamaan berikut:

$$P = \{P_{\max} \times \tanh(\alpha / P_{\max} \times I)\} + R_d$$

di mana:

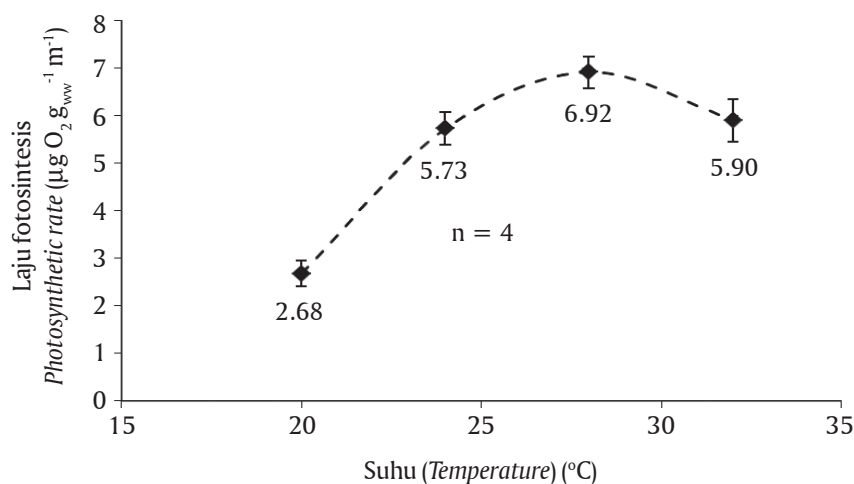
P = Laju produksi O_2 , P_{\max} = Laju produksi maksimum O_2 , α = *Initial slope* (kemiringan awal) dari kurva fotosintesis versus cahaya (kurva $P-I$), I = Intensitas cahaya (*irradiance*), dan R_d = Laju respirasi gelap (Jassby & Platt, 1976; Henley, 1993). *Saturation irradiance* (E_k) dihitung dengan rumus: P_{\max} / α dan *compensation irradiance* (E_c) dihitung dengan rumus: R_d / α (Schubert *et al.*, 2006).

Kondisi penelitian untuk pengukuran laju fotosintesis pada beberapa tingkat suhu dan cahaya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu dan cahaya terhadap laju fotosintesis *Kappaphycus* sp.
Table 1. Experiment condition to know effect of temperature and irradiance on photosynthetic rate of *Kappaphycus* sp.

Kondisi Condition	Pengaruh suhu dan cahaya terhadap laju fotosintesis Effect of temperature and light intensity on photosynthetic rate	
	Pengaruh suhu Temperature effect	Pengaruh cahaya Irradiance effect
Suhu (Temperature) (°C)	20, 24, 28, 32	20, 24, 28
Intensitas cahaya (Irradiance) ($\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	353	0, 9, 22, 46, 58, 87, 137, 245, 353, 487, 608, 789
Bobot eksplan (Explant weight) (g)	0.3-0.5	0.3-0.5
Parameter (Parameters)	***)	***)
Media (Medium)	Air laut steril (Sterilized sea water)	Air laut steril (Sterilized sea water)
Ulangan (Replication)	4 ulangan (4 replicates)	4 ulangan (4 replicates)

Keterangan (Note): *** Evolusi DO tiap lima menit selama 30 menit (DO evolution every five minutes for 30 minutes)



Gambar 4. Laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. pada suhu 20°C, 24°C, 28°C, dan 32°C (kurva $P-T$) dengan tingkat *irradiance* 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bar adalah standar deviasi. Pengukuran laju fotosintesis dilakukan dengan empat ulangan

Figure 4. Photosynthetic rate of *Kappaphycus* sp. at temperatures of 20°C, 24°C, 28°C, and 32°C ($P-T$ curve) at *irradiance* of 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Bar indicates the standard deviation. Photosynthetic rate was measured in four replicates

HASIL DAN BAHASAN

Pengaruh Suhu Terhadap Laju Fotosintesis

Laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. pada suhu 20°C, 24°C, 28°C, dan 32°C dengan tingkat *irradiance* 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Gambar 4). Laju fotosintesis tertinggi adalah 6,92 $\mu\text{g O}_2 \text{ g}_{\text{ww}}^{-1} \text{ min}^{-1}$ terjadi pada suhu 28°C, kemudian diikuti oleh 5,90 dan 5,73 $\mu\text{g O}_2 \text{ g}_{\text{ww}}^{-1} \text{ min}^{-1}$ berturut-turut terjadi pada suhu 32°C dan 24°C. Selanjutnya, laju fotosintesis terendah adalah 2,68 $\mu\text{g O}_2 \text{ g}_{\text{ww}}^{-1} \text{ min}^{-1}$ terjadi pada suhu 20°C.

Pengaruh Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis

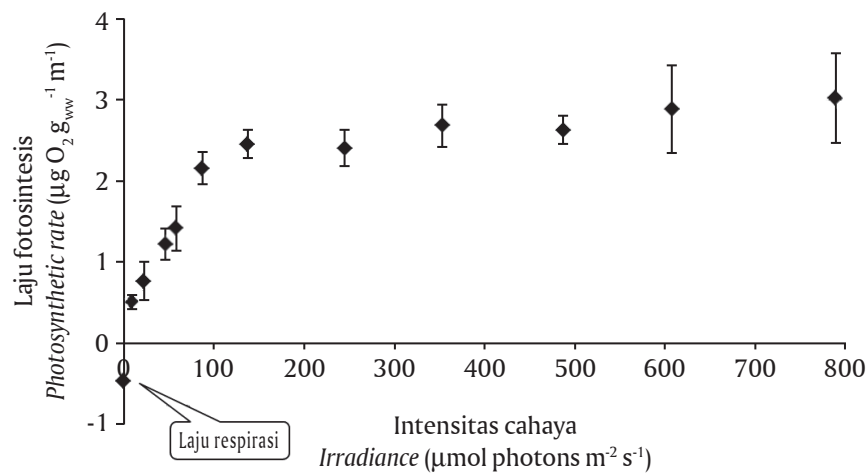
Laju fotosintesis *Kappaphycus* sp. dapat dimodel dengan bentuk *hyperbolic tangent* dari persamaan

yang didasarkan pada kurva *P-I*. Laju respirasi (R_d) *Kappaphycus* sp. pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C berturut-turut adalah -0,47; -0,73 dan -1,18 $\mu\text{g O}_2 \text{g}_{\text{ww}}^{-1} \text{min}^{-1}$. Selanjutnya, laju fotosintesis pada suhu 20°C meningkat tajam mulai *irradiance* 9 sampai 137 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dan meningkat perlahan sampai *irradiance* mencapai 245 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Gambar 5). Pada suhu 24°C dan 28°C, laju fotosintesis meningkat tajam melalui *irradiance* 9 sampai 245 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dan meningkat perlahan sampai *irradiance* mencapai 353 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Gambar 6 dan 7). Laju fotosintesis maksimum (P_{max}) adalah 3,2; 6,2; dan

7,2 $\mu\text{g O}_2 \text{g}_{\text{ww}}^{-1} \text{min}^{-1}$ berturut-turut pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C.

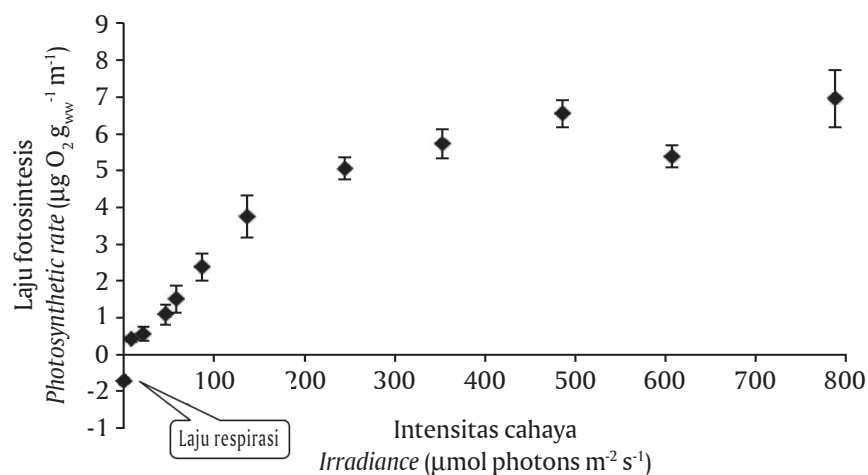
Parameter Fotosintesis *Kappaphycus* sp.

Parameter-parameter fotosintesis yang diperoleh dari penelitian ini secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2. Parameter-parameter fotosintesis yang diperoleh dari model yang diplotkan pada kurva *P-I* (Gambar 8) menunjukkan bahwa laju fotosintesis maksimum (P_{max}) adalah 3,2; 6,2; dan 7,6 $\mu\text{g O}_2 \text{g}_{\text{ww}}^{-1} \text{min}^{-1}$ berturut-turut untuk suhu 20°C, 24°C, dan 28°C. Selanjutnya, *saturation irradiance* (E_k) berturut-turut



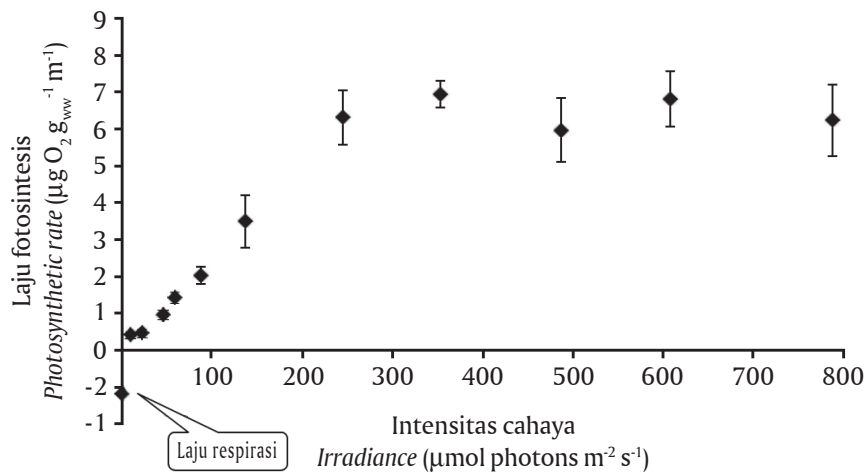
Gambar 5. Laju fotosintesis dan respirasi *Kappaphycus* sp. pada beberapa tingkat cahaya (kurva fotosintesis versus cahaya; kurva *P-I*) dan suhu 20°C. Bar adalah standar deviasi. Pengukuran laju fotosintesis dan respirasi dilakukan empat ulangan

Figure 5. Photosynthetic rate and respiration rate of *Kappaphycus* sp. at several light intensity (photosynthesis versus irradiance curve; *P-I* curve) and temperature of 20°C. Bar indicates the standard deviation. Photosynthetic rate and respiration rate were measured in four replicates



Gambar 6. Laju fotosintesis dan respirasi *Kappaphycus* sp. pada beberapa tingkat cahaya (kurva fotosintesis versus cahaya; kurva *P-I*) dan suhu 24°C. Bar adalah standar deviasi. Pengukuran laju fotosintesis dan respirasi dilakukan empat ulangan

Figure 6. Photosynthetic rate and respiration rate of *Kappaphycus* sp. at several light intensity (photosynthesis versus irradiance curve; *P-I* curve) and temperature of 24°C. Bar indicates the standard deviation. Photosynthetic rate and respiration rate were measured in four replicates



Gambar 7. Laju fotosintesis dan respirasi *Kappaphycus* sp. pada beberapa tingkat cahaya (kurva fotosintesis versus cahaya; kurva P-I) dan suhu 28°C. Bar adalah standar deviasi. Pengukuran laju fotosintesis dan respirasi dilakukan empat ulangan

Figure 7. Photosynthetic rate and respiration rate of *Kappaphycus* sp. at several light intensity (photosynthesis versus irradiance curve; P-I curve) and temperature of 28°C. Bar indicates the standard deviation. Photosynthetic rate and respiration rate were measured in four replicates

Tabel 2. Estimasi parameter fotosintesis *Kappaphycus* sp. pada beberapa tingkat suhu 20°C, 24°C dan 28°C
Table 2. Estimated photosynthetic parameters of *Kappaphycus* sp. at temperature of 20°C, 24°C, and 28°C

Parameters fotosintesis Photosynthetic Parameters	Suhu (Temperature) (°C)		
	20	24	28
P_{max} = Laju fotosintesis maksimum (Maximum photosynthetic rate) (µg O ₂ g _{ww} ⁻¹ min ⁻¹)	3.2	6.2	7.6
R_d = Laju respirasi (Respiration rate) (µg O ₂ g _{ww} ⁻¹ min ⁻¹)	-0.47	-0.73	-1.18
α = Slop awal (koefisien fotosintesis) (Initial slope (coefficient photosynthesis))	0.0372	0.0402	0.0468
E_k = Intensitas cahaya jenuh (Saturation irradiance) (µmol photons m ⁻² s ⁻¹)	86.1	154.2	162.4
E_c = Intensitas cahaya kompensasi (Compensation irradiance) (µmol photons m ⁻² s ⁻¹)	12.6	18.2	25.2

Keterangan (Note):

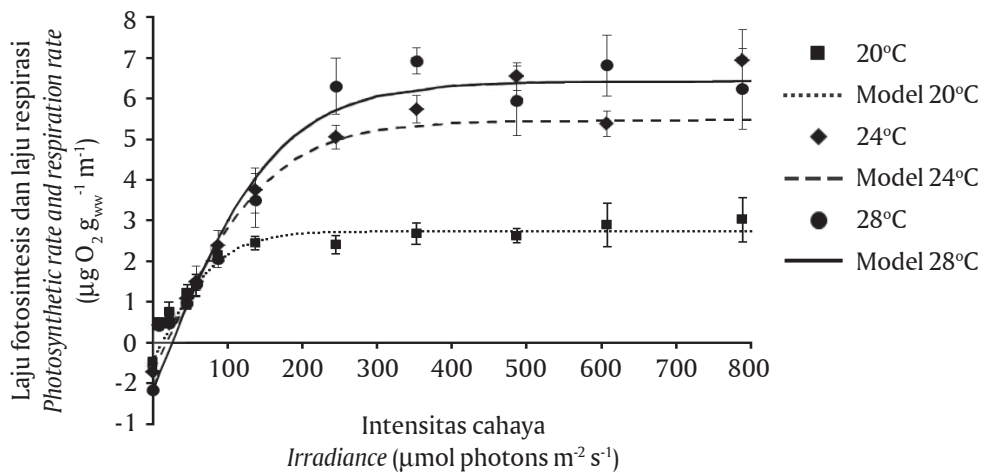
E_k adalah intensitas cahaya yang menyebabkan laju fotosintesis mencapai tingkat jenuh, dan E_c adalah intensitas cahaya yang menyebabkan laju fotosintesis sama dengan laju respirasi (E_k is light intensity that causing photosynthetic rate become saturating and E_c is light intensity that causing equal level of photosynthetic rate and respiration rate)

untuk suhu 20°C, 24°C, dan 28°C adalah 86,1; 154,2; dan 162,4 µmol photons m⁻² s⁻¹. Sementara itu, compensation irradiance (E_c) adalah 12,6; 18,2; 25,2 µmol photons m⁻² s⁻¹ untuk suhu berturut-turut 20°C, 24°C, dan 28°C.

Proses fotosintesis *Kappaphycus* sp. yang paling aktif terjadi pada suhu 28°C dibandingkan dengan suhu 32°C, 24°C, dan 20°C. Suhu optimum hasil penelitian ini termasuk dalam kisaran suhu optimum 22°C-33°C untuk aktivitas fotosintesis *Kappaphycus* sp. yang diukur menggunakan chlorophyll fluorescence menggunakan alat Pulse Aplitude Modulation (PAM)-

chlorophyll fluorometry (Lideman *et al.*, 2013). Studi lainnya menunjukkan bahwa *K. alvarezii* mempunyai laju pertumbuhan tertinggi pada suhu 25°C-28°C (Ohno *et al.*, 1994) dan laju fotosintesis untuk *Eucheuma denticulatum* terjadi pada kisaran suhu 23°C-32°C (Lideman *et al.*, 2013).

Laju fotosintesis tertinggi terjadi pada suhu 28°C yang diperoleh pada penelitian ini sangat berhubungan dengan suhu di perairan laut tropis Indonesia yang berkisar 25°C-30°C (Tomascik *et al.*, 1997) yang merupakan habitat *Kappaphycus* sp. Hubungan yang erat antara suhu optimum untuk proses fotosintesis



Gambar 8. Model kurva *P-I* *Kappaphycus* sp. (strain Sumba) pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C yang diperoleh dengan cara memplotkan pada kurva *P-I* dengan menggunakan rumus $P = \{P_{\max} \times \tanh(\alpha / P_{\max} \times I)\} + R_d$

Figure 8. *P-I* curve model of *Kappaphycus* sp. (strain Sumba) at temperature of 20°C, 24°C and 28°C obtained by fitting to *P-I* curve using equation of $P = \{P_{\max} \times \tanh(\alpha / P_{\max} \times I)\} + R_d$

dengan suhu habitat rumput laut yang diperoleh pada penelitian ini juga terjadi pada spesies sub-tropis. Laju fotosintesis tertinggi yang diukur berdasarkan perubahan oksigen terlarut untuk spesies daerah sub-tropis *Meristotheca papulosa* terjadi pada suhu 24°C (Lideman *et al.*, 2011). Sementara itu, kisaran suhu yang optimal untuk aktivitas fotosintesis *Meristotheca papulosa* dan *Meristotheca coacta* yang diukur menggunakan metode *chlorophyll fluorescence* keduanya adalah 18°C-28°C (Lideman *et al.*, 2012).

Model regresi *non linear* pada kurva fotosintesis versus suhu (*P-I* curve) yang berbentuk *hyperbolic tangent* (Lobban & Harrison, 1997) adalah bentuk umum yang hampir terjadi pada semua spesies makroalga (Gambar 8), bentuk seperti ini juga terjadi pada *Kappaphycus alvarezii* (Schubert *et al.*, 2006). Nilai P_{\max} menggambarkan potensi kapasitas fotosintesis dari suatu makroalga. Adanya perbedaan nilai laju fotosintesis maksimal (P_{\max}) menunjukkan bahwa aktivitas fotosintesis sangat dipengaruhi oleh suhu, begitu juga dengan produksi oksigen, di mana pada tiap tingkatan suhu tertentu akan menghasilkan produksi oksigen yang berbeda pula. Dari tiga tingkatan suhu yang diujikan yaitu 20°C, 24°C, dan 28°C diperoleh nilai P_{\max} tertinggi pada suhu 28°C, sebagai perbandingan nilai P_{\max} *Kappaphycus alvarezii* (spesies berwarna hijau dan coklat berasal dari Filipina) dicapai pada suhu 30°C (Wobeser *et al.*, 2001).

Intensitas cahaya jenuh (E_k) pada ketiga tingkat suhu menunjukkan nilai yang meningkat (86,1; 154,2; dan 162,4 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sesuai dengan peningkatan suhu (20°C, 24°C, dan 28°C). Hal ini didukung juga oleh data nilai koefisien fotosintesis

(α) yang meningkat sejalan meningkatnya suhu, α menggambarkan suatu kecepatan laju fotosintesis terhadap peningkatan cahaya sampai mencapai nilai laju fotosintesis maksimum (P_{\max}). Nilai intensitas cahaya kompensasi (E_c) di mana terjadi laju fotosintesis dan respirasi yang sama nilainya, juga meningkat sesuai dengan peningkatan suhu. Sebagai perbandingan, nilai E_k *Kappaphycus* sp. yang diukur dengan metode *chlorophyll fluorescence* yang menggunakan alat *Pulse Amplitude Modulation* (PAM)-*chlorophyll fluorometry* pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C berturut-turut adalah 113,6; 131,4; dan 149,3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Lideman *et al.*, 2013). Adanya perbedaan nilai E_k ini diduga karena pada metode *chlorophyll fluorescence* tidak melihat adanya laju respirasi (R_d) tetapi hanya melihat *electron transport* yang terjadi pada *photosystem II* proses fotosintesis. Namun demikian, nilai E_k ini mendekati nilai yang dihasilkan dengan metode perubahan oksigen terlarut yang dilakukan pada penelitian ini.

Saturation irradiance (E_k) dan *compensation irradiance* (E_c) menunjukkan nilai yang meningkat dengan meningkatnya suhu air. Data ini memberikan gambaran bahwa kebutuhan cahaya akan meningkat jika suhu air meningkat. Informasi ini dapat digunakan untuk menduga bahwa kedalaman yang diperlukan untuk pemeliharaan *Kappaphycus* di laut pada musim kemarau berbeda dengan musim hujan karena perbedaan suhu air pada kedua musim tersebut. Namun demikian, penelitian skala lapangan perlu dilakukan dengan menggunakan model yang diperoleh dari pengamatan skala laboratorium seperti yang diperoleh pada penelitian ini. Selanjutnya, peningkatan

kebutuhan cahaya yang sejalan dengan peningkatan suhu memberikan gambaran bahwa jika terjadi *global warming* di habitat alaminya, maka rumput laut ini akan tumbuh pada daerah yang lebih dangkal karena di daerah tersebut intensitas cahayanya relatif lebih tinggi. Nilai E_k (cahaya yang dibutuhkan dan menyebabkan laju fotosintesis maksimum), dan juga E_c (tingkat cahaya yang menunjukkan tingkat fotosintesis dan respirasi seimbang) dapat digunakan untuk menentukan kedalaman optimal dalam kegiatan budidayanya di laut dan dapat pula diaplikasikan pada kegiatan polikultur *Kappaphycus* sp. dengan udang atau ikan.

Dari sudut pandang akuakultur, perubahan kondisi lingkungan perlu diantisipasi dalam rangka perbaikan produktivitas budidaya *Kappaphycus* sp. Parameter P_{max} menggambarkan suatu kapasitas makroalga dalam melakukan aktivitas fotosintesis, sehingga untuk memaksimalkan produktivitas budidaya maka pengetahuan tentang suhu dan cahaya sangat penting untuk diketahui. Selanjutnya, suhu optimum yang diperoleh untuk aktivitas fotosintesis berhubungan erat dengan suhu yang ada di daerah areal budidayanya di Indonesia (Soegiarto *et al.*, 1976; Nonji, 1993, Tomascik *et al.*, 1997, Amin *et al.*, 2008). Selain itu, cahaya yang dibutuhkan untuk mencapai laju fotosintesis maksimum pada suhu antara 28°C adalah 162,4 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, hasil ini berada dalam kisaran yang ada di sekitar lokasi budidaya di Punaga, Sulawesi Selatan yaitu pada siang hari dan kedalaman antara 0,5 sampai 1 m (700 m dari pinggir pantai) berkisar antara 1,482 sampai 109 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Lideman *et al.*, 2013). Namun demikian, kondisi cahaya yang melebihi kebutuhan untuk aktivitas optimal kegiatan untuk fotosintesis (lebih dari 164,4 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) diduga terjadi pada saat musim kemarau, hal ini terlihat dari warna *Kappaphycus* sp. yang dipelihara di bagian permukaan air mempunyai warna yang relatif lebih pucat jika dibandingkan dengan yang dipelihara agak dalam, sehingga diduga bahwa pada musim kemarau tidak perlu memelihara rumput laut ini di dekat permukaan air laut. Kondisi suhu dan cahaya optimum untuk proses fotosintesis yang berkorelasi erat dengan lingkungan budidaya di Indonesia ini menjelaskan mengapa kegiatan budidaya *Kappaphycus* sp. ini di Indonesia bisa berkembang dengan baik.

KESIMPULAN

Suhu optimum untuk aktivitas fotosintesis *Kappaphycus* sp. yang diperoleh adalah 28°C dan berhubungan erat dengan suhu yang ada di lingkungan budidayanya. Pada kisaran suhu 20°C-28°C, laju fotosintesis mencapai tingkatan maksimum berkisar cahaya antara 86,1-162,4 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (E_k),

dan juga fotosintesis akan mencapai nilai yang sama dengan laju respirasi kisaran cahaya 12,6-25,2 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (E_c). Adanya perbedaan nilai *saturating irradiance* (E_k) dan *compensation irradiance* (E_c) pada suhu yang berbeda menunjukkan bahwa dapat dilakukan pengaturan kedalaman pada kegiatan budidaya *Kappaphycus* sp. di Indonesia pada musim kemarau dan musim hujan. Perbedaan laju fotosintesis pada tingkat suhu dan cahaya yang berbeda menunjukkan bahwa produktivitas makroalga ini sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini disponsori oleh *Grant-in-Aid for Scientific Research* (#22510033) yang berasal dari Menteri Education, Culture, Sport, Science and Technology (MEXT) Jepang dan Program *Strategy for Fostering Young Scientist* di Universitas Nagasaki yang disponsori oleh *Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology* pada Menteri MEXT.

DAFTAR ACUAN

- Amin, M., Rumayar, T.P., Femmi, N.F., Keemur, D., & Suwitra, I.K. (2008). The assessment of seaweed (*Eucheuma cottonii*) growing practice of different systems and planting seasons in Bangkep Regency Central Sulawesi. *Indonesian Journal of Agriculture*, 1(2), 132-139.
- Bixler, H.J., & Porse H. (2011). A decade of change in seaweed hydrocolloids industry. *J. Appl. Phycol.*, 23, 321-335.
- Dawes, C.J., Mathieson, A.C., & Cheney, D.P. (1974). Ecological studies of Floridian *Eucheuma* (Rhodophyta, Gigartinales). I. Seasonal Growth and Reproduction. *Bull. Mar. Sci.*, 24, 235-273
- Henley, W. J. (1993). Measurement and interpretation of photosynthetic light-response curves in algae in the context of photo inhibition and diel changes. *J. Phycol.*, 29, 729-739.
- Hung, L.D., Hori, K., Nang, H.Q., Kha, T., & Hoa, L.T. (2009). Seasonal changes in growth rate, carrageenan yield and lectin content in the red alga *Kappaphycus alvarezii* cultivated in Camranh Bay, Vietnam. *J. Appl. Phycol.*, 21, 265-272.
- Jassby, A.D., & Platt, T. (1976). Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 540-547.
- Lideman, Nishihara, G.N., Noro, T., & Terada, R. (2011). *In vitro* growth and photosynthesis of three edible seaweeds, *Betaphycus gelatinus*, *Eucheuma serra*, and *Meristotheca papulosa* (Solieriaceae, Rhodophyta). *Aquaculture Sci.*, 59(4), 563-571.
- Lideman, Nishihara, G.N., Noro, T., & Terada, R. (2012).

- Effect of temperature and light on the photosynthesis performance of two edible seaweeds, *Meristotheca coacta* Okamura and *Meristotheca papulosa* J. Agard (Solieraceae Rhodophyta). *Aquaculture Sci.*, 60(30), 377-388.
- Lideman, Nishihara, G.N., Noro, T., & Terada, R. (2013). Effect of temperature and light on the photosynthesis as measured by chlorophyll fluorescence of *Eucheuma denticulatum* and *Kappaphycus* sp. (Sumba Strain) from Indonesia. *Journal of Applied Phycology*, 25(2), 399-406. DOI 10.1007/s10811-012-9874-5.
- Lobban, C.S., & Harrison, P.J. (1997). Seaweeds ecology and physiology. Cambridge University Press. Cambridge, 384 pp.
- Muraoka, D., Yamamoto, H., Yasui, H., & Terada, R. (1998). Formation of wound tissue of *Gracilaria chorda* Holmes (Gracilaceae) in culture. Hokkaido Univ., *Bull. Fac. of Fish.*, 49, 31-39.
- Mollion, J., & Braud, J.P. (1993). A eucheuma (Solieriaceae, Rhodophyta) cultivation test on the South-west Coast of Madagascar. *Hydrobiologia*, 260/261, 373-378.
- Nishihara, G.N., Terada, R., & Noro, T. (2004). Photosynthesis and growth rates of *Laurencia brongiartii* J. Agardh (Rhodophyta, Ceramiales) in preparation for cultivation. *J. Appl. Phycol.*, 16, 303-308.
- Nonji, A. (1993). Indonesian Ocean. Djambatan. Jakarta.
- Ohno, M., Largo, D.B., & Ikumoto, T. (1994). Growth rate, carrageenan yield and gel properties of cultured kappa-carrageenan producing red algae *Kappaphycus alvarezii* (Doty) in the subtropical waters of Shikoku, Japan. *J. of Applied Phycol.*, 6, 1-5.
- Ohno, M., Nang, H.Q., & Hirase, S. (1996). Cultivation and carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* in the waters of Vietnam. *J. Appl. Phycol.*, 8, 431-437.
- Parker, H.S. (1974). The culture of the red algal genus eucheuma in the Philippine. *Aquaculture*, 3, 425-439.
- Paula, E.J., Erbert, C., & Pereira, R.T.L. (2001). *In vitro* growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales). *Phycol. Res.*, 49, 155-161.
- Paula, E.J., Pereira, R.T.L., & Ohno, M. (2002). Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *Phycol. Res.*, 50, 1-9.
- Schubert, H., Anderson, M., & Snoeijs, P. (2006). Relationship between photosynthesis and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in two red algae with different carotenoid compositions. *Mar. Biol.*, 149, 1003-1013.
- Serisawa, Y., Yokohama, Y., Aruga, Y., & Tanaka, J. (2001). Photosynthesis and respiration in bladelet of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta) in two localities with different temperature conditions. *Phycological Research*, 49, 1-11.
- Soegiarto, A., Birowo, S., & Sukarno. (1976). Map of Indonesian Ocean. Indonesian Science Institute.
- Tomascik, T., Mah, A.J., Nonji, A., & Moosa, M.K. (1997). The ecology of Indonesian seas. Periplus Editions (HK) Ltd. Jakarta.
- Wobeser, E.A., Figueroa, F.L., & Cabello-Pasini, A. (2001). Fotosintesis and growth of red and green morphotypes of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) from the Philippines. *Marine Biology*, 138, 679-686.
- Wu, C., Li, J., Xia, E., Peng, Z., Tan, S., Li, J., Wen, Z., Huang, X., Cai, Z., & Chen, G. (1989). On the transplantation and cultivation of *Kappaphycus alvarezii* in China. *J. Oceanol. Limnol.*, 7, 327-334.