



TRITON

JURNAL MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN

Volume 5, Nomor 1, April 2009

VALUASI EKONOMI WISATA SANTAI BEACH DAN PENGARUHNYA DI
DESA LATUHALAT KECAMATAN NUSANIWE

STRUKTUR MORFOLOGIS KEPITING BAKAU (*Scylla paramamosain*)

PENGENDALIAN CACING POLIKAETA
PADA ANAKAN TIRAM MUTIARA
DENGAN PERENDAMAN DALAM SALINITAS YANG BERBEDA

TINGKAH LAKU PERGERAKAN GASTROPODA *Littorina scabra*
PADA POHON MANGROVE *Sonneratia alba* DI PERAIRAN
PANTAI TAWIRI, PULAU AMBON

SEBARAN NITRAT DAN FOSFAT PADA MASSA AIR PERMUKAAN
SELAMA BULAN MEI 2008 DI TELUK AMBON BAGIAN DALAM

APLIKASI TEKNOLOGI REMOTE SENSING SATELIT DAN SIG
UNTUK MEMETAKAN KLOOROFIL-a FITOPLANKTON
(*Suatu Kajian Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan*)

KAROTENOID, PIGMEN PENCERAH WARNA IKAN KARANG

EKSISTENSI SASI LAUT DALAM PENGELOLAAN PERIKANAN
BERKELANJUTAN BERBASIS KOMUNITAS LOKAL DI MALUKU

JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON

TRITON

Vol. 5

No. 1

Hlm. 1-71

Ambon, April 2009

ISSN 1693-6493

KAROTENOID, PIGMEN PENCERAH WARNA IKAN KARANG

(Carotenoid, the Brighter Pigment on Coral Reef Fishes)

Junet Franzisca da Costa

Mahasiswa Magister Biologi pada Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Jawa Tengah
e-mail: junetdacosta@yahoo.com

ABSTRACT: Coral reef ecosystem is a part of marine environment which has the highest species diversity and has been known for its beauty and uniqueness because of colourful organisms live within. Coral reef fishes are one of coral reef ecosystem component that often display attractive colours. Skin colours on fish are due to interaction between pigments (melanin, pteridine, carotenoid, guanine, and purine) and light in the water column in order to camouflage to avoid predator or in approaching prey, and self-declare, aposematism, and identity for addition. However, colourful coral reef fishes are due to natural selection process in colourful coral reef environment.

Keywords: carotenoid, coral reef, coral reef fish, pigment in fish

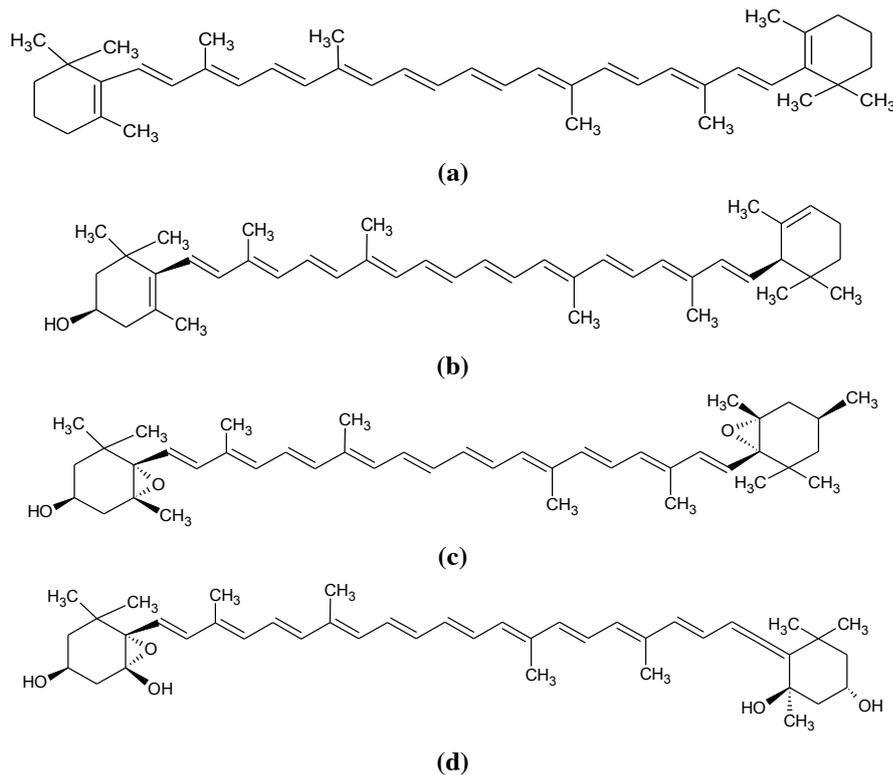
PENDAHULUAN

Karotenoid merupakan pigmen alami yang banyak tersebar di alam dan telah teridentifikasi lebih dari 600 jenis jumlahnya. Karotenoid bertanggungjawab terhadap pembentukan warna merah, oranye, dan kuning, yang terlihat pada daun tumbuh-tumbuhan, bunga, buah, akar, invertebrata, beberapa jenis burung, serangga, ikan, udang (Rodriguez-Amaya, 1997; Deli & Osz, 2004), alga, bakteri, dan jamur (Rodriguez-Amaya, 1997). Pada organisme fotosintetik, karotenoid mempunyai peran yang sangat penting selama fotosintesis berlangsung, yakni membantu memanen cahaya di daerah yang tidak diserap oleh klorofil, melindungi klorofil terhadap cahaya ekstrim, menjaga stabilisasi kompleks-komplek pemanen cahaya (*light harvesting complexes*), dan mengatur alur energi cahaya yang tidak digunakan selama fotosintesis berlangsung (Zurdo *et al.*, 1992; Porra *et al.*, 1997; Niyogi *et al.*, 1997; Barzda *et al.*, 1998; Dellapena, 1999; Frank, 1999; Govindje, 1999; Paulsen, 1999; Billsten *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2004). Struktur molekul beberapa jenis karotenoid ditunjukkan pada Gambar 1.

Grether *et al.* (1999) mengemukakan bahwa karotenoid pada hewan ditemukan dalam lapisan integument dan umumnya sangat penting sebagai faktor pembeda seksual, serta menggambarkan seluruh kondisi tubuh yang berdampak

pada pemilihan pasangan, seperti pada beberapa spesies ikan dan burung. Hewan tidak mensintesis karotenoid. Karotenoid diperoleh melalui konsumsi tumbuhan atau bakteri yang mengandung karotenoid (Kodric-Brown, 1998; Fox, 1979 dalam Grether *et al.*, 1999), sehingga akses terhadap karotenoid sangat mempengaruhi ekspresi masing-masing suku hewan di lingkungan (Grether *et al.*, 1999).

Ekosistem terumbu karang merupakan salah satu wilayah yang banyak menarik perhatian peneliti karena keunikan dan keanekaragamannya. Kurang lebih 25% organisme laut tinggal pada wilayah terumbu karang dan membentuk suatu ekosistem yang stabil (Reid & Miller, 1989; Wood, 1998; Anonim, 2003; Forsman, 2005). Tingginya keanekaragaman spesies pada ekosistem ini, menjadikan daerah terumbu karang sebagai ekosistem yang memiliki keanekaragaman biologi tertinggi di dunia (Knowlton, 2001; Anonim, 2002; Buddemeier *et al.*, 2004). Beberapa ilmuwan menyamakan ekosistem terumbu karang dengan hutan hujan di daratan, karena membentuk lingkungan yang kompleks dan memiliki peran yang sangat vital bagi kehidupan manusia (Knowlton, 2001; Forsman, 2005), bahkan Jackson (2001), menyatakan bahwa ekosistem terumbu karang merupakan konstruksi biologi terbesar di bumi yang dapat bertahan.



Gambar 1. Struktur molekul beberapa jenis karotenoid: (a) β -karoten, (b) lutein, (c) violaxantin, dan (d) neoxantin

Organisme yang berasosiasi pada ekosistem terumbu karang, seperti ikan, moluska, krustase, alga, echinodermata, dan lain-lain, umumnya memantulkan cahaya yang tidak diserap sebagai warna-warna mencolok yang terlihat oleh mata

manusia, dan terkesan menyatu dengan warna-warni hewan karang membentuk ekosistem dengan kekhasan tersendiri, yang membedakannya dari ekosistem lain di lingkungan laut. Ikan karang merupakan penghuni terumbu karang yang paling banyak menarik perhatian karena nilai estetikanya. Marshall (2000) dan Puebla *et al.* (2007) menyatakan bahwa ikan karang adalah hewan yang mempunyai warna yang sangat menarik diantara hewan-hewan di dunia.

Sejak dulu, sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk menjawab misteri warna-warna mencolok pada ikan karang. Beberapa penelitian terbaru seperti Kodric-Brown (1998), Marshall (2000), Painter (2000), Snyder *et al.* (2001), Rocha *et al.* (2004), Puebla *et al.* (2007), dan Siebeck *et al.* (2008), telah mempelajari fungsi warna, hingga gen pembawa warna pada beberapa genus dan spesies ikan karang. Selain itu dipelajari juga faktor-faktor ekologi, oseanografi dan biogeografinya.

PEMBAHASAN

Warna Ikan Karang

Dari sekitar 98.000 spesies ikan laut, 66-89 % ditemukan pada ekosistem terumbu karang. Hasil penelitian William dan Hatcher pada tahun 1983 terhadap ikan karang dari berbagai habitat terumbu karang, menyatakan bahwa Perciformes memiliki kelimpahan tertinggi, tetapi hanya delapan famili utama yang berhubungan dengan lingkungan ekosistem terumbu karang, yaitu: Labridae, Scaridae, Pomacentridae, Acanthuridae, Siganidae, Zanclidae, Chaetodontidae, dan Pomacanthidae (Hallacher, 2003). Selain itu, Sale (1991^b) dalam Hallacher (2003), menambahkan 11 famili yang juga berasosiasi dengan ekosistem terumbu karang, yaitu: Blenniidae, Gobiidae, Apogonidae, Haemulidae, Ostraciidae, Tetraodontidae, Balistidae, Serranidae, Lutjanidae, Lethrinidae, dan Holocentridae.

Ikan karang memperlihatkan warna-warna yang indah, karena dalam lapisan kulitnya terdapat pigmen (molekul yang berinteraksi dengan cahaya, dan memantulkan cahaya yang tidak diserap). Pigmen atau kromatofor adalah sel-sel yang luas, bercabang dan mudah bergerak, serta mengandung organel sel yang disebut kromosom pada lapisan epidermal dan dermal. Di dalam kromosom terdapat partikel-partikel pigmen kecil. Kumpulan beberapa kromosom tersebut disebut kromatofor (Painter, 2000). Ada empat jenis kromatofor yang terdapat pada ikan, yaitu melanofor, xantofor, erytrofor, dan iridiofor (Painter, 2000; Fenner, 2007). Kandungan pigmen pada masing-masing kromatofor dapat dilihat pada Tabel 1.

Jenis kromatofor yang paling umum dikenal yaitu melanofor. Melanofor terdapat pada lapisan dermal dan epidermal kulit ikan karang. Jika melanofor tersebar dalam sitoplasma, maka kulit akan terlihat berwarna gelap (hitam atau coklat), tetapi jika melanofor mengumpul, maka kulit akan terlihat cerah. Xantofor dan eritrofor merupakan jenis kromatofor yang sangat lambat perubahannya. Pada beberapa spesies, pteridin dan karotenoid yang terdapat dalam xantofor dan eritrofor, dapat ditemukan bersamaan dalam sel-sel pigmen, atau dalam jenis sel yang sama, tetapi pada fase perkembangan yang berbeda. Misalnya munculnya pteridin pada fase juvenile, sedangkan karotenoid pada fase dewasa. Iridofor yang ditemukan dalam lapisan dermal kulit, mengandung kristal

quanin yang dapat memantulkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda, sehingga menampilkan aneka warna. Iridiofor memiliki karakter kebalikan dari melanofor. Pada saat kristal-kristal ini mengumpul, sel-sel terlihat lebih gelap, sebaliknya jika menyebar akan terlihat lebih terang (Painter, 2000; Grether *et al.*, 2001; Fenner, 2007).

Tabel 1. Jenis-jenis kromatofor yang terdapat pada ikan

No	Kromatofor	Pigmen	Tipe	Warna
1.	Melanofor	Melanin	Warna	Hitam, coklat
2.	Xantofor	Pteridines dan karotenoid	Warna	Merah, orange
3.	Eritrofor	Pteridines dan karotenoid	Warna	Orange, kuning
4.	Iridofor	Guanin dan purin	Reflektif	Putih, perak, biru, dll

Ketika suatu area kulit didominasi oleh warna tertentu, maka pada area tersebut terjadi akumulasi sel-sel pigmen yang menghasilkan warna tersebut. Garis putih pada *Pomacanthus* sering disebabkan oleh iridofor, sedangkan spot merah disebabkan karena agregasi sel-sel eritrofor. Garis hitam pada *angelfish* disebabkan oleh melanofor (Painter, 2000). Disamping warna-warna dengan kontur yang tetap atau kuat, ikan karang juga memiliki warna-warna pelengkap, seperti pada *Thalassoma lunare* (wrasse bulan) dan jenis *wrasse* lain, serta pada kebanyakan *parrotfish*. Warna pelengkap *T. lunare* sangat kompleks, yakni tidak sekedar warna biru dan kuning saja. Hal ini disebabkan karena pada pola spektranya terdapat dua sampai tiga puncak serapan pigme, sehingga terlihat berwarna ungu, merah muda dan biru oleh mata kita (Marshall, 2000). Warna-warna pelengkap hanya muncul secara musiman dengan tujuan tertentu, seperti pada musim kawin atau pada saat menjaga wilayah teritorialnya (Colgan, 1983 dalam Kodric-Brown, 1998; Taylor, 2004).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Warna Ikan Karang

Siebeck *et al.* (2008) dan Vorobyev dan Marshall (2008) mengemukakan tiga faktor utama yang sangat mempengaruhi interpretasi warna ikan oleh manusia maupun organisme lain, yaitu (1). spektrum cahaya yang masuk pada habitat mereka (masuknya cahaya dan sifat transmisi dari air), (2). karakter warna ikan, dan (3). sistem visual pengamat. Interpretasi warna yang manusia lihat sangat berbeda dengan yang dilihat oleh ikan, akibat adanya sistem visual yang berbeda (Vorobyev & Marshall, 2008). Kebanyakan vertebrata memiliki reseptor tetrakromatik yang sensitif terhadap cahaya merah, hijau, biru, dan sinar UV (Robinson *et al.*, 1993). Ikan terumbu karang hanya memiliki dua atau tiga reseptor, yang salah satu diantaranya memiliki puncak serapan maksimum pada wilayah sinar UV, violet atau biru (Vorobyev *et al.*, 2000). Dengan demikian, ikan karang yang terlihat merah oleh mata manusia, akan terlihat buram oleh ikan (Vorobyev & Marshall, 2008).

Warna ikan karang yang terlihat oleh mata manusia disebabkan oleh interaksi pigmen yang ada dalam lapisan kulit ikan karang dengan cahaya yang masuk ke kolom air (Bernal, 2007). Cahaya yang masuk ke laut sangat dipengaruhi oleh kondisi air itu sendiri. Air laut memiliki kemampuan untuk menyerap dan menghamburkan sinar matahari yang masuk ke kolom air. Penyerapan dan penghamburan cahaya oleh air sangat ditentukan oleh organisme, khususnya yang dapat menyerap dan memantulkan cahaya, zat-zat terlarut serta

partikel-partikel yang ada dalam kolom air. Cahaya dengan panjang gelombang yang besar seperti kuning, oranye, dan merah hanya mampu menembusi kedalaman 15 m, 30 m dan 50 m, sedangkan hijau, biru dan violet, dapat menembusi perairan yang lebih dalam (Bernal, 2007). Karakter penyerapan cahaya oleh pigmen menentukan warna yang dipantulkan, sehingga akan mempengaruhi warna ikan karang yang akan dilihat. Hal ini disebabkan karena cahaya sinar tampak dengan panjang gelombang tertentu yang tidak diserap akan dipantulkan, dan warna cahaya tersebutlah yang akan nampak pada tubuh ikan.

Proses metabolisme dalam tubuh juga mempengaruhi penampakan warna ikan karang. Metabolisme tubuh ikan karang sering dipengaruhi oleh lingkungan sekitar, sehingga muncul perubahan warna kulit. Ada dua jenis perubahan warna kulit akibat metabolisme tubuh, yakni perubahan psikologis dan perubahan morfologis. Perubahan psikologis sering berlangsung dalam waktu yang sangat cepat (bisa dalam hitungan detik), misalnya akibat perubahan suhu dan cahaya, aktivitas pengejaran, takut atau penyebab lain. Konsekuensinya akan terlihat pada perilaku pigmen (apakah tersebar atau teragregasi). Hal ini dapat terlihat ketika marah, warna ikan dapat berubah menjadi gelap (Painter, 2000; Fenner, 2007). Kodric-Brown (1998) melaporkan bahwa terjadi perubahan warna pada *Epinephelus guttatus* atau *Cyprinodon pecosensis* menjadi hitam, pada saat menjaga daerah tempat betina pasangannya meletakkan telur. Pejantan spesies ini juga menampilkan warna hitam ketika selesai berkelahi dan setelah betinanya bertelur, sedangkan warna biru akan diperlihatkan ketika merasa takut terhadap predator (Painter, 2000). Perubahan morfologi disebabkan oleh jumlah pigmen yang terdapat dalam kromatofor. Perubahan ini umumnya berlangsung sangat lambat, yaitu dalam satu bulan atau lebih dan biasanya lebih bersifat permanen (Painter, 2000; Fenner, 2007).

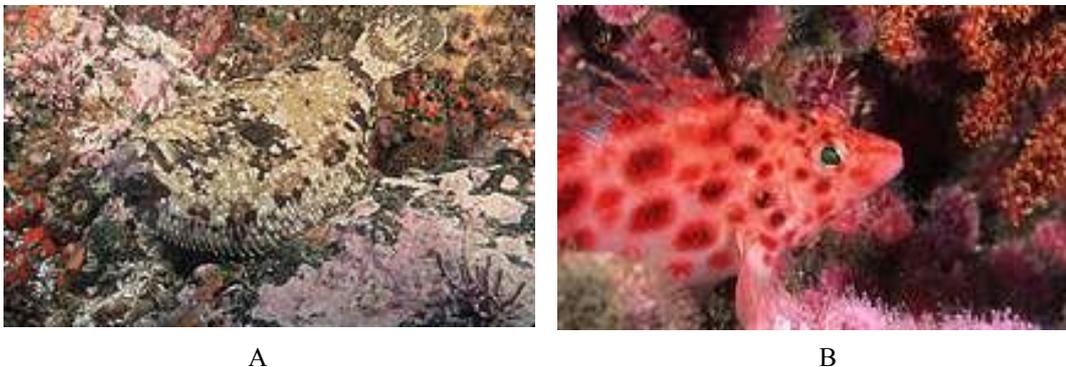
Faktor lain yang mempengaruhi warna pada ikan karang adalah faktor ekologi, yang turut mempengaruhi proses evolusi. Misalnya yang ditemukan pada genus *Hypolectrus* dari famili Serranidae. Kendati setiap spesies dari genus ini memiliki pola warna yang berbeda-beda, tetapi tidak ditemukan diferensiasi genetika yang signifikan, bahkan kelompok ini memiliki diferensiasi genetika yang konsisten. Dengan demikian perbedaan warna disimpulkan terjadi akibat seleksi alam melalui kamuflase disruptif untuk menyamai dirinya dengan terumbu karang (Puebla *et al.*, 2007).

Fungsi Warna Pada Ikan Karang

Pola warna dan perubahannya pada ikan karang bukan sekedar bertujuan menampilkan keindahan, tetapi memiliki tujuan dan fungsi-fungsi khusus. Synder *et al.* (2001) mengemukakan bahwa warna-warna pada tubuh ikan karang menjelaskan perubahan warna ontogenik, yakni perubahan warna sejak fase larva hingga dewasa, termasuk agresi intraspesifik, kripsis, aposematisme, dan mimikri. Sedangkan Puebla *et al.* (2007) mengklaim beberapa fungsi pola warna pada ikan karang baik ontogenik maupun pilogenik (perkembangan suatu kelompok spesies/populasi), yaitu kripsis, mimikri, atau memperlihatkan warna yang sangat menarik untuk dikenali oleh sesama jenis atau jenis lain. Marshall (2000) juga mengemukakan bahwa ikan karang mendesain spektra-spektra warna sedemikian rupa supaya mudah terlihat atau menarik perhatian pada jarak dekat. Selain itu bertujuan untuk kamuflase pada suatu jarak tertentu terhadap pandangan dari

kejauhan. Warna kuning dan biru lebih banyak dipilih oleh kebanyakan ikan karang untuk tujuan kamuflase atau komunikasi, karena memiliki campuran optikal yang sama dengan latar belakang (Marshall, 2000; Vorobyev & Marshall, 2008).

Hasil penelitian Collin dan Pettigrew pada tahun 1989, dan dilanjutkan oleh Randall *dkk.* pada tahun 1997, menyatakan bahwa jarak 1-5 m merupakan jarak terbaik penglihatan foveal pada ikan karang, sehingga kejelasan warna ikan pada jarak di atas lima meter, akan hilang atau terlihat kabur, bahkan bercampur menjadi satu (Marshall, 2000). Oleh karena itu, ikan dengan warna-warna cerah yang manusia lihat, berkamuflase menyerupai ikan karang (Vorobyev & Marshall, 2008). Kripsis dan mimikri merupakan bentuk kamuflase ikan karang terhadap lingkungan/latar belakang, yang bertujuan untuk menghindari musuh (Fenner, 2007). Misalnya ikan karang yang hidup dekat atau pada dasar laut di ekosistem terumbu karang seperti, *gobies*, *blennies*, *scorpionfishes*, *flatfishes*, dan lain-lain, dapat menyesuaikan warna tubuhnya dengan latar belakang dasar laut, menyerupai batu, atau rumput laut (Hallacher, 2003). Sebaliknya, agar bisa mendekati mangsa (Puebla *et al.*, 2007), *Badis badis*, memiliki 11 pola warna yang disesuaikan dengan lingkungan sekitarnya. Spot pada ekor *angelfish* dan *butterflyfish* merupakan salah satu cara mengelabui musuh yang mengiranya sebagai mata, sehingga akan salah menyerang (Fenner, 2007). Sedangkan ikan pembersih dari famili Gobiidae, harus menunjukkan warna yang sama seperti jenisnya yang lain kalau tidak ingin dimangsa (Rocha *et al.*, 2004). Jenis ikan lain yang mengubah warnanya untuk tujuan kamuflase dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis ikan yang melakukan kamuflase untuk menghindari musuh.
A. *Pleuronichthys coenosus*; B. *Cirrhitichthys oxycephalus*
(Sumber : <http://www.oceanlight.com>)

Tingkah laku untuk tujuan kamuflase juga diperlihatkan oleh ikan jenis *Chromis viridis* dan *Pomacentrus molluccensis*. Jenis ini sering ditemukan hidup di dalam atau di sekitar ujung-ujung terumbu karang bercabang. Bila didekati secara cepat, mereka akan sembunyi di dalam terumbu karang. Tetapi jika didekati secara perlahan, kedua jenis ikan ini akan membentuk semacam lapisan. *P. molluccensis* akan menempatkan dirinya di atas koral, sedangkan *C. viridis* akan menempatkan dirinya di atas *P. molluccensis*. Predator yang mendekati, akan melihat *P. molluccensis* menyerupai karang karena berwarna kuning, sedangkan *C. viridis* tidak akan jelas terlihat karena warna hijau-biru yang dimilikinya

menyerupai latar belakang kolom air. Dengan demikian predator akan sulit menentukan posisi mangsanya secara tepat (Marshall, 2000).

Warna juga bertujuan untuk mengetahui kehadiran, jenis kelamin dan identitas (Lorenz, 1962 dalam Marshall, 2000; Fenner, 2007). *Hypsypops rubicunda* pada pantai California, menggunakan warna oranye cerah untuk mempertahankan wilayah teritorialnya, karena wilayah ini terlihat sempit pada air yang turbiditasnya tinggi tetapi terlihat luas pada air jernih (Fenner, 2007). Colgan (1983) dalam Kodric-Brown (1998) juga melaporkan kehadiran warna-warna sementara pada ikan karang jantan saat mencari pasangan, dan menampilkan warna yang agresif ketika mempertahankan wilayah teritorialnya. Ikan-ikan pembersih dari famili Labridae memperlihatkan warna cerah, supaya ikan-ikan besar lain tertarik untuk membiarkan tubuhnya dibersihkan (Fenner, 2007).

Mungkin sulit untuk membedakan jenis kelamin ikan melalui warna, tetapi warna sangat penting bagi ikan betina untuk menarik perhatian ikan jantan (Fenner, 2007). Sebaliknya warna merupakan kriteria penting bagi jantan untuk memilih pasangannya. Pada spesies tertentu, warna merah dan oranye merupakan warna yang paling sering diperlihatkan pada musim kawin. Ikan jantan dengan warna merah cerah, lebih diminati oleh betina, karena menurutnya jantan dengan warna seperti ini banyak mengkonsumsi makanan berkarotenoid seperti invertebrata dan organisme lain, yang harus diburu dalam jangkauan wilayah yang cukup jauh dan luas. Sehingga jantan berwarna merah cerah dinilai sangat kuat dan tangguh fisiknya, karena mampu melawan arus dan tantangan lain saat mencari makan. Selain itu, karotenoid pada tubuh ikan membuatnya resisten terhadap parasit. Dengan demikian kelompok ikan jantan berwarna merah cerah menunjukkan kemampuan hidup lebih lama (Kodric-Brown, 1998).

Aposematik adalah bentuk lain perubahan warna ikan karang, yang memperlihatkan warna-warna kontras terhadap warna latar belakangnya, dengan tujuan agar predator tahu bahwa mereka sangat beracun. Misalnya warna biru pada *Pygoplites diacanthus* (Gambar 3) atau *angelfish* lain, sangat mudah terlihat pada habitat terumbu karang (Marshall, 2000).



Gambar 3. Warna aposematik *Pygoplites diacanthus* di lingkungan karang. Sumber : Evans (2007)

Beberapa ikan juga melakukan hal yang hampir sama, yang disebut mimikri batesian (spesies yang tidak berbahaya, mengubah warna tubuhnya menyerupai spesies yang berbahaya), untuk menghindari predator. Misalnya ikan *plesiopid* (*Callopiops altevelis*), ketika dikejutkan menghasilkan warna dan tingkah laku yang sama dengan belut moray (*Gymnothorax meleagris*), yang tubuhnya dipenuhi spot. Contoh lain yaitu *Fowleria* sp. yang berwarna merah cerah, mengubah warnanya seperti *Scorpaenodes guamensis* (ikan berbisa). Dengan cara demikian, warna ikan-ikan tersebut dapat difungsikan sebagai peringatan bagi yang ingin mendekat (Hallacher, 2003).

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari kajian ini adalah: (1) Warna-warna yang ditampilkan oleh ikan karang disebabkan oleh interaksi pigmen pada lapisan kulit dengan spektrum cahaya yang masuk ke kolom air. (2). Warna-warna tersebut sebagai bentuk kamuflase terhadap latar belakang lingkungannya, yang bertujuan untuk menghindari musuh atau untuk mendekati mangsa. (3) Fungsi warna pada ikan karang untuk menunjukkan kehadiran, identitas, atau peringatan kepada sesama jenis maupun predatornya. (4) Perubahan pola warna pada ikan karang merupakan bentuk seleksi alam terhadap lingkungan ekosistem terumbu karang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. *Coral Reef Ecosystem* (Online) (<http://www.reefrelief.org/coralreef/>, diakses 20 Februari 2007).
- _____. 2003. *Coral Reef Adventure: About Coral and Coral Reef*. (Online) (<http://www.coralfilm.com/about>).
- Barzda, V., E. J. G. Peterman, R. van Grondelle, & H. van Amerongen. 1998. The Influence of Aggregation on Triplet Formation in Light-Harvesting Chlorophyll *a/b* Pigment-Protein Complex II of Green Plants. *Journal Biochemistry*. 37:546-551.
- Bernal, C. E, 2000. *Light Transmission on the Sea*. (Online) (<http://www.waterencyclopedia.com/La-Mi/Light-Transmission-in-the-Ocean.html>)
- Billsten, H. H., P. Bhosale, A. Yemelyanov, P. S. Bernstein, & T. Polívka. 2003. Photophysical Properties of Xanthophylls in Carotenoproteins from Human Retina. *Photochem. Photobiol.* 78:138-145.
- Buddemeier, R. W., J. A. Kleypas & R. B. Aronson, 2004, *Coral Reefs & Global Climate Change: Potential Contributions of Climate Change to Stresses on Coral Reef Ecosystems*. Pew Center on Global Climate Change.
- Deli, J. & E. Osz, 2004. Carotenoid 5,6-, 5,8- and 3,6. Epoxides. 1424 (6376):150-168
- Dellapena, D.. Carotenoid Synthesis and Function in Plants: Insight from Mutant Studies in *Arabidopsis thaliana*, hlm 21-37. Di dalam: H. A. Frank, A. J. Young, G. Britton & R. J. Cogdell. 1999. *The Photochemistry of Carotenoids*, Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Netherland
- Fenner, R.W. 2000. The Physiology and Behavior of Color in Fishes. (Online) (<http://www.wetwebmedia.com/AqSciSubWebIndex/coloration>, diakses tanggal 17 Februari 2007).
- Forsman, R. B. 2005. Life and Death on The Coral Reef : An Ecological Perspective on Scholarly. *Medical Library Association* 93 (1): 7-15.

- Frank, H. A. 1999. Incorporation of carotenoids into Reaction Center and Light-harvesting Pigment-Protein Complexes. Di dalam: H. A. Frank, A. J. Young, G. Britton & R. J. Cogdell. 1999. *The Photochemistry of carotenoids*, Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Netherland.
- Govindjee. 1999. Carotenoids in Photosynthesis: An Historical Perspective. Di dalam: H. A. Frank, A. J. Young, G. Britton & R. J. Cogdell. 1999. *The Photochemistry of Carotenoids*. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Netherland.
- Grether, G. F., J. Hudon & D.F. Millie, 1999. Carotenoid Limitation of Sexual Coloration Along an Environmental Gradient in Guppies. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 266:1317-1322.
- Grether, G. F., J. Hudon & J. A. Endler, 2001. Carotenoid Scarcity, Synthetic Pteridine Pigments and the Evaluation of Sexual Coloration in Guppies (*Poecilia reticulata*). *Proc. R. Soc. Lond. B.* 268:1245-1253.
- Hallacher, L. E., 2003, *The Ecology of Coral Reef Fishes*. (Online) (<http://kmech.uhh.hawaii.edu/QUESTInfo/Coral/Reef/Fishes/> diakses tanggal 20 Mei 2003).
- Jackson, J. B. C. 2001. What was Natural In The Coastal Oceans. *PNAS*. 98 (10): 5411-5418.
- Knowlton, N. 2001. The Future of Coral Reef. *PNAS* 98 (10): 5419-5425.
- Kodric-Brown, A. 1998. Sexual Dichromatism and Temporary Color Changes in the Reproduction of Fishes. *Journal American Zoology*. 70-81.
- Marshall, N. J. 2000. Communication and Camouflage with the same 'Bright' Colours in the Reef Fishes, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, The Royal Society* 355: 1243-1248.
- Niyogi, K. K., O. Björkman & A. R. Grossman. 1997. The Roles of Specific Xanthophylls in Photoprotection. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:14162-14167.
- Painter, K. J. 2000. Models for Pigment Pattern Formation in the Skin of Fishes. *IMA Volumes in Maths & Apps, Springer-Verlag* 121 : 59-82.
- Paulsen, H. 1999. Carotenoid and The Assembly of Light Harvesting Complexes. Di dalam: H. A. Frank, A. J. Young, G. Britton, & R. J. Cogdell. 1999. *The Photochemistry of Carotenoids*,. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Netherland.
- Porra, R. J., E.E. Pfündel, & N. Engel. 1997. Metabolism and Function of Photosynthetic Pigments. Hlm: 85-126. Di dalam: S. W. Jeffrey, R. F. C. Mantoura, & S.W. Wright. 1999. *Phytoplankton Pigments in Oceanography*. UNESCO. France.
- Puebla, O., E. Bermingham, F. Guichard & E. Whiteman. 2007. *Color Patterns As a Single Trait Driving Speciation in Hypoplectrus Coral Reef Fishes*, The Royal Society.
- Reid, W. V and K. R. Miller. 1989. *Coral Reef Ecosystems. Keeping Options Alive: The Scientific Basis for the Conservation of Biodiversity*. (Online) (http://pubs.wri.org/pubs_content_text.cfm?Content.Id)
- Robinson, J., E. A. Schmitt, E. I. Hárosit, R. J. Reecet & J. E. Dowling. 1993. *Zebrafish Ultraviolet Visual Pigment: Absorption Spectrum, Sequence, and Localization*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90 : 6009 – 6012.
- Rocha, L. A., D. R. Robertson., J. Roman & B. W. Bowen. 2004. *Ecological Speciation in Tropical Fish*. *Proc of the Royal Society*
- Rodriguez-Amaya, D. B, 1997. Carotenoids and Food Preparation: The Retention of Provitamin A Carotenoids in Prepared, Processed, and Stored Foods. John Snow, Inc/OMNI Project p. 1-93
- Siebeck, U. E., G. M. Wallis and L. Litherland, 2008, *Colour Vision in Coral Reef Fish*, *The Journal of Experimental Biology*, The Company of Biologist 211 : 354 – 360.
- Snyder, D. B., J. E. Randall and S. W. Michael, 2001, *Aggressive Mimicry by the Juvenile of the Redmouth Grouper, Aethaloperca rogaa (Serranidae)*, *Cybiurn* 25 : 3 : 227 – 232.

- Taylor, M. S, 2004, *Geography Coloration and Speciation in A genus of Neotropical Reef Fish (Gobiidae : Elacanthus)*, Ph. D Dissertation, B. S., Central Missouri State University pp.50.
- Vorobyev, M., J. Marshall., D. Osorio., H. N. de Ibarra and R. Menzel, 2000, *Colourful Objects Through Animal Eyes*. Color Research and Applicatio. John Wiley & Sons, Inc 26 : 214 – 217.
- Vorobyev, M and N. J. Marshall, 2008, *Spectra of Reef Fish – a Physic Approach to Colourful Patterns*, Proceeding of the Australian Physiological Society. <http://www.aups.org.au/Proceedings/36/121p>.
- Wang, Y., L. Mao, and Hu, X. 2004. Insight into the Structural Role of Carotenoids in Photosystem I: A Quantum Chemical Ananalysis. *Biophys. J.* 86:3097-3111.
- Weiss, C, 2000, *The Ocean Our Future: The Report Of The Independent World Commission On The Oceans*. http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m1076/is_1_42/ai_59121195
- Wood, R, 1998, *The Ecological Evolution of Reefs*, Annual Review, Ecol.Syst, 29 : 179 – 206.
- Zurdo, J., C. Fernández-Cabrera, and J.M. Ramírez. 1992. Enhancement of Carotenoid-to-Chlorophyll Singlet Energy Transfer by Carotenoid-carotenoid Interaction. *Biophys. J.* 61:1462-1469.