

MODEL KEHIDUPAN ZOOXANTHELLAE DAN PENUMBUHAN MASSALNYA PADA MEDIA BINAAN

Zooxanthellae Life Model and Massalization Growth in the Artificial Environment Waters

Pujiono W. Purnomo¹, Dedi Soedharma¹, Neviaty P. Zamani², Harpasis S. Sanusi²

¹ Program Studi Manajemen Sumberdaya Perikanan
Jurusan Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro Semarang

¹ Program Studi Ilmu Kelautan
Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

Diserahkan : 12 April 2010; Diterima : 20 Juli 2010

ABSTRAK

Zooxanthellae merupakan salah satu biota dalam kelompok dinoflagellata fototropik. Organisme ini selalu hidup bersimbiosis dengan beberapa invertebrata laut. Hubungan antara zooxanthellae dengan karang bersifat mutualistik yang dicirikan dengan adanya ciri transfer nutritif dan fisiologis. Dengan karakter ini, maka hampir tidak ditemukan karang dapat hidup tanpa zooxanthellae. Zooxanthellae mempunyai peranan vital terhadap kehidupan karang maupun biota sessile lainnya. Model hubungan antara zooxanthellae dengan karang diadopsi ke dalam lingkungan binaan untuk mendapatkan model kultur secara massal zooxanthellae di lingkungan binaan. Penelitian bertujuan untuk (a) mengevaluasi faktor pembatas lingkungan yang mendukung pertumbuhan optimum zooxanthellae di lingkungan binaan; (b) mengevaluasi pemurnian budidaya zooxanthellae dan (c) memformulasikan pemeliharaan nutritif dari pertumbuhan maksimum zooxanthellae. Penelitian dilaksanakan antara Agustus 2004 sampai dengan September 2005 di Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa : (a) Irradian optimum untuk pertumbuhan zooxanthellae adalah cahaya hijau (dengan panjang gelombang 490 – 550 nm); (b) Temperatur optimum untuk pertumbuhan zooxanthellae adalah 20 – 25°C dan (c) Penambahan 200 µM NaNO₃ dengan penambahan pada hari 16 dapat mempertahankan pertumbuhan optimum zooxanthellae.

Kata Kunci: Zooxanthellae, Model Kehidupan, Penumbuhan Massal

ABSTRACT

Zooxanthellae are part of the phototropic dinoflagellates. This organism always live as symbiotically with several marine invertebrates. Relationship between zooxanthellae and coral are mutualistic with the transfer nutritif and physiologis character. With this character, no coral can live without zooxanthellae. Zooxanthellae have vital control on the coral and sessile life. Model of relationship between zooxanthellae and coral are adopted in the artificial environment for take the massalization culture zooxanthellae in the artificial environment. This study was purposed to : (a) Evaluating of environment limiting factors to support optimum growth of zooxanthellae in the artificial environment; (b) Evaluating of purification culture of zooxanthellae and (c) Formulating nutritif to maintenance of maximum gorwth of zooxanthellae. The experiment took place in Natural food and Genetic laboratory of Main Centre of Brackishwater Aquaculture Development Jepara from August 2004 to September 2005. The result showed that: (a) The optimum irradiance for growth of zooxanthellae is green radiance (with comparison 490 - 550 nm); (b) The optimum temperature for growth of zooxanthellae are 20 – 25°C and (c) Adding of 200 µM NaNO₃ with repeat again for 16 days,

Key Words: Zooxanthellae, Life Model, Massalization Growth

Pendahuluan

Zooxanthellae merupakan kelompok dinoflagellata fototropik yang umumnya terdapat sebagai endosimbion pada beberapa invertebrata laut (Trench, 1993). Produksi primer yang dihasilkan menyumbang dalam berbagai kehidupan karang. Walaupun semua species karang dapat menggunakan sengan tentakel untuk menangkap mangsanya, namun zooxanthellae menyumbang nutrisi yang besar bagi karang. Di dalam jaringan karang, hidup ribuan zooxanthellae (Sorokin, 1993). Biota ini menghasilkan energi langsung dari cahaya matahari melalui aktifitas fotosintesis. Hubungannya dengan karang bersifat timbal balik yang saling menguntungkan. Karang dapat memperoleh banyak energi dari zooxanthellae, sebaliknya zooxanthellae yang hidup di dalam jaringan tubuhnya memperoleh tempat perlindungan dari pemangsa dan memakai karbondioksida yang dihasilkan karang dari proses metabolismenya. Asosiasi yang erat ini sangat efisien, sehingga karang dapat bertahan hidup bahkan di perairan yang miskin zat hara. Keberhasilan hubungan ini dapat dilihat dari besarnya keragaman dan usia karang yang sudah sangat tua, yang berevolusi pertama kali lebih dari 200 juta tahun yang lalu.

Hubungan zooxanthellae dan karang bukan saja merupakan hubungan nutritif semata, akan tetapi keduanya mempunyai hubungan faali yang bersifat saling ketergantungan. Chambel (1968) mengemukakan bahwa hubungan inang-simbion tersebut mengakar kepada pembentukan jejaring syaraf. Oleh karenanya, sepanjang sejarah hubungan keduanya jarang dan hampir tidak dijumpai karang fakultatif tanpa kehadiran zooxanthellae (Veron, 1995). Peristiwa *bleaching coral* yang terjadi sejak lama (Brown, 1997) hingga saat ini menjadi suatu bukti sejarah hubungan mutualistik keduanya. Meskipun demikian hubungan timbul tenggelam diantara keduanya sering terjadi mengingat sensitifitas satu diantaranya atau kedua-duanya baik oleh pengaruh alamiah maupun tumpang tindihnya dengan pengaruh antropogenik yang bersifat parsial.

Di dalam polyp karang, jumlah zooxanthellae relatif stabil dan proses pertumbuhan maupun proses pelepasannya selama kondisi lingkungan eksternalnya mendukung pola kehidupan keduanya (Drew, 1972; Sorokin, 1993). Dibalik kondisi stabilisasi ini, pada dasarnya keduanya mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan perairan. Kasus coral bleaching yang disebabkan oleh suhu dan irradian serta

sebarannya di lingkungan perairan merupakan contoh terhadap sifat sensitifitasnya. Oleh sebab itu Veron (1995) mengemukakan bahwa kedua peubah tersebut menjadi faktor pengendali bioeogeografi penyebaran terumbu karang di dunia secara latitudinal.

Penelitian tentang model kehidupan zooxanthellae dan penumbuhan massalnya bertujuan untuk : (a) mengevaluasi faktor lingkungan pembatasnya untuk mendukung pertumbuhan optimumnya di lingkungan binaan, (b) mengevaluasi telaah pemurnian zooxanthellae dan (b) memformulasikan rekayasa nutritif untuk mempertahankan pertumbuhannya secara massal. Hasil yang diharapkan dari tujuan tersebut adalah dapat mengadopsi pola hubungan zooxanthellae dan karang dari kondisi alamiah ke kondisi binaan. Mengadopsi hubungan simbiosis zooxanthellae dengan inang karang dari lingkungan alami ke lingkungan binaan sebagai suatu model kehidupannya secara artifisial merupakan suatu terobosan telaah yang sangat berguna. Kegunaannya tidak saja memberikan kemanfaatan terhadap eksistensi terumbu karang dan telaah diversitasnya akan tetapi juga sebagai bekal yang sangat berguna dalam kajian perspektif zooxanthellae sebagai bahan fitokimia untuk kepentingan-kepentingan komersial lainnya.

METODE PENELITIAN

Untuk menghindari bias terhadap model kehidupannya, maka sumber simbiosis zooxanthellae diekstrak dari beberapa sumber inang, yaitu Sea anemon, Tridacna, Acropora, Favites dan Gonaestrea. Contoh diambil dari kawasan lingkungan terumbu karang perairan Pulau Bokor Kabupaten Jepara Jawa Tengah.

Inokulasi dan Pemisahan Zooxanthellae

Inokulasi zooxanthellae menerapkan teknik isolasi zooxanthellae mengikuti cara yang dilakukan oleh Nordemar *et al* (2003). Inang karang dipotong sebesar 50 g, dilanjutkan dengan blending. Hasil blending disentrifugal dengan kecepatan 3.000 rpm selama 10 menit. Sementara itu Sea anemon dan tridacna dipotongkan sebesar 25 gr dan disentrifugasi. Cairan supernatan mengandung zooxanthellae dan diinokulasikan ke dalam media agar DIFCO Bacto-agar (Tabel 1) yang diperkaya vitamin C sebesar 2gr/l sebanyak 25 petri dari masing-masing 5 pengulangan tiap inang. Hasil pembiakan media agar dilanjutkan dengan

penetralsiran ke media cair dengan volume 25 ml.

Tabel 1. Komposisi Kimia Media Agar Bacto

No	Jenis Kimia	Jumlah yang ditambahkan	Stok (g/950 ml Air Laut Tersaring)
1	NaNO ₃	1 ml	75
2	NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	1 ml	5
3	Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O	1 ml	30
4	Larutan Trace Mineral		
	1. FeCl ₃ .6H ₂ O	3,15 g	
	2. Na ₂ EDTA.2H ₂ O	4,36 g	
	3. CuSO ₄ .5H ₂ O	1 ml	9,8
	4. Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	1 ml	6,3
	5. ZnSO ₄ .7H ₂ O	1 ml	22,0
	6. CoCl ₂ .6H ₂ O	1 ml	10
	7. MnCl ₂ .4H ₂ O	1 ml	180
5	Larutan Vitamin		
	1. Vitamin B12	1ml	1
	2. Biotin	10 ml	0,1
	3. Thiamine.HCl	200 mg	

Adaptasi

Hasil pemisahan diadaptasi selama 2 hari, sebagian pemisahan dalam volume 25 ml dilakukan sekuen uji. Sisanya untuk pengurutan sekuen uji. sekuensi pekerjaan adalah :

1. Media dengan pencahayaan neon putih (60 watt), suhu berfluktuasi 24 – 27°C serta penambahan NaNO₃ 6,5 µM;
2. Media dengan pencahayaan neon putih (20 watt), suhu berfluktuasi antara 24 – 27°C serta penambahan NaNO₃ 6,5 µM;
3. Media dengan pencahayaan neon hijau (10 watt), suhu berfluktuasi antara 24 – 27°C serta penambahan NaNO₃ 6,5 µM;
4. Media dengan pencahayaan neon hijau (10 watt), suhu manipulasi berfluktuasi antara 20 – 23°C, serta NaNO₃ 6,5 µM;

Hasil pertumbuhan optimum dilanjutkan peningkatan media secara bertahap hingga 1 liter. Aplikasi media eksternal mempergunakan rekomendasi percobaan adaptasi.

Percobaan Respon Pertumbuhan Zooxanthellae pada Berbagai Tingkat Nutrien

Respon pertumbuhan zooxanthellae memberlakukan zooxanthellae dari sumber inang dan jenjang nutrien dengan pengulangan 3 kali mengikuti aplikasi taraf sebagai berikut : N-1 adalah penambahan NaNO₃ 50 µM; N-2 adalah penambahan NaNO₃ 100 µM; N-3 adalah penambahan NaNO₃ 150 µM; N-4 adalah penambahan NaNO₃ 200 µM; N-5 adalah penambahan NaNO₃ 250 µM. Pengukuran densitas zooxanthellae dilakukan secara harian. Wadah percobaan adalah 1 liter dengan variabel media yang diukur adalah nitrat diukur secara komposit tiap perlakuan; suhu, salinitas dan pH diukur secara harian pada tiap media percobaan.

Percobaan Pemasalan Pertumbuhan Zooxanthellae

Tahap penumbuhan massal yang akan dipergunakan dalam proses pengkayaan zooxanthellae akan dilalui dua tahap :

a. Tahap analisis waktu pengisian ulang nutrien. Adapun model perhitungan pengisian ulang nutrien didasarkan kepada fomulasi sebagaimana diinformasikan oleh Taff (1988), dengan rumus :

Waktu pengisian Kembali =

Jumlah dimana pemesanan utama harus dilakukan X waktu : Jumlah Nutrien yang ditarik

Keterangan :

- *Waktu pengisian kembali*, adalah tenggang waktu untuk melakukan pengisian nutrien, sehingga nutrien di dalam media percobaan menjadi terpelihara;
- *Jumlah dimana pemesanan ulang harus dilakukan* adalah kadar nutrien tertinggi selama percobaan untuk masing-masing percobaan.
- *Waktu* adalah waktu ditempuhnya pertumbuhan tertinggi hasil percobaan;
- *Jumlah nutrien yang ditarik* adalah beda atau selisih kadar nutrien (dalam hal ini nitrat awal) dengan kadar nitrat pada saat pertumbuhan optimum percobaan;

b. Tahap Penumbuhan berjenjang.

Pada tahap ini penumbuhan zooxanthellae dilakukan secara berjenjang mulai dari 1 liter, 3 liter, 5 liter, 100 liter hingga 1 ton dengan mengaplikasikan hasil perhitungan tahap sebelumnya

Waktu dan Tempat

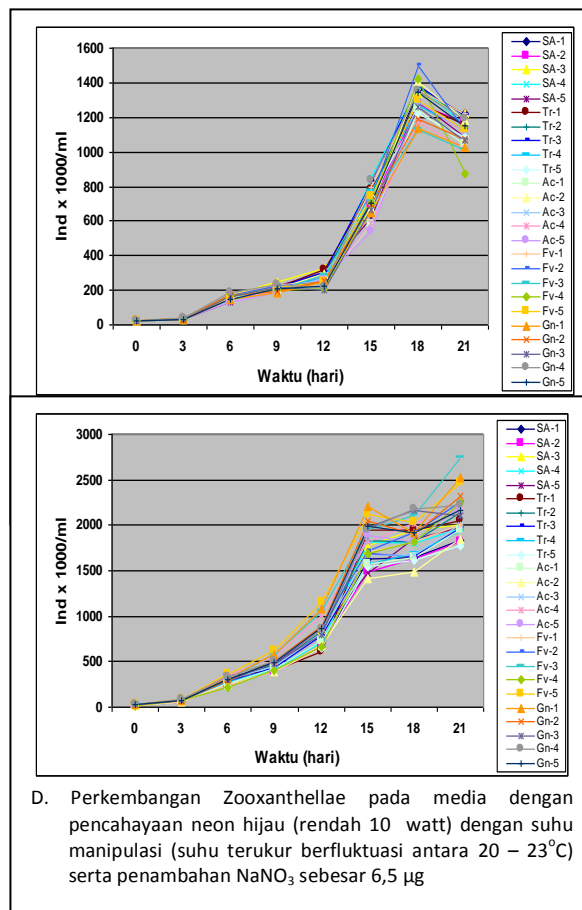
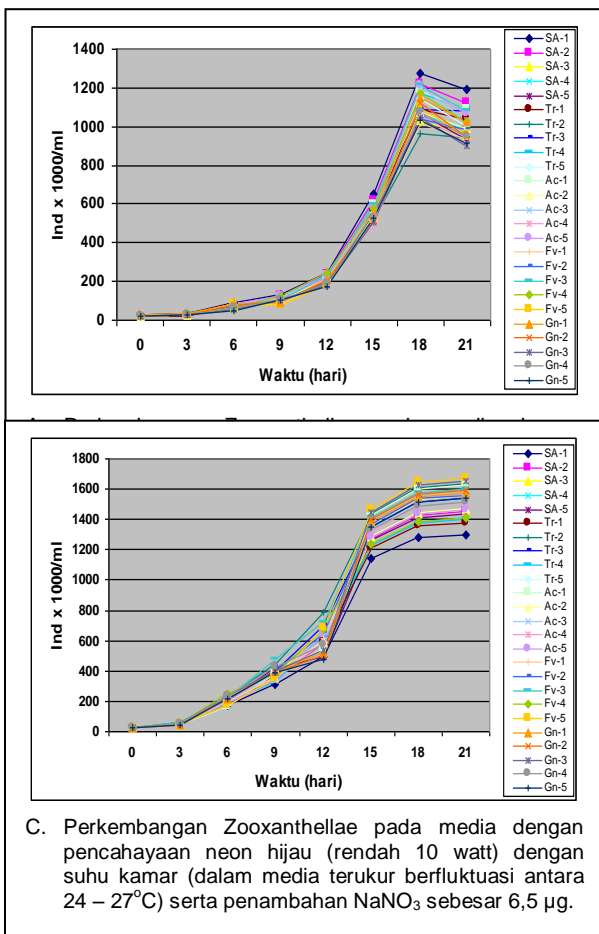
Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Pakan Alami dan Genetika Balai Besar Budidaya Air Payau (BBBAP) Jepara. Waktu pelaksanaan kajian ini adalah Agustus 2004 sampai Oktober 2005.

Analisis Data

Uji respon pertumbuhan zooxanthellae terhadap nutrisi dilakukan dengan mempergunakan analisis variance dua arah (Steel dan Torrie, 1981). Data penunjang media seperti perubahan suhu, salinitas, nitrat, pH dan orthofosfat dikaji secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencacahan zooxanthellae adaptasi memperlihatkan hasil positif pada adaptasinya dalam media 25 ml. Selang dua hari masa adaptasi, tiap-tiap unit obyek penelitian mendapat perlakuan cahaya, suhu dan penambahan nitrat yang berlangsung secara seri. Pertama (Uji A) cahaya putih tinggi (60 watt) fluktuasi suhu 24-27°C dan penambahan NaNO₃ 6,5 µg, kedua (Uji B) cahaya putih sedang (20 watt), fluktuasi suhu 24-27°C dan penambahan NaNO₃ 6,5 µg, ketiga (Uji C) cahaya hijau (10 watt), fluktuasi suhu 24-27°C dan penambahan NaNO₃ 6,5 µg dan keempat (Uji D) cahaya hijau (10 watt), fluktuasi suhu 20-23°C dan penambahan NaNO₃ 6,5 µg. Hasilnya secara berurutan adalah seperti pada Gambar 1.



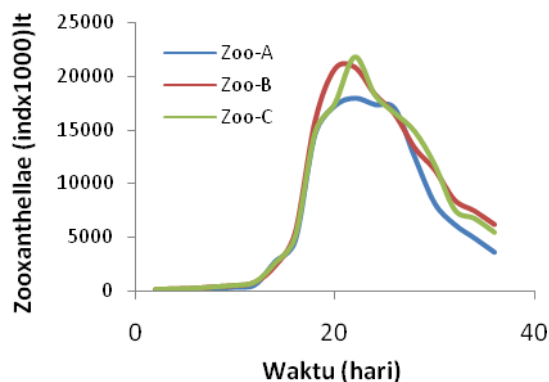
Gambar 1. Pertumbuhan Zooxanthellae pada Berbagai Perubahan Kondisi Media

Tiap sekuen kegiatan memberikan respon pertumbuhan zooxanthellae yang positif. Awal masa penumbuhan memperlihatkan perkembangan lambat. Pertumbuhan meningkat dengan cepat pada hari ke 9 sampai ke 16.

Pertumbuhan eksponensial zooxanthellae antar sekuen penelitian tergolong cukup lama dibandingkan dengan pertumbuhan jenis diatom lain yang ukurannya lebih besar, seperti *Chaetoceros* (Hapette dan Poulet, 1990). Dalam

penelitiannya tersebut diperoleh hasil bahwa pertumbuhan maksimum terjadi pada hari ke 5, sedangkan jenis *Nitzschia* pertumbuhan maksimumnya dicapai pada hari ke 7. Penumbuhan zooxanthellae yang dilakukan oleh Rosenthal *et al.* (2005) pada uji penambahan nitrogen pada media budidayanya diperoleh pertumbuhan maksimum pada hari ke 15.

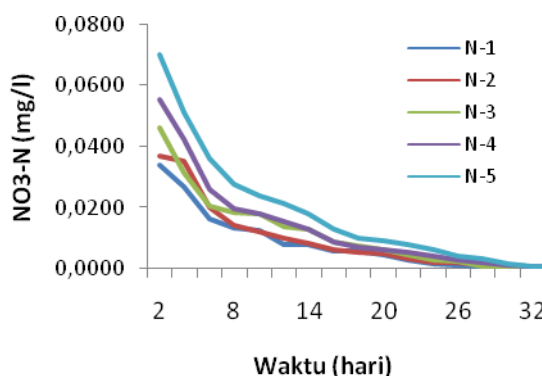
Analisis terhadap densitas zooxanthellae antar sekuen percobaan memperlihatkan terjadi respon peningkatan pertumbuhan pada media yang mendapatkan pencahayaan lebih rendah (dari pencahayaan putih menjadi hijau) dan penurunan suhu (dari suhu 24-27°C menjadi kisaran suhu 20 – 23°C). Hasil uji terhadap tahap uji A tidak berbeda dengan uji B. Pada uji C terjadi perbedaan pertumbuhan zooxanthellae ($P < 0,01$) antar sumber inang, dengan rincian pertumbuhan tertinggi zooxanthellae dari inang Favites sama respon pertumbuhannya dengan inang Goneastrea, diikuti dari sumber inang Acropora dan kelompok terakhir adalah dari inang sea anemon dan tridacna. Uji tahap D diperoleh keterangan bahwa rata-rata peningkatan pertumbuhannya lebih tinggi dibandingkan percobaan tahap C, pola respon pertumbuhannya sama dengan uji tahap C. Berdasarkan hasil analisis densitas zooxanthellae mengikuti sekuen percobaan, maka untuk mengoptimalkan pertumbuhan zooxanthellae adalah media dengan pencahayaan rendah (hijau) serta dipertahankan suhu 20 – 23°C. Sementara itu berdasarkan pertumbuhan zooxanthellae terdiri dari 3 kelompok yaitu dari inang sea anemon dan tridacna (Zoo-A), inang acropora (Zoo-B) dan inang Favites dan Goneastrea (Zoo-C).



Gambar 2. Pertumbuhan Rata-rata Zooxanthellae

Pertumbuhan zooxanthellae pada penerapan tingkat nutrisi (N-1 hingga N-5) dan jenis (Zoo-A, Zoo-B dan Zoo-C) pada peningkatan volume 1 liter adalah seperti pada Gambar 2, sedangkan

pemiskinan $\text{NO}_3\text{-N}$ diperlihatkan pada Gambar 3.

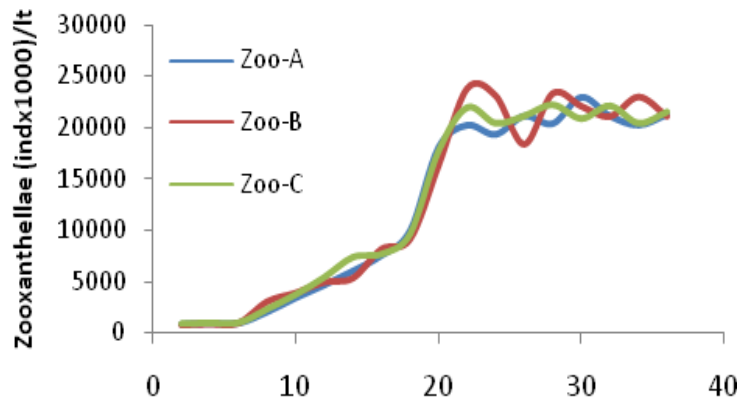


Gambar 3. Pemiskinan $\text{NO}_3\text{-N}$ selama Penelitian

Puncak pertumbuhan terjadi pada hari ke 16 dan bertahan hingga hari ke 20, selanjutnya terjadi penurunan densitasnya. Pertumbuhan tersebut merupakan respon permintaan nutrisi dan mengakibatkan menjadi menurun. Hasil uji terhadap pertumbuhan densitas zooxanthellae diperoleh keterangan bahwa tingkat pertumbuhan optimum diperoleh pada penerapan nutrisi 200 μM . Pada uji pemiskinan $\text{NO}_3\text{-N}$ dan respon pertumbuhan akibat penambahan 200 μM tersebut dapat diperhitungkan waktu penambahan ulang dan besarnya permintaan sekaligus sebagai faktor penambah untuk mempertahankan pertumbuhan massalnya. Dalam hal ini waktu pengisian ulang yang perlu diaplikasikan adalah pada hari ke 16 dengan penambahan 0,0455 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$. Hasil aplikasinya adalah seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

Hasil perhitungan densitas zooxanthellae pada media budidaya yang telah ditambahkan nutrisi memperlihatkan hasil bahwa pertumbuhan optimumnya dapat dipertahankan. Pertumbuhan optimum dicapai pada hari ke 20.

Perkembangan zooxanthellae sebagai fitobiotik dalam asosiasinya dengan beberapa biota dasar laut memerlukan dukungan dari lingkungan eksternalnya. Menurut Harris (1976), dukungan faktor eksternal utama terhadap perkembangan fitobiotik adalah cahaya, suhu dan nutrisi. Hal yang sama dikemukakan oleh Parson, Takahashi dan Hargrave (1984) bahwa zooxanthellae sebagai biota fitofototropik serta bersifat mikro, maka secara mendasar perkembangannya dibatasi oleh 3 variabel utama yaitu cahaya, nutrisi dan suhu.



Gambar 4. Pertumbuhan Zooxanthellae pada Bak Massal dengan Penambahan Nutrien

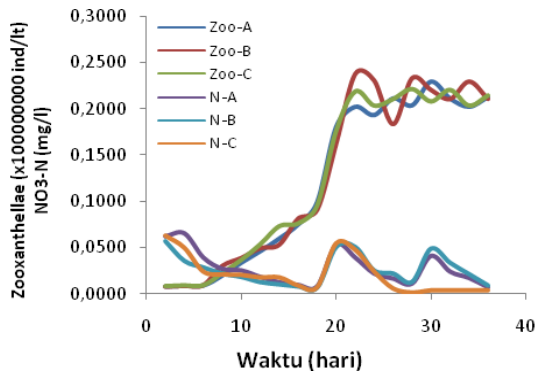
Ketiga unsur utama tersebut bersama dengan perangkat molekular dari zooxanthellae membentuk suatu persamaan fotosintesis kompleks yang proses maupun hasilnya memberikan dukungan terhadap inangnya.

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa meskipun cahaya bukan satu-satunya variabel yang secara nyata memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan zooxanthellae, namun bersama dengan suhu dan nutrien memberikan informasi tentang respon pertumbuhan optimum. Dalam hal ini respon pertumbuhan zooxanthellae pada percobaan cahaya meningkat dari berturut-turut neon putih (tinggi 60 watt) dengan konsentrasi maksimum $1.213,32 \times 10^3$ ind/Lt, neon putih (sedang 20 watt) dengan konsentrasi maksimum $1407,03 \times 10^3$ ind/Lt; neon hijau (rendah 10 watt) baik pada suhu yang sama dengan ketiga di atas yaitu 24 - 27°C maupun 20 - 23°C, berturut-turut dengan konsentrasi maksimum $1640,58 \times 10^3$ ind/Lt dan $2172,59 \times 10^3$ ind/Lt. Kondisi ini memperlihatkan bahwa respon zooxanthellae lebih tinggi pada pencahayaan yang rendah. Sementara itu hasil perhitungan kadar zooxanthellae pada berbagai jenis karang oleh Baker dan Rowan (1997) pada beberapa kedalaman di perairan Karibia dan Pasifik Tenggara memperlihatkan bahwa semakin dalam dalam perairan hingga 11 meter kadar zooxanthellae semakin tinggi. Sebaliknya semakin dangkal perairan memperlihatkan konsentrasi yang semakin rendah. Penelitian serupa diperlihatkan oleh Barneah *et al* (2004); Burn (1985); Davis (1982); Davies 1993).

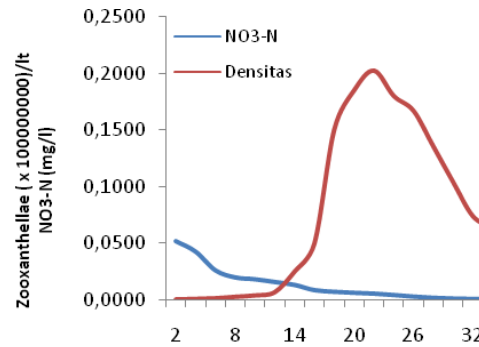
Fenomena pertumbuhan zooxanthellae secara internal dalam polyp inang diperkirakan mempunyai fenomena pertumbuhan sebagaimana kondisi laboratorium selama batasan-batasan allogeniknya dapat terpenuhi. Ini didasarkan kepada telusur yang dilakukan oleh Hoegh-Guldberg and Smith, 1989; Porter *et al*, 1989, Fitt *et al* (1993) dan Gleason (1993)

pada kajian bleaching parsial karang. Pada kondisi demikian selama dapat terpeliharanya atau dipenuhinya kebutuhan allogenik maka zooxanthellae dapat berkembang dengan cepat.. Dalam penelitian ini yang dilakukan secara bertahap diperoleh keterangan bahwa zooxanthellae dapat berkembang dengan baik dalam lingkup laboratorium. Hal serupa diperoleh oleh Taylor (1974). Dalam penelitiannya dikemukakan bahwa zooxanthellae dapat mengalami peningkatan dengan penambahan nutrien nitrogen, tetapi zooxanthellae tidak dapat tumbuh hanya dengan penambahan PO_4-P (Stambler *et al*, 1991). McGuire (1997) mengemukakan bahwa penambahan 5 hingga 10 μM ammonium selama 8 minggu belum mampu mempengaruhi perkembangan zooxanthellae serta tidak memberikan pengaruh negatif bagi penurunan pertumbuhannya.

Berkenaan dengan hal tersebut, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa dalam skala laboratorium terjadi suatu proses penurunan NO_3-N sejalan dengan permintaannya bagi pertumbuhan zooxanthellae. Perubahan dua variabel tersebut adalah sebagaimana disajikan pada Gambar 5. Dalam hal ini persediaan kadar NO_3-N sebesar < 0.01 mg/l kurang mampu menopang perkembangan zooxanthellae. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Atkinson (1988) bahwa persediaan ammonium media sebesar kurang dari 15 μM tidak mampu meningkatkan perkembangan zooxanthellae. Oleh karenanya, pada masa perkembangan massal dilakukan penambahan nitrat 0,0455 mg/l pada hari ke 16, yaitu pada saat terlampainya pertumbuhan eksponensial zooxanthellae. Terpeliharanya kadar tersebut, mampu mempertahankan perkembangan zooxanthellae yang dicobakan (Gambar 6).



Gambar 5. Pemiskinan $\text{NO}_3\text{-N}$ dan Perkembangan Zooxanthellae



Gambar 6. Respon Penambahan $\text{NO}_3\text{-N}$ terhadap upaya Mempertahankan Perkembangan Zooxanthellae

Zooxanthellae sebagai fitobiotik di lingkungan laut mempunyai sifat yang lebih spesifik dibandingkan dengan jenis fitoplankton lainnya; yaitu oleh sebab sifatnya dalam sistem simbiosis pada beberapa biota bentik. Dalam hal ini allogenik maupun autogeniknya lebih bersifat terbatas. Pada kondisi endosimbiosis spesifikasi ini ditunjang oleh sifat stabilitas dalam tubuh inangnya, meskipun dalam kondisi bebas akan mengikuti sifat kelenturan lingkungan eksternal. Oleh sebab itu, Cook *et al* (1990) mengemukakan bahwa status nutrisi bagi kebutuhan zooxanthellae dapat dijadikan sebagai indikator kesuburan terumbu karang.

Zooxanthellae sebagaimana fitobiotik lainnya sangat memerlukan dukungan ketersediaan nutrisi yang cukup. Tingkat kebutuhannya akan nutrisi sangat berbeda dengan lingkungan eksternal di kawasan perairan terumbu karang. Sorokin (1993) mengemukakan bahwa terdapat kontradiktif antara lingkungan eksternal terumbu karang dengan lingkungan internalnya dalam kompleks rangka karang. Pada perairan oligotropik sebagaimana di lingkungan sekitar terumbu karang (D'elia dan Wiebe, 1990), tidak merupakan suatu hal yang luar biasa bagi basis nutrisi endosimbion. Sementara di lain pihak dinoflagellata ini memainkan peranan penting dalam penyediaan pakan dan fisiologi bagi inang (Muscatine dan Porter, 1977). Sebagai contoh, kebutuhan carbon secara fotosintetik, secara tipikal dalam bentuk gliserol dan molekul sederhana lain dapat ditranslokasi dari algae pada laju dan kapasitas volume sesuai dengan kebutuhan respirasi inang (Falkowski *et al*, 1984, Muscatine, 1990; Muscatine *et al*, 1984).

Tingkat hubungan endosimbiosis ini cukup efektif mempertahankan masih cukup tingginya kadar nutrisi itu sendiri di dalam kompleks mikro yaitu di rangka. Szmant (2002) mengemukakan bahwa tingkat *turn over* yang rendah di kawasan terumbu terjadi akibat sejalannya akumulasi nutrisi dalam rangka dengan pertumbuhan karang itu sendiri. Kaitan dengan hal ini dikemukakan oleh Lapointe (1997) bahwa lingkungan karang merupakan kawasan perairan oligotropik khususnya sediaan nitrogennya. Kadar nitrogen dari hasil perangkuman di beberapa perairan terumbu karang adalah $0,2 - 0,5 \mu\text{M NH}_3\text{-N}$; $0,1 - 0,3 \mu\text{M NO}_3\text{-N}$ dan $< 0,3 \mu\text{M PO}_4\text{-P}$. Selanjutnya bila dibandingkan dengan dengan kadar nutrisi internal karang Lapointe (1997) menyatakan bahwa nilai tersebut jauh lebih tinggi dari lingkungan eksternalnya. Dikemukakan lebih lanjut bahwa regenerasi $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam skeleton dapat mencapai 200% dari kebutuhan.

KESIMPULAN

Hasil percobaan pertumbuhan zooxanthellae sebagai model pemindahan dari lingkungan alami di dalam inang ke lingkungan binaan adalah cahaya optimum untuk penumbuhan berjenjang hingga massal adalah cahaya hijau dengan padanan nilai 490 nm sampai 550 nm, suhu optimum berkisar antara 20°C hingga 25°C serta penambahan nutrisi optimum pada penumbuhan massal adalah $200 \mu\text{M NaNO}_3$ dengan penambahan ulang selang 16 hari sebesar $0,0455 \text{ mg/l}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, MJ. 1988. Are coral reefs nutrient limited? In J.H. Choat (Ed), Proceedings of the 6th International Coral Reefs Symposium I:157-166. James Cook Univ. Press., Townsville Australia.
- Baker, AC; R. Rowan, 1997. Diversity of symbiotic dinoflagellates (zooxanthellae) in scleractinian corals of the Caribbean and eastern Pacific. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panama. 2: 1301-1306.
- Barneah, O; Weis VM. Perez; S Beneyahu. 2004. Diversity of Dinoflagellate Symbiont in Red Sea Soft Coral : Mode of Symbiont Acquisition Matters. Mar. Biol. Prog Ser 275 : 89-95.
- Brown, BE. 1997. Coral bleaching : causes and consequences. Proc 8th Int. coral Reef Sym. 1 : 65-74
- Burn, TP. 1985; Hard coral distribution and cold water disturbances in South Florida : Variation with depth and location. Coral Reefs 4:117-24
- Campbell. RD. 1968. Cell behavior and morphogenesis in hydroids. In vitro 3:22-32.
- Cook, CB; Logan A; Ward J; Luckhurst B; Berg Jr CJ. 1990. Elevated Temperatures and Bleaching on a High Latitude Coral Reef : The 1988 Bermuda Event. Coral Reefs 9:45-49.
- Davies, PS. 1993. Endosymbiosis in marine cnidarians. In DM John, S.J. Hawkins and J.H. Price (Eds). Plant-animal interactions in the marine benthos. Oxford, UK Clarendon Press, pp 551-540.
- Davis, GE. 1982. A century of natural change in coral distribution in the dry Tortugas : a comparison of reef map from 1881 and 1976. Bull. Mar. Sci. 32 : 233-258.
- D'elia, CF; WJ Wiebe., 1990. Biogeochemical Nutrient Cycle in coral reef ecosystems. In. Dubinsky (Ed.). Ecosystem in the World 23. Elsevier, Amsterdam.
- Drew, EA. 1972. The Biology and Physiology of Alga-Invertebrate Symbiosis. II. The Density of Symbiotic Algal Cells in a Number of Hermatypic Corals and Alcyonarians From Various Depths, J. Exp. Mar. BioL Ecol, , vol. 9, pp. 71-75.
- Falkowski , PG; Z Dubinsky; L Muscatine and JW Porter. 1984. Light and the Bioenergetic of a Symbiotic Coral. Bioscience 34 : 705 – 709.
- Fitt, WK; HJ Spero; J Halas; MW White; JW. Porter. 1993. Recovery of the Coral *Montastrea annularis* in the Florida Keys after 1987 Caribbean Bleaching Event. Coral Reefs 12:57-64.
- Gleason, MG. 1993. Effect of Disturbance on Coral Communities : Bleaching in Moorea, French Polynesia. Coral Reefs 12 : 193-201
- Hapette, AM; SA Poulet. 1990. Variation of vitamin C in some common species of marine plankton. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 64: 69-79.
- Harris, I. 1976. The Physiological Ecology of Phytoplankton. Blackwell Sci. Publ. Oxford.
- Hoegh-Guldberg, O; GJ Smith. 1989. Light, Salinity and Temperature and the Population density, metabolism and export of Zooxanthellae from *Stylophora pistillata* and *Seriatophora hystrix*. J. Exp Mar Biol Ecol 129 ; 279-303
- McGuire, MP. 1997. The Biology of Coral *Porites astreoides* : Reproduction, Larval Settlement Behavior and Responses to Ammonium Enrichment. Ph.D. Dissertation, University of Miami, miami Florida.
- Muscatine, L; JW Porter. 1977. Reef corals : mutualistic symbioses adapted to nutrient poor environments. BioScience 27 : 454-460.
- Muscatine, L.1990. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef coral.

- In. Dubinsky Z. (Ed). Coral Reefs, ecosystem in the world. Elsevier. Amsterdam.
- Muscantine, L, PG Falkowski; JW Porter; Z Dubinski. 1984. Fate of photosynthetic fixed carbon in light and shaded adapted colonies of the symbiotic coral *Stylophorapistillata*. *Proceedings of the Royal Society, London B*. 222: 181–202.
- Nordemar, J; M Nystrom; R Dizon; 2003. Effect of elevated seawater temperature and nitrat enrichment on the branching coral *Porites cylindrica* in the absence of particular food. *Mar. Biol.* 142 : 669-672)
- Parson, TR; M Takahashi; B Hargrave. 1984. *Biological Oceanographic Processes*. 3th ed. Pergamon Press. Oxford.
- Porter, JW; WK Fitt; HJ Spero; CS Rogers; MW White. 1989. Bleaching in coral reefs : Physiological and stable isotope response. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 86:9342-9346.
- Rosenthal, HT; S Zielke; R Owen; L Buxton; B Boeing; R Bhabooli; J Archer. 2005. Increased zooxanthellae nitric oxide synthase activity is associated with coral bleaching. *Biol. Bull.* 208: 3–6.
- Sorokin, YI. 1993. *Coral Reef Ecology*. Springer-Verlag. New York.
- Stambler, N; N Popper, Z Dubinsky; J Stimson. 1991. Effect of Nutrient Enrichment and Water Motion on the Coral *Pocillophora damicornis*. *Science* 45 : 299 – 307.
- Szmant, AM. 2002. Nutrient enrichment on coral reefs : Is it a major cause of coral reef decline?. *Estuaries* 25 : 743-766.
- Taff, CA. 1988. *Manajemen Transportasi dan Distribusi Fisis*. Penerbit Erlangga Jakarta.
- Taylor, DL.1974. *Symbiotic Marine Algae : Taxonomy and Biology* Fitness. *Symbiosis in the Sea*. Pp. 245-258.
- Trench, RK. 1993. Micro-algal-invertebrate symbioses : a riview. *Endocyto Cell Res* 9 : 135 – 175.
- Veron, JEN. 1995. *Coral in space and time*. Australian Institute of Marine Science Cape Ferguson, Townsville, Quensland.