

ANALYSIS OF PHOTOCHEMICAL PROFILE AND ENDOSYMBION BIOMASS OF CORAL *Symbiodinium* sp

**Moh. Muhaemin¹ · Hengky Mayaguezz¹ ·
Anma Hari Kusuma¹ · Wike Ayu Eka Putri²**

Abstract *Coral reefs are important ecosystems with the highest species diversity on earth. Besides its high ecological and economic value, it turns out that coral reefs are facing global climate change. One of the environmental factors affected by the effects of global climate change is the penetration of sunlight that reaches the earth's surface. Symbiodinium as a coral endosymbiont turns out to have an adaptation pattern that is correlated with environmental conditions, especially light. The research focused on the interaction between solar radiation and Symbiodinium and its biochemical profiles, which have an important meaning for coral reef ecology and its recovery when affected by excessive light. In addition, it opens up opportunities for the use of light as a triggering factor for the production of certain biochemical compounds in*

cells. The micro-habitat conditions in the laboratory are made in such a way that it can provide penetration of light intensity that is at the optimal or extreme threshold for Symbiodinium. The measured light intensity is expected to trigger the process of cellular adaptation and the production of certain biochemical compounds in cells. The results are expected to show that light has a significant effect on changes in the content of biochemical compounds in Symbiodinium biomass. The increase in light intensity is expected to guide cells to increase the concentration of lipids and intracellular fibers.

Keywords: *Symbiodinium, resilience, photoresponse, endosymbiont*

¹ Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Lampung, Lampung, ²Program Studi Ilmu Kelautan, FMIPA, Universitas Sriwijaya
E-Mail: moh.muhaemin@fp.unila.ac.id

PENDAHULUAN

Terumbu karang merupakan ekosistem penting dengan keragaman yang tinggi di bumi (Kuguru *et al.*, 2010). Disamping nilai ekologis dan ekonomisnya yang tinggi, ternyata terumbu karang sedang menghadapi perubahan iklim global berupa peningkatan karbondioksida di atmosfer yang memicu peningkatan suhu permukaan air laut dan penurunan pH (asidifikasi). Peningkatan CO₂ atmosfer akan menurunkan kemampuan ozon dalam menghambat penetrasi radiasi ultraviolet (RUV) ke permukaan bumi. Baruch *et al.* (2005) menyatakan bahwa kondisi penetrasi radiasi matahari diluar ambang batas ataupun ekstrim dapat menjadi kontributor pemutihan pada karang. Penetrasi kontinu UV-B dengan panjang gelombang 290-320 nm mampu mempengaruhi fotosintesis dan meningkatkan produksi *reactive oxygen species* (ROS) sehingga meningkatkan peluang rusaknya DNA, protein dan membran lipid endosimbion karang (Symbiodinium). Keberadaan simbiosis (Symbiodinium) erat kaitannya dengan kondisi terumbu, sehingga dapat digunakan antara lain untuk prediksi pertumbuhan rangka terumbu (AlHammady, 2013), efek perubahan tahunan suhu permukaan laut terhadap terumbu (Piggot *et al.*, 2009), efek perubahan suhu permukaan laut inisial terhadap terumbu pengasaman laut (Noonan *et al.*, 2013), penggunaan sianida terhadap terumbu (Cervino *et al.*, 2003), tekanan suhu terhadap terumbu (Strychar dan Sammarco, 2012), bahkan kontribusi pola pewarnaan pada terumbu (Oswald *et al.*, 2007). Symbiodinium sebagai endosimbion karang ternyata memiliki pola adaptasi yang berkorelasi dengan kondisi lingkungannya terutama cahaya. Di

sisi lain Brown *et al.* (1999) menyatakan bahwa pengamatan pada interaksi antara radiasi matahari dengan Symbiodinium beserta pigmennya, terutama saat pemutihan, berarti penting bagi terumbu karang dan pemulihannya. Jones *et al.* (2000) menjelaskan bahwa terdapat kecenderungan tipe Symbiodinium tertentu di ekosistem terumbu karang Australia dengan rentang toleransi lebih sempit (stenofotik) akan cenderung memilih habitat yang terlindung untuk mengurangi efek buruk radiasi matahari. Lebih lanjut Kuguru *et al.* (2010) menjelaskan bahwa di Laut Merah, Symbiodinium tipe C1 hanya hidup di perairan dangkal dengan penetrasi cahaya tinggi pada selang kedalaman 1-6 m; sedangkan Symbiodinium D1a mampu hidup hingga kedalaman 18-20m dengan penetrasi cahaya yang rendah. Kuguru *et al.* (2010) menjelaskan bahwa pada kondisi alami, mikroorganisme laut termasuk diantaranya Symbiodinium, mampu menangkap sinar matahari untuk berfotosintesis dengan bantuan pigmen klorofil.

Selama proses fotosintesis, organisme autotrop mengubah atom karbon dari karbondioksida dan air menjadi molekul glukosa dan oksigen. Glukosa dan oksigen hasil fotosintesis biasanya berlebih dan kelebihan tersebut biasanya disimpan sebagai cadangan, dan atau diberikan kepada organisme lain (misalkan inang) seperti pada Symbiodinium endosimbion karang. Symbiodinium telah mengembangkan beberapa strategi untuk mendapatkan makanan. Selain mendapatkan makanan dari inang, Symbiodinium pun memiliki klorofil sebagai pewarna intraseluler dan untuk memproduksi makanan sendiri melalui proses fotosintesis. Cahaya matahari akan berinteraksi dengan atmosfer sebelum sampai ke permukaan air. Setelah

mencapai permukaan air, cahaya yang sampai di kolom air akan diteruskan, diserap, atau dibelokkan. Cahaya yang menembus kolom air akan mengalami gradasi energi. Gradasi energi tersebut menyangkut energi matahari yang berhubungan dengan perubahan intensitas cahaya temporal dan kemampuan penetrasi 3 cahaya di kolom air. Perubahan intensitas cahaya temporal terjadi karena posisi relatif matahari terhadap suatu tempat di bumi baik harian ataupun musiman. Kemampuan penetrasi cahaya dengan energi yang lebih kecil berpanjang gelombang lebih panjang, hanya akan mampu menembus kolom air yang dangkal. Sedangkan cahaya dengan energi yang besar berpanjang gelombang pendek akan mampu menembus kolom air hingga ke lapisan yang lebih dalam. Cahaya pada panjang gelombang sinar tampak akan diteruskan walau dengan kedalaman penetrasi yang berbeda. Spektrum cahaya merah akan dengan cepat diabsorpsi oleh air laut sehingga hanya memiliki kedalaman penetrasi ± 15 m. Spektrum cahaya biru dengan panjang gelombang yang lebih kecil dari spektrum cahaya merah mampu menembus hingga kedalaman ± 33 m. Perbedaan kedalaman penetrasi cahaya sinar tampak tersebut dapat menyebabkan organisme autotrop laut tidak mendapatkan cukup sinar matahari untuk melakukan fotosintesis. Sebagai konsekuensinya, sebagian besar organisme autotrop mengembangkan adaptasi dengan memproduksi pigmen asesoris. Pigmen asesoris tersebut selanjutnya digunakan oleh organisme autotrop termasuk *Symbiodinium* untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis dengan menangkap spektrum cahaya biru dan hijau pada panjang gelombang sinar tampak (Davy *et al.*, 2012).

Pengaruh radiasi sinar matahari terhadap *Symbiodinium* telah banyak dilakukan di kondisi alaminya. Dominasi kombinasi alami variasi musiman yang tampak pada peningkatan densitas dan konsentrasi pigmen *Symbiodinium* terjadi justru di saat cahaya matahari dan suhu air laut mengalami penurunan terutama di kawasan sebaran terumbu karang seperti di Thailand (Brown *et al.*, 1999; Fitt *et al.*, 2000). Oleh sebab itu respon spesifik cahaya terhadap dinamika kandungan senyawa biokimia dan pigmen dalam sel *Symbiodinium* perlu dilakukan untuk menduga tingkat adaptasi spesifiknya pada tingkat populasi. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis respon spesifik *Symbiodinium* terhadap cahaya.

METODE

Inang (*Zoanthus* sp.) yang digunakan sebagai sumber *Symbiodinium* spp. diperoleh dari ekosistem terumbu karang di Pulau Pahawang, Lampung. Inang yang telah dikumpulkan selanjutnya ditempatkan dalam kontainer yang berisi air laut dan segera dibawa ke laboratorium Oseanografi Jurusan Perikanan dan Ilmu Kelautan FP Unila. *Symbiodinium* spp. target diperoleh dengan menghancurkan jaringan inang karang berjenis *Zoanthus* sp, jaringan tersebut selanjutnya disaring dengan saringan berukuran mesh size 0,45 μ m, dan dihomogenisasi pada MFSW (*millipore filtered sea water*) dengan menggunakan homogenizer. Suspensi yang diperoleh selanjutnya disentrifugasi (500 rpm selama 2 menit) dan dilarutkan dalam MFSW sebanyak dua kali untuk membersihkan lendir yang

berasal dari jaringan inang. Pemurnian *Symbiodinium* spp. merupakan tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan monokultur dengan tingkat kemurnian >95%. Pemurnian dilakukan untuk menghindari tumbuhnya berbagai biokontaminan dan pesaing alami *Symbiodinium* spp..

Monokultur *Symbiodinium* dilakukan di Laboratorium Budidaya Pakan Hidup Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut (BBPBL) Hanura Lampung. Monokultur *Symbiodinium* dilakukan dengan menggunakan media cair dan penambahan pupuk cair Conway (Tabel 1) dengan penambahan silikat (1: 1000 v/v), pH 7-8, dan salinitas 32- 33 PSU. Stok *Symbiodinium* ditempatkan pada tabung Erlenmeyer bervolume 1 l di ruangan bersuhu 23-25 °C, intensitas cahaya 150-175 $\mu\text{mol foton/m}^2 / \text{detik}$ (atau setara 1 buah lampu Philips TL 36W) dengan rasio fotoperiode 16T:8G, dan diberikan aerasi kecil. Inokulasi kultur disegarkan dengan mengganti media kultur yang telah digunakan dengan media kultur steril yang baru setiap dua minggu.

Pengamatan kepadatan sel *Symbiodinium* dilakukan dengan menggunakan Neubauer haemocytometer cell counter. Sejumlah sampel (1 ml) ditempatkan pada bagian tengah haemocytometer dan ditutup dengan gelas penutup. Sampel tersebut selanjutnya diamati dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 10x10 kali. Penghitungan kepadatan sel dilakukan dengan metode pencacahan jumlah sel. Kepadatan sel mikroalgae yang sebenarnya (sel/ml) dapat dihitung dengan mengalikan jumlah sel hasil pencacahan tersebut dengan 25×10^5 .

Parameter uji yang dilakukan pada penelitian adalah analisis kimia

yang meliputi kadar air (AOAC, 2005) dengan metode oven, kadar abu (AOAC, 2005) dengan metode muffle furnace, kadar protein dengan metode Lowry menurut (Apriyantono *et al.*, 1989), kadar lemak (AOAC, 2005) dengan metode Soxhlet, Protein larut air dengan metode Biuret (Ladrat *et al.*, 2003), serta protein larut garam menggunakan metode Biuret (Jin *et al.*, 2003).

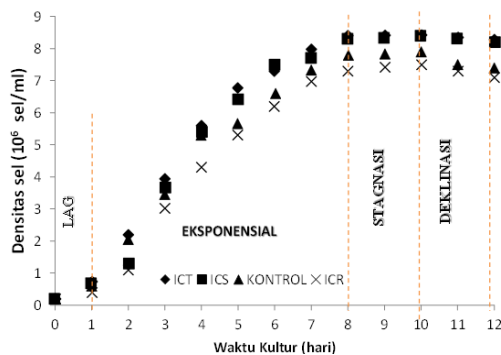
Analisis data selanjutnya dilakukan dengan menggunakan piranti lunak ExcelStat. Data akan ditampilkan secara multidimensional dengan menggunakan uji beda nilai tengah pada selang kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelimpahan, fase pertumbuhan, dan Biovolume sel Symbiodinium sp

Densitas sel *Symbiodinium* spp. sebagai respon terhadap perbedaan intensitas cahaya kontinu yang diberikan selama kultur disajikan pada Gambar 1. Secara umum terdapat 4 (empat) fase pertumbuhan *Symbiodinium* spp., yaitu fase lag, eksponensial, stagnasi, dan deklinasi. Keempat fase pertumbuhan tersebut dapat dicapai pada waktu yang bersamaan oleh *Symbiodinium* spp. pada semua unit perlakuan dan tidak menampakkan perbedaan yang signifikan pada $\alpha=0,05$. Fase lag diduga dicapai pada waktu < 1 hari kultur. Fase eksponensial diduga dicapai pada rentang waktu 1 hingga 8 hari kultur. Fase stagnasi diduga dicapai pada rentang waktu 9 hingga 10 hari kultur. Fase deklinasi diduga dicapai pada rentang waktu 10 hingga 12 hari kultur. Analisis terhadap perubahan densitas sel pada tiap fase pertumbuhan dapat

dikembangkan lebih lanjut menjadi laju pertumbuhan sel. Laju pertumbuhan sel dapat digunakan untuk memprediksi secara lebih baik fase-fase pertumbuhan sel. Laju pertumbuhan *Symbiodinium spp.* pada setiap fase pertumbuhan dan total disajikan pada Gambar 4. Secara umum tampak bahwa laju pertumbuhan *Symbiodinium spp.* berbeda pada setiap fase pertumbuhan.



Gambar 1. Kelimpahan dan fase pertumbuhan sel *Symbiodinium sp* pada intensitas cahaya yang berbeda. ICT=intensitas cahaya tinggi; ICS=intensitas cahaya sedang; ICR= intensitas cahaya rendah.

Laju pertumbuhan pada fase lag tidak teridentifikasi karena diduga fase tersebut telah terjadi pada kurun waktu < 1 hari kultur. Fase lag biasanya ditandai dengan nilai laju pertumbuhan yang relatif fluktuatif pada rentang nilai yang kecil. Laju pertumbuhan tertinggi dicapai pada fase eksponensial pada kisaran nilai 1,00 hingga 1,12. Laju pertumbuhan fase eksponensial biasanya ditandai dengan peningkatan yang cukup signifikan pada nilai laju tersebut ($\geq 1,0$). Laju pertumbuhan pada fase

stagnan berada pada kisaran 0,00 hingga 0,06, yang biasanya ditandai dengan sangat rendahnya atau tidak adanya peningkatan nilai laju ($\approx 0,0$). Laju pertumbuhan terendah pada fase deklinasi pada kisaran -0,07 hingga -0,20, yang biasanya ditandai dengan rendahnya nilai laju pertumbuhan bahkan memungkinkan bernilai negatif ($< 0,0$). Secara umum, tidak dijumpai perbedaan yang signifikan pada kelimpahan dan laju pertumbuhan *Symbiodinium sp* sebagai respon terhadap perbedaan intensitas cahaya. Hal tersebut ditunjukkan nilai $p > 0,05$ ($t_{hitung} > t_{\alpha}$). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pemberian perlakuan berupa intensitas cahaya pada rentang dibawah dan diatas nilai intensitas optimal cenderung tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan *Symbiodinium sp* tersebut. Atau dengan kata lain, *Symbiodinium sp* masih mampu mentolelir rentang intensitas yang diberikan sehingga diindikasikan bahwa biota tersebut masih mampu melakukan berbagai proses fisiologis tanpa merasa terganggu dengan intensitas pada rentang yang diperlakukan tersebut. Kruger dan Gates (2012) menyatakan bahwa *Symbiodinium spp.* akan menampilkan respon pertumbuhan berupa fase lag, eksponensial, stagnasi, dan deklinasi. Fase-fase pertumbuhan tersebut akan memiliki karakteristik laju pertumbuhan tersendiri dan berbeda satu dengan lainnya. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka intensitas cahaya yang diujikan cenderung tidak memberikan pengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan atau laju pertumbuhan cenderung tidak bisa digunakan untuk menggambarkan

fotorespon *Symbiodinium* spp. terhadap intensitas cahaya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan intensitas cahaya cenderung tidak memberikan pengaruh yang nyata pada densitas dan laju pertumbuhan sel *Symbiodinium* spp. ($p > 0,05$). Wooldridge (2013) menyatakan bahwa laju pertumbuhan populasi *Symbiodinium* memang lebih rendah jika dibandingkan jenis mikroalga laut lainnya. Kecenderungan rendahnya laju pertumbuhan tersebut diduga digunakan untuk menyasiasi 'keterbatasan' ruang dan makanan saat bersimbiosis dengan karang sebagai inang. Karang sebagai inang hanya menyediakan lapisan endodermis sebagai tempat hidup sehingga *Symbiodinium* menyasiatinya dengan menekan pertumbuhan populasinya agar ruang yang tersedia cukup untuk ditempati.

Tabel 1. Hubungan waktu kultur dan biovolume sel (V_b) *Symbiodinium* sp pada intensitas cahaya yang berbeda. Peubah X=waktu kultur (hari); Peubah Y=biovolume sel.

| Perlakuan | Deskripsi | |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|
| | Model Persamaan Linier | Koefisien deterministik (R^2) |
| ICT | $Y=7,94X+287,56$ | 0,83 |
| ICS | $Y=7,88X+281,12$ | 0,91 |
| K | $Y=0,68X+280,52$ | 0,91 |
| ICR | $Y=-5,74X+283,05$ | 0,98 |

Karang pun hanya mensuplai makanan berupa hasil ekskresinya dari hasil metabolismenya saja sehingga *Symbiodinium* menyasiatinya dengan menekan laju metabolismenya agar tidak berlebihan dan cukup untuk kebutuhannya dan karang sebagai inang. Tabel 2 menunjukkan model

persamaan linier dua variabel yang digambarkan oleh nilai slope/gradien dan konstanta beserta nilai koefisien deterministik penggunaan model linier tersebut. Nilai koefisien peubah hari kultur pada ICT, ICS, dan K yang bernilai positif (+) selama 12 hari kultur, menunjukkan adanya kecenderungan bahwa V_b *Symbiodinium* spp. akan cenderung bertambah besar dengan semakin meningkatnya hari kultur ($V_{bICT} > V_{bICS} > V_{bK}$). Nilai koefisien peubah hari kultur pada ICR bernilai negatif (-) menunjukkan adanya kecenderungan V_b *Symbiodinium* spp. akan bertambah kecil dengan semakin meningkatnya hari kultur. Nilai R^2 pada semua perlakuan hampir mendekati 1, yang berarti bahwa model persamaan linier tersebut dinilai cukup dapat menduga sebaran data pengamatan pada peubah hari kultur dan biovolume sel. Nilai V_b *Symbiodinium* spp. pada perlakuan ICT berada pada rentang nilai 280-371 μm^3 atau mengalami peningkatan sebesar 32,56 % (rata-rata 2,71 % per hari). Nilai V_b *Symbiodinium* spp. pada perlakuan ICS berada pada rentang nilai 280-364 μm^3 atau mengalami peningkatan sebesar 29,91 % (rata-rata 2,49 % per hari). Nilai V_b *Symbiodinium* spp. pada perlakuan K berada pada rentang nilai 280-289 μm^3 atau cenderung mengalami stagnasi dengan perubahan nilai V_b yang hanya sebesar 2,98 % (rata-rata 0,25 % per hari). Nilai V_b *Symbiodinium* spp. pada perlakuan ICR berada pada nilai 280 μm^3 diawal kultur dan terus menurun hingga bernilai 254 di akhir masa kultur atau mengalami penurunan sebesar 9,30 % (rata-rata 0,77 % per hari).

Secara umum V_b *Symbiodinium* spp. selama kultur menampakkan adanya kecenderungan bahwa V_b

Symbiodinium spp. akan lebih besar pada perlakuan dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi (ICT dan ICS). Pada perlakuan kontrol, Vb cenderung stagnan dan bahkan cenderung mengalami penurunan pada ICR. Uji nilai tengah ($t_{0,05}$) terhadap nilai Vb menunjukkan bahwa terdapat perbedaan fotorespon biovolume *Symbiodinium* spp.. Perlakuan ICT dan ICS tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara keduanya ($p > 0,05$). Perlakuan K dan ICR tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara keduanya ($p > 0,05$). Namun perlakuan ICT dan ICS masing-masing menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap K dan ICR ($p < 0,05$). Perbedaan nilai Vb *Symbiodinium* spp. yang signifikan antara ICT dan ICS dengan K dan ICR menunjukkan bahwa adanya kecenderungan nilai Vb *Symbiodinium* spp. akan membesar saat mengalami perlakuan berupa pemberian intensitas cahaya yang relatif tinggi atau nilai Vb *Symbiodinium* spp. akan cenderung mengecil saat ditempatkan pada intensitas cahaya yang lebih rendah. Penempatan *Symbiodinium* spp. pada intensitas yang lebih tinggi (ICT dan ICS) cenderung memicu peningkatan aktivitas fotosintetik, peningkatan fotosintetat, dan penimbunan fotosintetat di dalam sel yang justru akan memperbesar nilai Vb. Peningkatan biovolume sel *Symbiodinium* spp. diduga berkaitan erat dengan perubahan konsentrasi senyawa dalam sel. Hal tersebut seiring dengan pernyataan Wooldridge (2013) yang mengungkapkan bahwa perubahan biovolume sel *Symbiodinium* spp. bisa disebabkan oleh variasi fotosintetat berbobot molekul rendah (karbohidrat, lemak, ataupun asam amino).

Peningkatan intensitas cahaya akan mempertinggi laju fotosintesis dan berpeluang meningkatkan fotosintetat. Fotosintetat hasil fotosintesis tersebut selanjutnya akan digunakan untuk proses keperluan sendiri dan fotosintetat yang tersisa akan disimpan dalam sel sebagai cadangan makanan ataupun diberikan kepada inang. Fotosintetat yang disimpan dalam sel akan berpeluang memperbesar biovolume sel *Symbiodinium* spp.. Roth (2014) dan Gregoire *et al.* (2015) menjelaskan bahwa 70-80 % cadangan makanan berupa karbohidrat beserta turunannya dan 20-30 % sisanya disimpan dalam bentuk asam amino beserta turunannya.

Lipid, protein, dan karbohidrat intraseluler Symbiodinium sp

Lemak, protein, dan karbohidrat merupakan senyawa penyusun utama komponen senyawa organik sel mikroalga. Ketiganya memiliki unsur pembentuk senyawa yang sama yaitu C (karbon), H (hidrogen), dan O (oksigen); namun pada protein memiliki unsur tambahan berupa N (nitrogen). Pada mikroalga, lipid memiliki beragam fungsi antara lain sebagai penyusun berbagai sistem membran dalam sel, sumber energi metabolik, dan mengatur proliferasi sel. Protein dapat berfungsi sebagai sumber energi metabolik, mengatur perbaikan sel yang rusak, transportasi dan informasi senyawa dalam sel, dan membantu menyusun sistem membran dalam sel. Karbohidrat dapat berfungsi dalam sel dan sumber penyusun lipid dalam sel.

Kandungan senyawa organik menunjukkan bahwa secara umum terdapat kecenderungan peningkatan prosentase rata-rata kandungan pada

semua senyawa organik intraseluler sel *Symbiodinium* spp dengan semakin meningkatnya intensitas yang diberikan.

Prosentase rata-rata kandungan lipid intraseluler pada *Symbiodinium* spp (Tabel 2) berkisar antara 15,12 hingga 17,01. Uji t menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara prosentase rata-rata kandungan lipid intraseluler yang diberikan perlakuan ICR, dan ICS terhadap Kontrol. Namun prosentase rata-rata kandungan lipid intraseluler yang diberikan perlakuan ICT memberikan hasil yang berbeda nyata. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian intensitas cahaya tinggi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap produksi lipid intraseluler sel *Symbiodinium* spp, atau produksi lipid intraseluler sel *Symbiodinium* spp dapat dijadikan indikasi adanya proses adaptasi non-spesifik sel *Symbiodinium* spp terhadap tingginya intensitas cahaya dalam medium. Hal tersebut senada dengan hasil penelitian Wang *et.al* (2013) yang menyatakan bahwa lipid dapat digunakan sebagai senyawa yang mampu meningkatkan sistem proteksi sel terhadap gangguan eksternal. Sel mikroalga akan memperbanyak konsentrasi lipid pada membran sel untuk mempertinggi sistem proteksi dengan cara mempertebal fosfolipid pada *dwi lipid layer*.

Prosentase rata-rata kandungan lipid intraseluler pada *Symbiodinium* spp berkisar antara 23,88 hingga 28,22. Uji t menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara prosentase rata-rata kandungan protein intraseluler yang diberikan perlakuan ICR, dan ICS terhadap Kontrol. Namun prosentase rata-rata kandungan protein intraseluler yang diberikan perlakuan

ICT memberikan hasil yang berbeda nyata. Uji t terhadap koresentasee rata-rata kandungan protein tersebut memiliki kecenderungan hasil yang sama dengan lipid. Muhaemin *et. al.* (2018) menyatakan hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian intensitas cahaya tinggi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap produksi protein dan lipid intraseluler sel *Symbiodinium* spp, atau produksi protein dan lipid intraseluler sel *Symbiodinium* spp dapat dijadikan indikasi adanya proses adaptasi non-spesifik senyawa organik sel *Symbiodinium* spp terhadap tingginya intensitas cahaya dalam medium.

Tabel 2. Kandungan senyawa organik intraseluler (%) rata-rata sel *Symbiodinium* spp.

| Senyawa Organik | Perlakuan | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | ICR | Kontrol | ICS | ICT |
| Lipid | 15,12 ^a | 15,17 ^a | 15,34 ^a | 17,01 ^b |
| Protein | 23,88 ^a | 24,71 ^a | 25,01 ^a | 28,22 ^c |
| Karbohidrat | 40,22 ^a | 40,76 ^a | 41,51 ^a | 41,78 ^a |

Keterangan : Huruf dikanan atas angka pada prosentase senyawa organik yang sama menunjukkan perbedaaan nilai tengah berdasarkan uji t pada selang kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$)

Prosentase rata-rata kandungan karbohidrat intraseluler pada *Symbiodinium* spp berkisar antara 40,22 hingga 41,78. Uji t menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara prosentase rata-rata kandungan protein intraseluler yang diberikan perlakuan ICR, ICS, dan ICT terhadap Kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses metabolik dan biosintesis karbohidrat tidak terpengaruh secara signifikan terhadap keberadaan cahaya pada medium atau bahwa karbohidrat tidak dapat dijadikan sebagai indikator non-spesifik terhadap cahaya.

SIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian adalah Intensitas cahaya tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan maupun fase pertumbuhan biomassa *Symbiodinium* spp. Hal tersebut tampak dari tidak dijumpainya perbedaan yang signifikan pada pergeseran respon pola pertumbuhan dan fase pertumbuhan *Symbiodinium* spp yang diberikan perlakuan cahaya terhadap kontrol. Intensitas cahaya tinggi cenderung mampu meningkatkan produksi lipid dan protein intraseluler *Symbiodinium* spp sehingga lipid dan protein dapat indikasi awal penggunaan lipid dan protein sebagai indikator non-spesifik respon *Symbiodinium* spp terhadap intensitas cahaya tinggi.

PUSTAKA

- Al-Hammady, M.A.M. 2013. The effect of *Symbiodinium* availability on the rates of skeletal growth in the Red Sea coral *Acropora hemprichii*. *Egypt. J. Aquat. Res.* 39: 177-183. DOI: 10.1016/j.ejar.2013.10.005.
- Apriyantono. 1989. *Analisis Pangan*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi IPB.
- Association Official Analytical Chemistry (AOAC). 2005. *Official Methods of Analysis*. Arlington. New York.
- Baruch R, Avishai N, Rabinowitz C. 2005. UV incites diverse levels of DNA breaks in different cellular compartments of a branching coral species. *J. Exp Biol.* 208: 834- 848.
- Brown B, Ambarsari I, Warner M, Fitt W, Dunne R, Gibb S, and Cummings D. 1999. Diurnal changes in photochemical efficiency and xanthophyll concentrations in shallow water reef corals: evidence for photoinhibition and photoprotection. *Coral Reefs.* 18: 99-105. DOI: 10.1007/s003380050163
- Cervino, J.M., R.L. Hayes, M. Honovich, T.J. Goreau, S. Jones, dan P.J. Rubec. 2003. Changes in *Symbiodinium* density, morphology, and mitotic index in hermatypic corals and anemones exposed to cyanide. *Mar. Poll. Bull.* 46: 573-586. DOI: 10.1016/S0025-326x(03)00071-7.
- Davy SK, Denis A, Virginia MW. 2012. Cell biology of cnidarian-dinoflagellate symbiosis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.* 76(2): 229-261.
- Downs C, E, Kramarsky-Winter, C. Woodley, A. Downs, G. Winters, Y. Loya, and G. Ostrander. 2009. Cellular pathology and histopathology of hypo-salinity exposure on the coral *Stylophora pistillata*. *Sci Total Environ.* 407: 4838-4851
- Falkowski P., Z. Dubinsky, L. Muscatine, and L. McCloskey. 1993. Population control in symbiotic corals: ammonium ions and organic molecules maintain the density of *Symbiodinium*. *Bioscience.* 43: 606-611.
- Ferrier-Pages C, Allemand D, Gattuso JP, Jaubert J, Rassoulzadegan F. 1998. Microheterotrophy in the zooxanthellate coral *Stylophora pistillata*: effects of light and ciliate density. *Limnol Oceanogr.* 43: 1639-1648
- Fitt W, F. McFarland, M. Warner, and G. Chilcoat. 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. *Limnol Oceanogr* 45: 677-685

- Grottoli A, Rodrigues L, Palardy J. 2006. Heterotrophic plasticity and resilience in bleached corals. *Nature*. 440: 1186-1189.
- Hill R, Larkam AWD, Prasil O, Kramer DM, Kumar V, Ralph PJ. 2012. Light induced redistribution of antenna complexes in the symbionts of scleractinian corals correlates with sensitivity to coral bleaching. *Coral Reefs*. 31: 963-975.
- Hoegh-Guldberg O., and G.J. Smith. 1989a. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of Symbiodinium from the reef corals *Stylophora pistillata* Esper and *Seriatopora hystrix* Dana. *J Exp Mar Biol Ecol* 129: 279-303. DOI: 10.1016/0022-0981(89)90109-3
- Hoegh-Guldberg O., and G.J. Smith. 1989b. Influence of the population density of Symbiodinium and supply of ammonium on the biomass and metabolic characteristics of the reef corals *Seriatopora hystrix* and *Stylophora pistillata*. *Mar Ecol Prog Ser* 57: 173-186.
- Jin SK, S. Kim, S.J. Kim, K.J. Jeong, Y.J. Choi, and S.J. Hur. 2007. Effect of muscle type and washing times on physico-chemical characteristics and qualities of surimi. *J. Food Engin.* 81: 618-623.
- Jones R.J., S. Ward, A. Yang Amri, and O. Hoegh-Guldberg. 2000. Changes in quantum efficiency of photosystem II of symbiotic dinoflagellates of corals after heat stress, and of bleached corals sampled after the 1998 Great Barrier Reef mass bleaching event. *Mar Freshwat Res* 51: 63-71. DOI: 10.1071/MF99100.
- Kuguru B, Achituv Y, Gruber DF, Tchernov D. 2010. Photoacclimation mechanisms of corallimorpharians on coral reefs: photosynthetic parameters of zooxanthellae and host cellular responses to variation in irradiance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 394: 53-62.
- Ladrat C, V. Verrez, J. Jonel, and J. Fleurence. 2003. In vitro proteolysis of miofibril and sarcoplasmic proteins of white muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *J. Food Chemistry* 81: 517-525.
- Marshall P, and A. Baird. 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs* 19: 155-163. DOI: 10.1007/s003380000086.
- Muhaemin M, Soedharma D, Maduppa HH, Zamani NP. 2018. The effect of light and nitrogen on the lipid and carotenoid production in Symbiodinium. *AES Bioflux*. 10(2): 87-96.
- Noonan, S.H.C., K.E. Fabricus, and C. Humprey. 2013. Symbiodinium community composition in scleractinian corals is not affected by life-long exposure to elevated carbon dioxide. *Plus One*. 8(5):1-10. DOI: 10.1371/journal.pone.0063985.
- Oswald, F., F. Scmitt, A. Leutenegger, S. Ivanchenco, C. D'Angelo, A. Salihi, S. Maslakova, M. Bulina, R. Schirbeck, G.U. Nienhaus, M.V. Matz, and J. Weidenmann. 2007. Contribution of host and symbiont pigments to the coloration of reef corals. *FEBS Journal*. 274: 1102-1109. DOI: 10.1111/j.1742-4658.2007.05661.
- Palardy JE, Rodrigues LJ, Grottoli AG. 2008. The importance of zooplankton to the daily metabolic carbon requirements of healthy and bleached corals at two depths. *J Exp Mar Biol Ecol*. 367: 180-188.

- Piggot A.M., B.W. Fouke, M. Sivaguru, R.A. Sanford, and H.R. Gaskins. 2009. Change in Symbiodinium and mucocyte tissue density as an adaptive response to environmental stress by the coral, *Montastraea annularis*. *Mar.Biol.* 156: 2379- 2389. DOI: 10.1007/S00227-00901267-1.
- Saxby T., W. Dennison, and O. Hoegh-Guldberg. 2003. Photosynthetic response of the coral *Montipora digitata* to cold temperature stress. *Mar Ecol Prog Ser.* 248: 85- 97
- Shenkar N., M. Fine, E. Kramarsky-Winter, and Y. Loya. 2006. Population dynamics of Symbiodinium during a bacterial bleaching event. *Coral Reefs* 25: 223-227 DOI: 10.1007/s00338-006-0090-0
- Strychar K.B., and P.W. Sammarco. 2012. Effects of heat stress on phytopigments of Symbiodinium (*Symbiodinium* spp) symbiotic with the corals *Acropora hyacinthus*, *Porites solida*, and *Favites complanata*. *Inter. J. Biol.* 4(1): 3-19. DOI: 10.5539/IJB.v4n1p3.
- Takahashi S., T. Nakamura, M. Sakamizu, R. van Woesik, and H. Yamasaki. 2004. Repair machinery of symbiotic photosynthesis as the primary target of heat stress for reef-building corals. *Plant Cell Physiol.* 45: 251-255 DOI: 10.1093/pcp/pch028
- Wang, L.H., H.H.Lee, L.S. Fang, A.B. Mayfield, and C.S. Shen. 2013. Fatty acid and phospholipid syntheses are prerequisites for the cell cycle of Symbiodinium and their endosymbiosis within sea anemones. *Plos One.* 8(8): e72486. doi:10.1371/journal.pone.007248
- Kontribusi penulis:** *Muhaemiin, M: analisis laboratorium, analisis data, Merangkum dan menulis pembahasan; Mayaguezz, H: analisis data, menulis manuskrip; dan Kusuma, A.H dan Putri, W. A. E: analisis laboratorium*

