

# FOTORESEPTOR MATA IKAN LAUT

*Oleh :*

**Dr. Abdul Razak, M.Si**

Penerbit  
**TAUSHIA**  
Menebar Ilmu Menuai Hikmah

# FOTORESEPTOR MATA IKAN LAUT

*Penulis:*

**Dr. Abdul Razak, M.Si**

*Desain Sampul:*

Team Taushia

*Penata Letak:*

Team Taushia

*Cetakan I:*

Desember 2017

Hak cipta dilindungi undang-undang  
All right reserved

*Jumlah Halaman:*

vi + 102 halaman; 14,5 x 20,5 cm

ISBN : 978-602-5609-00-8

Dicetak oleh Cv. Ridhwaana  
(Isi di luar tanggung jawab percetakan)

Penerbit  
**TAUSHIA**  
Menebar Ilmu Menuai Hikmah

Penerbit & Percetakan  
Jl. Rawasari Barat Gg. 8 No. E-147  
Jakarta Pusat 10510  
Relp. 021 3927886

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Kesempurnaan milik Allah SWT. Itulah yang selalu penulis ucapkan dan syukuri setelah menuliskan buku *Fotoreseptor Mata Ikan* yang merupakan lanjutan dari buku *Fisiologi Mata Ikan* yang telah diterbitkan oleh Program Studi PSP FPIK IPB Bogor tahun 2005. Buku ini disusun berdasarkan hasil belajar, studi literatur dan penelitian yang sudah dilakukan sejak tahun 2004 sampai sekarang. Buku mengenai bagian mata dalam hal ini fotoreseptor masih sangat jarang ditulis di tanah air. Padahal manfaat ilmu mata dan komponennya telah dapat mengatasi masalah pada bidang perikanan, kesehatan dan pendidikan. Pada bidang pendidikan penulis telah meneliti tentang masalah stres belajar menghadapi ujian nasional (UN) dan mendapatkan Hibah Penelitian kabupaten kota pada tahun 2009. Pada tahun 2010 dan 2011 mendapatkan dana penelitian pascasarjana untuk meneliti masalah stres di SD dan SMP. Walaupun sumber-sumber informasi tentang fotoreseptor mata ikan ini masih terbatas namun penulis berusaha memberikan informasi terbaru agar dapat memenuhi rasa ingin tahu para pembaca. Buku ini sarat istilah karena itulah sebaiknya di baca dari Bab I sampai Bab terakhir secara berurutan.

Dalam penulisan ini pastilah ditemukan kekurangan, karena itulah tanda ketidaksempurnaan dan kedhaifan sebagai manusia. Karena itulah, kritik saran perlu dari pembaca agar buku ini dan penulis di masa mendatang dapat menulis lebih baik.

Akhirnya, penulis berharap semoga buku ini bermanfaat bagi para pembaca dan menambah khazanah ilmu dan buku khususnya di Jurusan Biologi FMIPA dan Program Pascasarjana UNP. Di tanah air, menambah koleksi ilmu tentang mata yang perannya sangat vital bagi hewan dan manusia.

Hormat Penulis





## DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi .....	v
I PENDAHULUAN.....	1
II. EKOSISTEM TERUMBU KARANG DAN OTAK IKAN ....	5
2.1. Ekosistem Terumbu Karang .....	5
2.2. Otak Ikan.....	11
III. ASPEK EKOLOGI DAN STRUKTUR MATA IKAN .....	17
3.1. Karakteristik Cahaya dalam Air .....	17
3.2. Struktur dan Fungsi Mata Ikan .....	25
3.2.1. Lensa dan Kornea .....	25
3.2.2. Iris.....	26
3.2.3. Retina .....	27
IV. WARNA DAN MATA IKAN .....	35
4.1. Warna dan Mata Ikan .....	35
4.2. Mekanisme Penentuan Warna .....	36
V. FOTORESEPTOR DAN PIGMEN MATA IKAN	
KEPE-KEPE (Chaetodontidae) .....	41
5.1. Struktur Fotoreseptor .....	41
5.2. Struktur Mata Ikan Kepe-kepe.....	46
5.2.1. Lensa Mata Ikan Kepe-kepe .....	47
5.2.1. Hubungan Diameter Lensa dan Panjang Tubuh Standar.....	49
5.2.2. Jenis/Tipe Fotoreseptor Ikan Kepe-kepe .....	54
4.4. Densitas Fotoreseptor .....	54
4.5. Analisis Sumbu Penglihatan (Visual Axis) .....	61



5.5. Analisis Ketajaman Mata Ikan .....	63
5.6. Analisis Jarak Pandang Maksimum (Maximum Sighting Distance) .....	75
5.7. Kandungan Retinol dan Carotenoid Ikan Kepe-kepe Gajah	77
VI FOTORESEPTOR IKAN PELAGIS .....	83
6.1. Struktur Fotoreseptor dan Jenisnya .....	83
6.2. Fotoreseptor Ikan Pelagis .....	89
VII FOTORESEPTOR IKAN LAUT DALAM .....	93
6.1. Fotoreseptor Ikan Laut dalam .....	93
6.2. Jenis Fotoreseptor Ikan Laut Dalam.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	97



## 1. PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, luas perairan laut Indonesia diperkirakan mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup>, terdiri dari 3,1 juta km<sup>2</sup> perairan teritorial dan 2,7 juta km<sup>2</sup> Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Disamping itu, diantara perairan laut tersebut, kita menemukan gugusan pulau sebanyak 17.506 pulau (Anonim, 2009a).

Selanjutnya, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, panjang garis pantai Indonesia mencapai 81.000 km<sup>2</sup>. Wilayah pesisir dan lautan Indonesia yang sangat luas tersebut memiliki keanekaragaman hayati tertinggi di dunia (*mega biodiversity*) (Dahuri, 2003).

Wilayah perairan laut Indonesia memiliki sumberdaya yang melimpah. Salah satu komponen sumberdaya alam yang melimpah itu adalah sumberdaya hayati ikan yang beraneka ragam. Ikan merupakan kelompok biota laut yang memiliki jumlah spesies terbanyak kedua setelah Moluska (Dahuri, 2003).

Potensi ikan diperkirakan sebanyak 6,26 juta ton per tahun. Potensi tersebut terdiri dari 2000 spesies ikan yang ditemukan di lautan Indonesia. Sumberdaya ikan yang dapat dikelola secara lestari (MSY) sekitar 4,4 juta ton di perairan Indonesia dan 1,86 juta ton berada di perairan ZEE (Wangsa, 2009).

Beberapa spesies ikan mempunyai nilai ekonomi penting terutama dari kelompok ikan pelagis kecil. Kelompok ikan pelagis kecil ini diperkirakan meliputi lebih dari 1200 spesies, seperti ikan Tongkol (*Auxis thazard*), ikan Layang (*Decapterus spp*), ikan Selar (*Selaroides spp*), ikan Lemuru (*Sardinella spp*), dan ikan Teri (*Stolephorus spp*). Potensi sumberdaya ikan pelagis kecil Indonesia mencapai 3.605,66 × 10<sup>3</sup> ton/tahun (Dahuri, 2003). Menurut data yang dirangkum Direktorat Jenderal Perikanan (2007), produksi ikan pelagis pada tahun 2006 sebesar 592.341 ton atau 21,5 % dari produksi perikanan laut Indonesia sebesar 2.752.838 ton. Dari

jumlah tersebut, kelompok produksi terbesar adalah jenis ikan Tongkol sebanyak 31,2 % yang diikuti oleh ikan Cakalang, Tenggiri dan Cucut yang masing-masingnya 26,9 %, 17,2 %, 14,1 % dan 10,7 % (Wangsa, 2009).

Kontribusi produksi perikanan Sumatera Barat sebesar 85.745 ton atau setara 0.031 % dari produksi nasional, pada tahun 2002 (Marahuddin, 2003). Pada tahun 2005, produksi perikanan Sumatera Barat meningkat sampai 108.915,1 ton. Produksi ini menunjukkan bahwa perairan laut Sumatera Barat mempunyai potensi cukup besar untuk pengembangan usaha perikanan laut, terutama kelompok ikan pelagis besar dan ikan pelagis kecil (BPS Sumatera Barat, 2006).

Potensi sumberdaya ikan pelagis kecil di perairan Sumatera Barat sangat potensial. Ikan-ikan yang termasuk kelompok ikan pelagis kecil adalah ikan Tongkol, Kembung, Teri, Selar, ikan karang, dan lain sebagainya (Kamal, 2002).

Salah satu ikan pelagis kecil adalah ikan Tongkol yang berpotensi besar untuk usaha perikanan laut. Produksi ikan ini dipengaruhi oleh faktor internal dari ikan itu sendiri maupun faktor eksternal dari lingkungan (Dahuri, 2003).

Faktor internal meliputi aspek genetik, umur dan ukuran, serta tingkah laku (*behaviour*). Perbedaan genetik menyebabkan perbedaan dalam morfologi, respon fisiologis dan daya adaptasi terhadap lingkungan.

Faktor eksternal adalah faktor lingkungan perairan laut. Faktor lingkungan laut tersebut meliputi suhu, salinitas, densitas, kedalaman lapisan termoklin, arus, sirkulasi massa air, oksigen dan kelimpahan makanan (Anonim, 2009b).

Untuk berinteraksi dengan faktor lingkungan perairan tersebut, kehidupan ikan sangat tergantung pada mata sebagai organ penglihatan (Razak *et al.*, 2005). Sebagian besar jenis ikan menggunakan mata dalam aktifitas hidupnya, seperti memijah, mencari makan, menghindari serangan ikan besar atau binatang pemangsa lainnya.

Mata bagi ikan juga berperan penting dalam menentukan





daerah teritorialnya. Disamping itu, mata berperan untuk mencari pasangan dan mencari tempat pengasuhan bagi anak-anaknya (Razak *et al.*, 2005; Wiyono, 2006).

Sensitivitas dan ketajaman mata ikan bervariasi tergantung spesiesnya.

Sensitivitas dan ketajaman mata ikan dipengaruhi oleh pencapaian bayangan pada retina. Untuk itu, lensa berperan dalam memfokuskan cahaya dan memberikan seluruh kekuatan pembiasan cahaya dalam air. Selain bentuk lensa yang bulat, pemfokusan cahaya juga dapat dilakukan dengan pergerakan lensa mata (Razak *et al.*, 2005).

Sebagai organ penglihatan, mata mempunyai hubungan dengan ukuran tubuhnya. Hasil penelitian Razak (2005) menemukan hubungan antara panjang tubuh standar dengan diameter lensa mata pada ikan Kepe-kepe (*Chaetodon* spp) dan ikan Bendera (*Zanclus* sp). Pertambahan panjang tubuh terjadi sampai ukuran tertentu diikuti oleh meningkatnya diameter lensa mata pada panjang tubuh tertentu pula.

Pertumbuhan komponen mata ikan ini penting untuk diketahui dan bermanfaat bagi teknologi penangkapan ikan yang ramah lingkungan. Penelitian dan pengetahuan tentang pertumbuhan komponen mata ikan ini masih sangat minim di Indonesia (Razak *et al.*, 2005; Anonim, 2005b).

Salah satu penyebabnya adalah sumberdaya manusia yang menguasai ilmu dan pengalaman serta literatur yang mendukung masih sangat kurang. Hal ini menyebabkan potensi perikanan tidak dapat dimanfaatkan secara optimal. Padahal, penelitian tentang hal tersebut sangat penting dalam pengembangan dan penguasaan teknologi penangkapan yang ramah lingkungan. Sebagai contoh, jika ingin menangkap ikan dengan ukuran standar dalam arti sesuai dengan permintaan pasar, alat tangkap yang digunakan harus efektif. Maksudnya, alat tangkap bisa dimanipulasi untuk mengatasi ketajaman mata ikan pada ukuran yang sesuai dengan permintaan pasar.

Hal ini merupakan kendala dan kelemahan yang dihadapi

Indonesia, seperti yang diungkapkan oleh Ayodhya (2001) hampir tidak ada penelitian mengenai intensitas cahaya optimum untuk menangkap satu jenis ikan ekonomis tertentu, selektivitas alat. mekanisme ikan tertarik cahaya, pengaturan lama pencahayaan lampu dan penangkapan juvenil ikan menggunakan cahaya. Padahal dalam masa mendatang penangkapan ikan menggunakan cahaya merupakan cara yang ramah lingkungan sesuai dengan paradigma baru penangkapan ikan yang diatur dalam *“the code of conduct for responsible fisheries”*.

Di samping latar belakang masalah di atas, sisi lain yang menyebabkan urgennya penelitian dasar yang menunjang percepatan perkembangan teknologi tepat guna yang ramah lingkungan adalah tingkat kerusakan terumbu karang Indonesia akibat aktivitas manusia pada taraf yang memperihatinkan. Kenyataan ini sesuai dengan pendapat Suharsono (1998) bahwa terumbu karang Indonesia secara global 70% mengalami kerusakan dan hanya tinggal 7% dalam kondisi yang bagus. Salah satu penyebab utama kerusakan tersebut adalah kelebihan tangkap dan cara penangkapan yang merusak lingkungan dengan menggunakan bom dan racun (potas)

Penelitian dasar yang berkaitan dengan pengembangan teknologi tepat guna yang ramah lingkungan masih sangat minim dilakukan. Seperti penelitian fisiologi tingkah laku ikan hias laut. Padahal penelitian seperti ini sangat diperlukan dalam rangka meningkatkan produktivitas alat tangkap ikan hias laut seperti bubu. Produktivitas bubu yang sangat rendah bila dibandingkan dengan bahan peledak atau pun bahan kimia merupakan masalah yang perlu segera dicarikan solusinya.

Penggunaan cahaya sebagai umpan optik pada alat tangkap bubu mengalami kendala belum diketahuinya warna cahaya apa saja yang efektif untuk memikat dan menangkap ikan. Disamping itu, pengetahuan tentang mata ikan dan struktur komponennya belum banyak informasinya di Indonesia.



## II. EKOSISTEM TERUMBU KARANG DAN OTAK IKAN

### 2.1. Ekosistem Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem yang memiliki keindahan karena keragaman biota laut yang tinggi. Keragaman yang tinggi tersebut menyebabkan kompleksnya interaksi antara ikan dan terumbu yang berasosiasi. Asosiasi tersebut membentuk struktur rantai makanan yang beragam dan unik. Ikan karang ada yang berperan sebagai herbivor yang menetap di dalam dan di luar perairan terumbu karang, ada pemakan koral, pemakan spons, pembersih kutu/parasit serta ada pula pemakan hewan invertebrata kecil yang hidup di dasar perairan. Selain itu, ada pula yang berperan penting sebagai predator yang menetap dan bebas berenang kemana-mana (Ginsburg, 2000).

Komunitas ikan di perairan terumbu karang diatur oleh sejumlah proses biotik seperti kompetisi, predasi dan terbatasnya rekrutmen. Sumberdaya yang terbatas menyebabkan kompetisi yang nyata di antara populasi ikan-ikan karang yang menentukan kelimpahan, distribusi dan keragaman populasi. Predasi (hubungan mangsa dan pemangsa) merupakan faktor penting lainnya yang membentuk struktur kelompok ikan karang. Morfologi tubuh dan adaptasi tingkah laku merupakan bukti bahwa predator yang mengembangkan tehnik menangkap mangsa yang efisien akan seimbang dengan mangsa yang mengembangkan mekanisme pertahanan diri yang efektif sebagai respon terhadap predasi.

Predasi pada ekosistem terumbu karang merupakan faktor pembatas yang menentukan distribusi dan kelimpahan ikan karang seperti ikan Kepe-kepe. Adaptasi tersebut dapat kita lihat secara morfologi dan tingkah laku. Kedua faktor tersebut didukung oleh proses fisiologis. Struktur otak dan mata secara integral menjadi faktor penting dalam memahami morfologi dan tingkah laku. Morfologi dan tingkah laku beradaptasi dengan lingkungannya. Adaptasi tingkah laku dipengaruhi oleh adaptasi ekologi mata ikan

yang tercermin pada otak dan retina yang bekerjasama secara sinergis, agar ikan karang mampu menghindari dari predator dan berkompetisi mendapatkan sumberdaya yang ada di lingkungannya. Ikan Kepe-kepe yang berada pada fase remaja (*subadult*) mengalami tekanan predasi yang kuat sehingga tingkat mortalitasnya tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan ikan Kepe-kepe mengembangkan adaptasi ekologi mata sedemikian rupa agar tetap eksis. Pengertian adaptasi ekologi mata pada konteks penelitian ini adalah penyesuaian mata ikan Kepe-kepe terhadap habitatnya pada ekosistem terumbu karang yang kompleks.

Kompleksitas ekosistem terumbu karang tercermin pada proses biotik dimana komunikasi diantara sesama jenis ikan karang seperti ikan Kepe-kepe dilakukan lewat pesan warna. Warna menjelaskan apakah ada musuh, teman atau keamanan sedang terancam. Hal tersebut sesuai dengan fakta baru yang diungkapkan Kaufman (2005) menyatakan bahwa perairan terumbu karang yang berwarna-warni membutuhkan mata yang mampu mendiskriminasi warna. Warna bagi biota yang hidup di perairan terumbu sangat penting bagi kelangsungan hidupnya. Kemampuan mendiskriminasi warna tersebut memerlukan adaptasi ekologi mata yang khusus. Warna berperan pemberi isyarat atau pesan, menyembunyikan atau menyatakan sesuatu, menyampaikan pesan bagi semua atau saran tertentu. Warna merupakan hal yang menyangkut hidup matinya biota yang ada di perairan terumbu karang. Hal di atas terjadi sejalan dengan berkembangnya sistem saraf dan indera yang diperlukan untuk menjelajahi ruang, mendapatkan makanan, reproduksi serta menghindari dari predator dengan kamuflase atau penyamaran. Bentuk adaptasi struktural-fungsional tersebut secara keseluruhan berbasis pada proses fisiologis dan terefleksi dalam bentuk tubuh (morfologi) dan tingkah laku yang spesifik (Gordon dan Belman 1981).

Saat ini, penelitian tentang biologi ikan Kepe-kepe yang telah dilakukan meliputi aspek biogeografi, pola komunitas, lingkungan sosial sistemnya, orientasi tingkah laku terhadap makanan, larva,



reproduksi dan difreniasi seksual, proses rekrutmen, penyamaran, pola gigi, organisasi otak, otot mata, membran labirin dan inervasi sarafnya. Penelitian tersebut dipaparkan dalam sebuah simposium dan dipublikasikan dalam sebuah jurnal edisi khusus pada *Environmental Biology of Fishes* Volume 25/1989.

Di Indonesia, penelitian mengenai ikan Kepe-kepe 5 tahun terakhir banyak dilakukan dari aspek ekologi seperti yang dilakukan Adrim dan Hutomo (1989) tentang komposisi jenis, Adrim (2002) tentang komunitas ikan Kepe-kepe di pulau Derawan. Penelitian yang berkaitan dengan tingkah laku ikan Kepe-kepe dan hubungannya dengan aspek adaptasi ekologi mata belum banyak dilakukan. Penelitian yang berkaitan dengan hal tersebut ada dilakukan oleh Jaya *et al.* (2001). Berkaitan dengan hal tersebut di atas, penelitian mengenai adaptasi ekologi mata ikan Kepe-kepe dan responnya terhadap racun potas dapat memberikan informasi baru.

Kekayaan sumberdaya hayati laut khususnya ikan Kepe-kepe di perairan tropis Indonesia sampai saat ini dari aspek biologi seperti adaptasi ekologi mata belum diungkap secara tuntas. Hal tersebut disebabkan belum banyaknya penelitian mengenai mata ikan yang dilakukan sehingga informasi yang tersedia masih minim. Berkaitan dengan hal itu, penelitian mengenai adaptasi ekologi mata ikan Kepe-kepe perlu dilakukan. Informasi dari penelitian adaptasi ekologi mata ikan ini bermanfaat sebagai input pengembangan teknologi penangkapan ikan yang ramah lingkungan. Hal ini sesuai dengan paradigma baru perikanan yang menyatakan bahwa untuk mendapatkan suatu spesies ikan target secara optimal diperlukan pengetahuan biologi ikan yang memadai.

Di sisi lain, ikan Kepe-kepe mengalami eksploitasi yang cenderung terus meningkat seiring dengan tingginya permintaan pasar sebagai ikan hias karang yang banyak diminati oleh para pecinta ikan hias. Ikan karang hias seperti ikan Kepe-kepe ditangkap dengan menggunakan racun potas. Untuk memenuhi permintaan pasar (Rubec *et al.* 2000). Kegiatan penangkapan ikan menggunakan racun potas (kalium sianida) sangat merusak terumbu karang yang

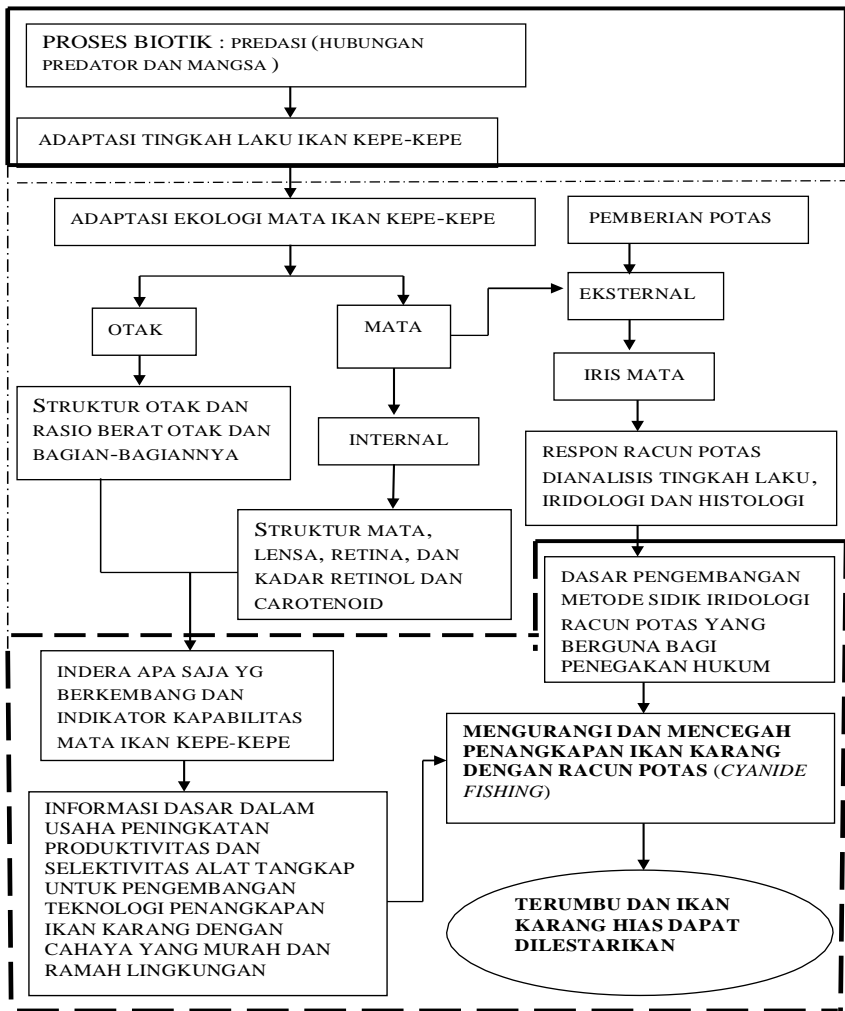
merupakan habitat ikan tersebut. Kegiatan penangkapan ikan karang hias dengan racun potas terjadi karena lemahnya penguasaan IPTEK dan penegakan hukum. Kedua hal tersebut merupakan faktor penyebab maraknya penangkapan ikan karang dengan racun potas yang merata di seluruh perairan Indonesia (Mous *et al.* 2000; Suharsono 1998).

Penangkapan ikan karang dengan racun potas jelas melanggar hukum, namun penegakan hukum terkendala oleh beberapa faktor, salah satunya adalah sulit mendapatkan bukti ikan karang yang terkena potas secara tepat dan akurat.. Racun potas akan hilang dalam darah dalam waktu 24 jam. Sementara metode konvensional mahal dan memakan waktu. Karena itulah, pengembangan metode yang tepat dan akurat dalam menyidik racun potas pada tubuh ikan karang mendesak dan perlu dilakukan. Pengembangan metode sidik iridologi merupakan solusi alternatif yang dapat dilakukan. Percobaan dan penelitian awal yang didasari oleh asumsi dan teori pendukung yang kuat sangat mungkin memperoleh metode yang mampu memperlihatkan keberadaan racun potas pada iris mata ikan.

Ikan Kepe-kepe merupakan ikan karang yang tergolong diurnal. Hal ini menyebabkan mata ikan Kepe-kepe beradaptasi dengan lingkungan yang terang. Adaptasi ekologi mata ikan Kepe-kepe ini belum banyak digali. Hal ini penting sebagai dasar pengembangan teknologi penangkapan ikan yang ramah lingkungan. Untuk mengetahui dan mengkaji bagaimana adaptasi ekologi mata ikan Kepe-kepe maka ditelaah struktur otak dan bagian-bagiannya dalam dimensi berat. Selanjutnya, diamati struktur mata internal yang meliputi lensa mata dan struktur histologis retina mata dan kadar vitamin A (retinol) dan karotenoid mata ikan Kepe-kepe.

Bagian mata eksternal yang diamati secara visual adalah iris mata dan responnya terhadap racun potas. Disamping itu, tingkah laku ikan Kepe-kepe dan jaringan iris mata yang terpapar racun potas diamati melalui foto preparathistologis.





Gambar 1. Kerangka Pendekatan Masalah

Pendekatan masalah ini merupakan cara pandang terhadap penelitian dan hasilnya yang dituliskan pada buku ini. Pendekatan masalah yang terdiri dari input, proses dan output. Input terdapat pada kotak yang bergaris hitam tebal. Input merupakan proses di

alam, dimana terjadi proses biotik. Salah satu proses tersebut adalah hubungan antara predator dengan mangsa yang disebut predasi. Predasi ini mempengaruhi adaptasi tingkah laku ikan Kepe-kepe. Adaptasi tingkah laku pada ikan Kepe-kepe ditunjukkan oleh adaptasi ekologi mata ikan Kepe-kepe yang merupakan bagian proses.

Bagian proses yang terdapat pada kotak bergaris putus-putus tipis merupakan ruang lingkup penelitian yang mengungkap adaptasi ekologi mata ikan Kepe-kepe melalui telaah otak dan mata. Otak ikan Kepe-kepe yang diamati adalah struktur otak, rasio berat otak dan bagian-bagiannya dalam dimensi berat. Setelah itu, bagian mata internal dan eksternal yang diteliti. Mata ikan Kepe-kepe bagian internal yang diamati meliputi struktur mata, lensa, retina dan kadar retinol dan carotenoid yang merupakan bagian atau komponen penyusun pigmen mata ikan Kepe-kepe. Selanjutnya, mata bagian eksternal yang ditelaah adalah respon atau akibat pemaparan racun potas. Respon tersebut dianalisis secara iridologi dan histologis dan diamati akibatnya terhadap tingkah laku.

Output atau luaran dari penelitian otak dan bagian mata internal dan eksternal yang terdapat pada kotak bergaris putus-putus tebal adalah informasi mengenai struktur otak dan retina yang bermanfaat bagi pengembangan teknologi penangkapan ikan karang dengan cahaya yang murah dan ramah lingkungan. Informasi dari hasil penelitian struktur otak dan rasio berat bagian-bagian komponen otak menjelaskan adaptasi dan organ-organ sensoris apa saja yang berkembang pada ikan Kepe-kepe. Pengetahuan tersebut akan memberikan informasi awal yang berguna bagi penelitian tingkah lakus sesuai dengan organ sensoris yang berkembang.

Selanjutnya, pada bagian mata internal dalam hal ini retina yang tersusun oleh fotoreseptor menjadi objek penelitian. Informasi mengenai fotoreseptor berupa jenis, kepadatan dan pola mosaik sel kerucut yang menentukan ketajaman mata, sumbu penglihatan dan jarak pandang maksimum. Ketajaman mata, sumbu penglihatan dan jarak pandang maksimum tersebut penting diketahui dalam rangka meningkatkan produktivitas dan selektivitas alat tangkap.





Cahaya yang umum masuk ke dalam perairan adalah berkas cahaya putih. Selanjutnya, cahaya putih mengalami dispersi membentuk spektrum. Pada perairan dangkal, variasi warna dapat dibedakan menurut panjang gelombangnya (Shaw dan Stowe, 1982).

Cahaya matahari yang ditransmisikan air laut adalah gelombang cahaya tampak. Sebanyak 60% energi cahaya yang masuk di serap pada kedalaman 1 meter, kira-kira 80% hilang setelah masuk kedalaman 10 m, hanya 1% yang mampu menembus air laut yang jernih pada kedalaman 140 m (500 kaki) dan tak ada penetrasi cahaya matahari pada kedalaman 1000 m (3300 kaki) (Gross 1990 ; Duxbury dan Duxbury 1993).

Tingkah laku cahaya tampak di air berbeda dengan di udara. Hal itu terjadi karena penyerapan pada jarak yang pendek oleh laut dibanding dengan atmosfer. Sebaliknya, pada air yang mengalami pengadukan seperti pada daerah pesisir pantai maka semua spektrum gelombang cahaya mengalami pemudaran yang lebih besar dibandingkan dengan air laut yang jernih di laut terbuka. Tidak semua spektrum gelombang cahaya ditransmisikan secara bersama. Spektrum gelombang warna merah yang merupakan gelombang terpanjang yang sangat cepat diserap. Sebaliknya gelombang warna biru yang merupakan gelombang terpendek ditransmisikan lebih jauh penetrasinya ke dalam air laut (Duxbury dan Duxbury 1993).

## **2.2. Otak Ikan**

Otak merupakan cerminan berkembang tidaknya fungsi organ-organ sensoris pada hewan. Otak depan (forebrain) disebut juga prosencephalon, otak tengah (mesencephalon) dan otak belakang (rhombencephalon) berkembang seperti halnya vertebrata lainnya, juga mengalami difrensiasi. Secara umum pola perkembangan sistem saraf sama pada semua ikan. Walaupun demikian ada perbedaan yang disebabkan oleh perkembangan dari bagian-bagian otak. Pola dasar dan kemajuan dari proses yang terjadi di kepala (cephalisasi). Pada hewan vertebrata konsentrasi rangsangan diterima dan dipadukan

pada satuan atau unit-unit yang terdapat di dalam kepala, mulai dari Cyclostomata, Chondrichthyes sampai ikan tulang sejati (Teleostei) .

Otak ikan memiliki bagian-bagian yang menunjukkan susunan yang berbeda pada kelompoknya. Otak ikan secara umum di bagi kedalam tiga bagian besar yang terbagi lagi kedalam beberapa sub bagian seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Telencephalon merupakan pusat penciuman pada bagian otak depan. Bagian ini disebut juga otak depan (forebrain). Pada ikan, telencephalon merupakan tempat penerimaan, elaborasi, dan meneruskan impuls aroma (bau). Ukurannya bervariasi, sesuai dengan peranan relatif yang dimainkannya bagi kehidupan ikan yang diuji. Telencephalon ini terdiri dari bulbus olfactorius yang diikuti oleh lobus olfactorius pada bagian belakang. Keduanya merupakan rongga internal dari ventrikel otak I dan II (Lagler *et al.* 1977).

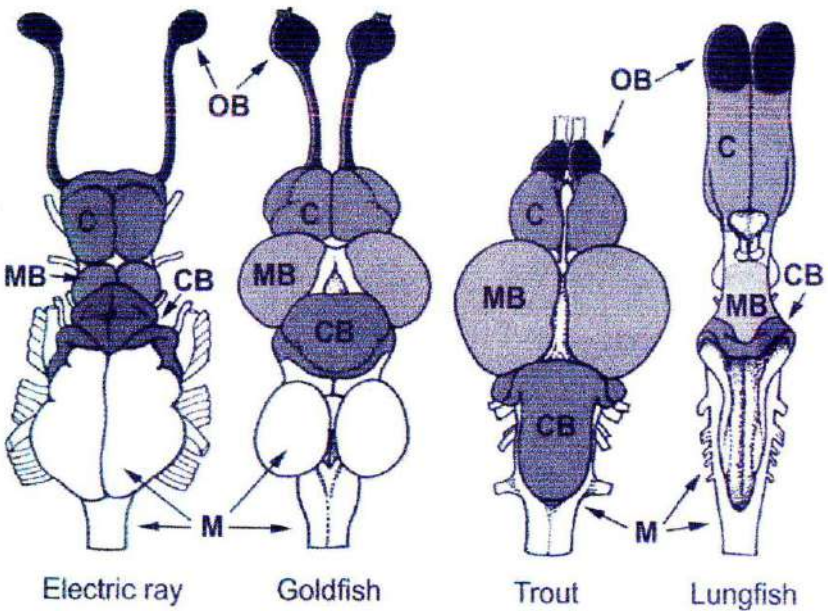
Tabel 1 Bagian utama dan sub bagian otak ikan (Bone dan Marshall 1982)

No.	Bagian Utama	Sub Bagian
1.	Forebrain (Prosencephalon)	Lobus olfactorius
		Telecephalon (cerebral hemisphere)
		Diencephalon (between-brain)
2.	Midbrain (Mesencephalon)	Lobus opticus
3.	Hindbrain (rhombencephalon)	Metencephalon (cerebellum)
		Myelencephalon (medulla oblongata)

Ikan Elasmobranchii (Cucut, Pari, Skate dan Chimaeras) memiliki indera penciuman berperan besar dalam mencari makan dan interaksi sosial karena itu lobus olfactorius membesar. Bagian lobus ventro-lateral otak mengandung sebuah ganglion besar yakni corpus striatum yang merupakan pusat korelasi utama untuk meneruskan rangsangan bau ke bagian sensoris posterior atau pusat-pusat saraf somatis. Anterior commissure pada sisi kiri dan

kanan dihubungkan oleh saraf fiber. Commisurre ini terletak pada telenchephalon dan terus membentuk lamina terminal pada bagian atas tengah dinding yang melindungi sistem *canal neural*.

Selanjutnya, mesencephalon yang merupakan otak tengah (*mid brain*), pada ikan relatif besar terdiri dari lobus opticus dorsal, di bagian dorsal terdapat dua lobus opticus dan ventral tegmentum. Lobus opticus disusun dari kumpulan sel-sel saraf yang berbeda. Kebanyakan saraf fiber optik berakhir di lobus opticus. Lobus opticus merupakan bagian depan dari retina yang diteruskan proyeksinya ke dalam bagian belakang contra-lateral dari lobus opticus dari sisi yang lain pada ikan. Ikan sebagaimana vertebrata lainnya memiliki lensa konveks pada matanya yang dapat membuat bayangan sampai di retina. Selanjutnya, membentuk pola pada bagian atas lobus opticus yang penting untuk diproyeksikan secara alami apa yang dilihat (Lagler *et al.* 1977). Pada Lamprey, otak tengah ini dilapisi oleh vascular choroid plexus yang membantu perawatan otak dan berhubungan dengan cairan-cairan ventrikel dan canal ventral.



Gambar 2 Struktur otak ikan. Ikan bertulang rawan (Elasmobranchii) diwakili Electric ray (*Raja clavata*) dan ikan bertulang sejati (Teleostei) : Goldfish (*Carassius auratus*), Trout (*Onchorinchus mykiss*), Lungfish (*Neoceradotus forsteri*). (C) cereberal hemisphere; (CB) cerebellum; (M) medulla; (MB) mid brain (lobus opticus); (OB) bulbus olfactorius (Rose 2002).

Gambar 2 bagian MB yang menunjukkan lobus opticus yang berbeda dan bagian-bagian otak lainnya. Lobus opticus yang besar ditemukan pada ikan salmon. Lobus opticus yang besar bermakna mata ikan salmon berkembang sangat baik dibandingkan dengan ikan Pari Listrik (*Raja clavata*), Goldfish (*Carassius auratus*), Lungfish atau ikan Paru (*Neoceradotus forsteri*) (Rose 2002).

Fungsi lobus opticus pada ikan berdasarkan beberapa percobaan menunjukkan sebagai pusat koordinasi bola mata. Disamping itu, lobus opticus juga berperan dalam proses belajar dan berhubungan dengan proses pesan sensoris ke motor respon. Karena itulah, fungsi lobus opticus ini sangat penting pada ikan, dan tidak berkaitan dengan cerebral cortex seperti yang ditemukan pada mammalia (Lagler *et al.* 1977).

Struktur otak ikan secara umum dan lobus opticusnya bervariasi pada beberapa famili ikan, baik ikan air tawar maupun ikan laut. Gambaran otak yang bervariasi terlihat pada otak depan ikan cucut yang membesar yakni bagian bulbus olfactorius. Bulbus olfactorius yang membesar menjadi indikasi berkembangnya indera penciuman yang berguna untuk memburu mangsan melalui deteksi bau atau aroma dari jarak yang cukup jauh. Ikan cucut mampu mendeteksi keberadaan mangsanya melalui bau sejauh 9 km. Hal ini dibuktikan ilmuwan untuk memancing ikan hiu putih yang ganas dengan melemparkan darah hewan ke perairan, beberapa saat kemudian ikan cucut putih pun segera muncul dan memakan umpan dengan sangat agresif (Ristori 1991).

Disamping itu, penglihatan pada ikan Cucut juga cukup baik



walaupun hanya mampu membedakan kondisi gelap dan terang sama seperti pada Buaya (Crocodylidae) dan anjing (*Canis sp*). Perkembangan otak depan yang sangat besar dibandingkan dengan kelompok ikan bertulang sejati maupun hewan vertebrata lainnya, merupakan indikasi bahwa hewan predator seperti ikan Cucut, Buaya dan Anjing sangat mengandalkan indera penciuman sebagai detektor mangsanya dari jarak yang cukup jauh (Scheer 1966).

Selanjutnya, pada ikan Kepe-kepe (Chaetodontidae) bagian lobus olfactorius ukurannya lebih kecil dibandingkan ikan Cucut, namun lobus opticusnya cukup berkembang. Hal ini sesuai pendapat Bauchot *et al.* (1989) yang menyatakan bahwa volume lobus opticus dari famili Chaetodontidae 21.2% dari volume total otaknya, lebih besar dari famili ikan Bidadari (Pomachantidae) yang hanya 16.6% dari volume total otaknya.

Selanjutnya, jika kita bandingkan dengan famili ikan bertulang sejati lainnya, volume rata-ratanya adalah 22% dari volume total otaknya. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan penglihatan ikan Kepe-kepe relatif normal seperti ikan-ikan lainnya. Demikian juga bagian otak depan sebagai pusat penciuman pada ikan kepe-kepe ini juga berkembang cukup baik, seperti halnya cerebellum yang cukup berkembang. Jika kita dibandingkan dengan otak ikan Cucut (Elasmobranchii), struktur otak ikan Kepe-kepe memang berbeda.

Bagian utama yang ketiga adalah otak belakang (hindbrain) yang terdiri dari metencephalon dan myelencephalon (medulla oblongata). Metencephalon merupakan pusat keseimbangan dan tonus otot serta terdapat cerebellum atau otak kecil. Cerebellum yang merupakan pelebaran dari dasar medulla pada bagian dorsal dengan pertumbuhan ke arah luar. Fungsi cerebellum adalah sebagai peletak keseimbangan berenang, merawat tonus muscular, orientasi ruang, pada beberapa ikan komponen ini bagian yang terbesar dari otak.

Pada Lamprey, cerebellum hanya merupakan bagian kecil pada bagian dorsal sebagai penghubung antara daerah saraf *acoustic-lateral line*. Pada Hagfishes (Myxiniiformes), cerebellum ditunjukkan oleh commissure kecil yang terdiri dari 8 saraf, garis fiber lateral, sistem

*octavo-lateralis*. Pada Elasmobranchii, cerebellum membesar sesuai dengan ukuran tubuh spesies. Cerebellum pada ikan bertulang sejati berperan sebagai penerus proyeksi tujuan, valvuli cerebellum yang merupakan pelebaran di bawah lobus opticus.

Selanjutnya, bagian myelencephalon tempat ditemukannya medulla oblongata. Medulla oblongata merupakan komponen saraf pusat yang mempengaruhi saraf-saraf sensoris. Medulla oblongata terdiri dari batang saraf fiber yang berfungsi sebagai penyampai informasi. Medulla berperan sebagai sensor somatik dan visceral dan juga motor area. Medulla pada ikan kelompok Actinopterygii mengandung pasangan neuron yang banyak, sel besar Mauthner dan saraf kepala ke-8. Sel-sel dendrit yang besar di bagian samping berhubungan dengan fiber saraf kepala ke-5,7,9 dan 10, cerebellum dan lobus opticus.



### III. ASPEK EKOLOGI DAN STRUKTUR MATAIKAN

#### 3.1. Karakteristik Cahaya dalam Air

Menurut teori Maxwell cahaya menyebar dalam bentuk gelombang elektromagnetik dengan kecepatan sekitar 300 ribu kilometer per detik. Panjang gelombang berkisar antara 7.800-3.600 Å<sup>0</sup> (Armstrong; 1 Armstrong =  $1 \times 10^{-10}$  meter) dengan frekuensi berkisar antara  $3.87 \times 10^{14}$  x  $-8.35 \times 10^{14}$ . Sifat alamiah cahaya akan menentukan kontras lingkungan disekitarnya. Jumlah partikel akan menentukan koefisien pemudaran cahaya. Banyaknya cahaya yang terpantul di permukaan akan mempengaruhi jumlah cahaya yang masuk ke kolom air (Nadir, 2000).

Cahaya merupakan faktor ekologi yang sangat penting bagi kehidupan biota laut. Cahaya adalah gelombang yang memindahkan tenaga tanpa perambatan massa (Cromer, 1994). Adanya penetrasi cahaya yang masuk air laut ditangkap dan dimanfaatkan oleh biota laut. Energi cahaya diubah menjadi energi kimia oleh fitoplankton dan selanjutnya dialirkan melalui proses makan-memakan yang kita kenal dengan rantai makanan. Adanya cahaya memberikan informasi yang vital bagi ikan karang tentang lingkungan habitatnya, di daerah terumbu karang.

Banyaknya cahaya yang terpantul di permukaan akan mempengaruhi jumlah cahaya yang masuk ke kolom air (Nadir, 2000). Kedalaman penetrasi cahaya ke dalam laut menurut Nybakken (1988) tergantung pada beberapa faktor, antara lain absorpsi cahaya oleh partikel-partikel air, panjang gelombang cahaya, kecerahan air, pemantulan cahaya oleh permukaan laut. Disamping itu juga ditentukan oleh lintang geografis dan musim.

Iluminasi cahaya di bawah permukaan air hanya bernilai lebih dari separuh iluminasi di permukaan air. Iluminasi suatu sumber akan menurun dengan semakin jauh dari sumber cahaya tersebut nilainya akan lebih berkurang apabila cahaya tersebut memasuki air karena mengalami pemudaran. Besarnya iluminasi cahaya (E) ditentukan oleh intensitas penyinaran (I) dan jarak dari

sumber cahaya ( $r$ ) yang diformulasikan sebagai berikut :

$$E = I / r^2 \dots\dots\dots (1)$$

(Ben Yami, 1987).

dimana :

$E$  = iluminasi cahaya (lux)

$I$  = intensitas (candela; cd)

$r$  = jarak dari sumber cahaya (meter)

Polairuminasi mengikuti Hukum Buger. Hal ini sesuai pernyataan Nikonorov (1975) yang menyatakan bahwa pemudaran intensitas cahaya di dalam kolom air terjadi secara eksponensial berdasarkan Hukum Buger yang diformulasikan sebagai berikut:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-kx} \dots\dots\dots (2)$$

atau

$$E_x = E_0 \cdot e^{-kx} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

$E_x$  = iluminasi pada kedalaman  $x$

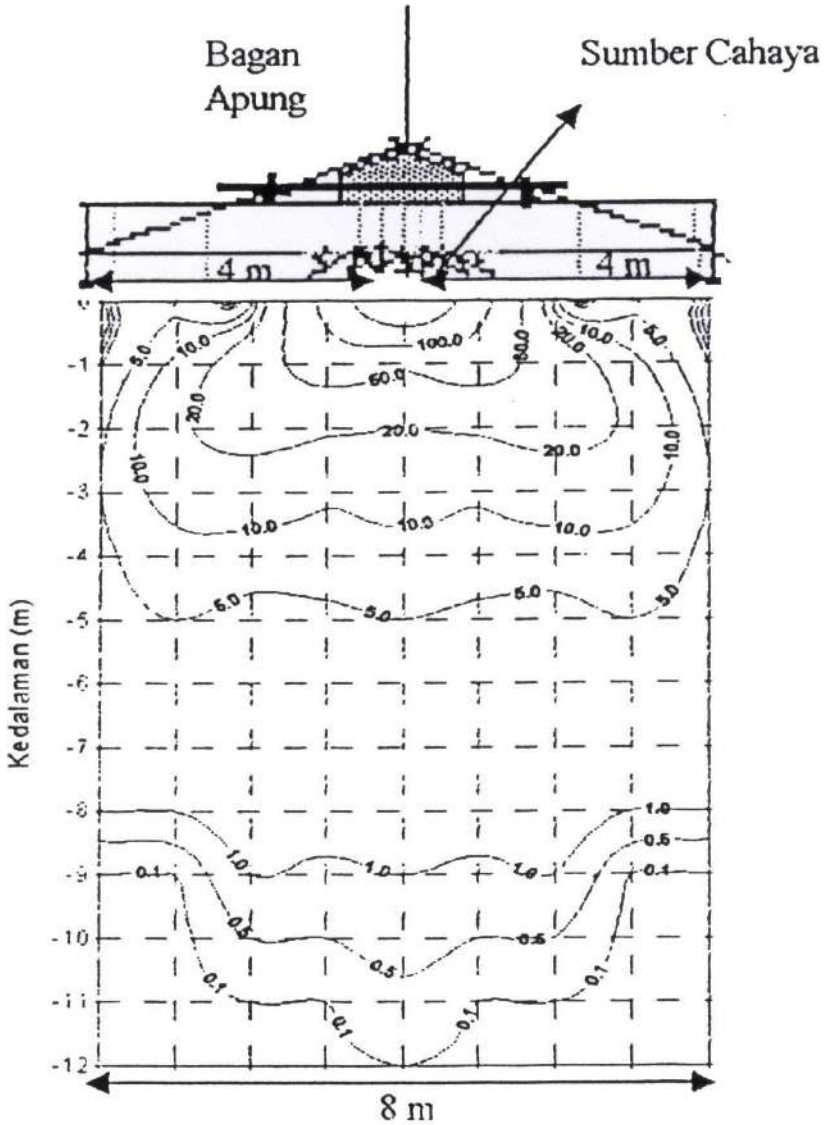
$E_0$  = iluminasi pada permukaan air (0) meter

$e$  = bilangan  $e$  sebesar 2.718

$k$  = koefisien pemudaran

$x$  = kedalaman air





Gambar 3. Pola iluminasi cahaya pada bagan

Cahaya dengan panjang gelombang tunggal diterima oleh pengamat yang mempunyai penglihatan warna yang normal sebagai suatu warna dari warna-warna spektral. Warna ini menjangkau dari ungu sampai biru untuk cahaya dengan panjang gelombang 420 nm, hijau dengan panjang gelombang 520 nm dan merah untuk panjang gelombang 700 nm. Namun pada kenyataannya kebanyakan cahaya yang kita lihat seperti cahaya yang terpantulkan dari buku biru terdiri dari satu panjang gelombang. Analisis spektral cahaya seperti itu pada dasarnya menunjukkan bahwa cahaya itu mengandung semua panjang gelombang, meskipun mungkin akan terdapat intensitas cahaya yang lebih besar pada ujung spektrum yang lebih pendek (biru) dibandingkan pada ujung spektrum yang lebih panjang (merah)(Cromer, 1994).

Cahaya matahari yang tipis adalah cahaya yang dapat terurai menjadi komposisi warna. Peristiwa penguraian cahaya putih ini disebut **dispersi**, sedangkan komposisi warna yang terjadi disebut **spektrum**. Komposisi warna tersebut adalah merah, oranye, kuning, hijau, biru dan ungu.

Cahaya yang umum masuk ke dalam perairan adalah berkas cahaya putih. Selanjutnya cahaya yang mengalami dispersi membentuk spektrum. Pada air yang dangkal ditemukan adanya variasi warna yang dapat dibedakan menurut panjang gelombangnya, sebaliknya pada kedalaman 100 m atau lebih hanya sebagian yang dapat ditransmisikan ke dalam laut yaitu hanya panjang gelombang yang mendekati 470 nm (Shaw dan Stowe, 1982).

Cahaya yang umum masuk ke dalam perairan adalah berkas cahaya putih. Selanjutnya, cahaya putih mengalami dispersi membentuk spektrum. Pada perairan dangkal, variasi warna dapat dibedakan menurut panjang gelombangnya (Shaw dan Stowe 1982).

Cahaya matahari yang ditransmisikan air laut adalah gelombang cahaya tampak. Sebanyak 60% energi cahaya yang masuk di serap pada kedalaman 1 meter, kira-kira 80% hilang setelah masuk kedalaman 10 m, hanya 1% yang mampu menembus air laut yang jernih pada kedalaman 140 m (500 kaki) dan tak ada penetrasi



cahaya matahari pada kedalaman 1000 m (3300 kaki) ( Gross 1990 ; Duxbury dan Duxbury 1993).

Tingkah laku cahaya tampak di air berbeda dengan di udara. Hal itu terjadi karena penyerapan pada jarak yang pendek oleh laut dibanding dengan atmosfer. Sebaliknya, pada air yang mengalami pengadukan seperti pada daerah pesisir pantai maka semua spektrum gelombang cahaya mengalami pemudaran yang lebih besar dibandingkan dengan air laut yang jernih di laut terbuka. Tidak semua spektrum gelombang cahaya ditransmisikan secara bersama. Spektrum gelombang warna merah yang merupakan gelombang terpanjang yang sangat cepat diserap. Sebaliknya gelombang warna biru yang merupakan gelombang terpendek ditransmisikan lebih jauh penetrasinya ke dalam air laut (Duxbury dan Duxbury 1993).

Ketika gelombang warna violet sampai merah dengan panjang gelombang 0,4-0,8  $\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ) penetrasi ke dalam laut maka beberapa spektrum gelombang dihamburkan, tetapi kebanyakan diserap dan menyebabkan temperatur air laut naik. Hal inilah sumber utama suplai panas yang mengalir ke laut terbuka. Menurut Pickard dan Emery (1990) saat pemudaran energi secara vertikal sangat cepat melalui proses radiasi, cahaya masuk ke laut berbeda untuk setiap panjang gelombang. Pemudaran energi cahaya dirumuskan dengan hukum eksponensial :

$$I(z) = I_0 \exp (-kz) \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$I(z)$  = intensitas cahaya pada kedalaman  $z$  (kandela)

$I_0$  = intensitas radiasi yang masuk ke permukaan air

$k$  = koefisien pemudaran vertikal di dalam air

$z$  = kedalaman air (m)

Berkaitan dengan pemudaran cahaya yang dirumuskan secara eksponensial, ketika cahaya masuk kedalam air pada kedalaman tertentu dan diterima oleh mata ikan pada intensitas tertentu disimbolkan  $I$  (kandela) maka flux cahaya dalam mata ikan menurut Fernald (1990) adalah :

$$F = \frac{(I(z)Pa)}{D} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- F = flux cahaya pada mata ikan
- I(z) = intensitas cahaya pada kedalaman z
- Pa = pupillar area
- D = jarak dari sumber cahaya ke pupil mata ikan

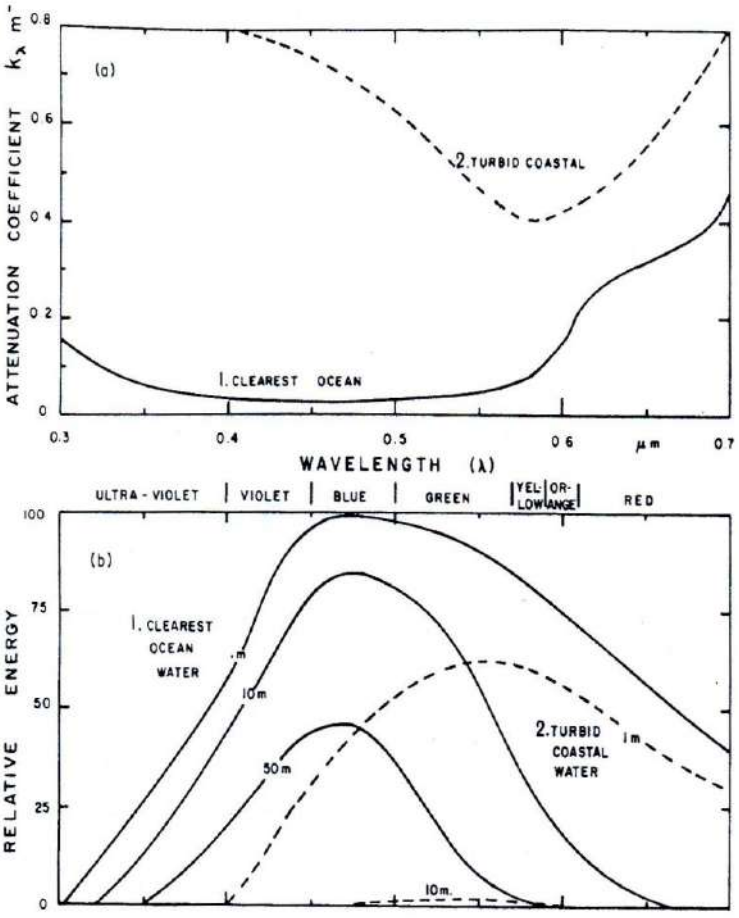
Persamaan (1) dan (2) dihubungkan maka flux cahaya yang diterima mata ikan dirumuskan :

$$F = \frac{(I_0 e^{-kz} Pa)}{D^2} \dots\dots\dots(3)$$

Berdasarkan formula di atas dapat dikatakan intensitas cahaya pada kedalaman tertentu berpengaruh terhadap penglihatan ikan. Kuat lemahnya intensitas cahaya dipengaruhi oleh koefisien pemudaran (k), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 (a) dan 2 (b). Gambar 2 (a) menerangkan bahwa pada perairan keruh (*turbid coastal*) yang diwakili garis putus-putus, koefisien pemudaran (k) lebih tinggi (0,8) dibandingkan dengan laut terbuka yang jernih yang diwakili garis penuh dengan nilai koefisien pemudaran (k) 0,2. Kondisi yang jernih merupakan faktor lingkungan yang mempengaruhi adaptasi ekologi mata ikan. Hal itu tercermin pada susunan sel kerucut yang dominan adalah sel kerucut ganda karena lebih sensitif dan adaptasinya lebih baik terhadap cahaya dibandingkan dengan sel kerucut tunggal (Tamura 1957).

Sebaliknya, pada perairan keruh intensitas cahaya melemah maka penglihatan ikan menjadi kurang sensitif terhadap cahaya terang. Cahaya yang rendah intensitasnya berpengaruh terhadap penglihatan ikan, seperti yang terlihat pada Gambar 4 (b). Gambar

tersebut menunjukkan bahwa pada laut terbuka energi relatif cahaya matahari penetrasinya lebih jauh yakni mencapai kedalaman 50 m sedangkan pada daerah yang turbiditasnya lebih tinggi (*turbid coastal water*) energi relatif cahaya matahari penetrasinya lemah dan mencapai kedalaman 1-10 m. Ikan-ikan yang hidup pada kondisi perairan yang keruh (*turbid coastal water*) dengan koefisien pemudaran ( $k$ ) tinggi dan energi relatif dengan penetrasi yang lemah mempunyai kemiripan dengan ikan-ikan demersal yang hidup di dasar perairan.



Gambar 4. (a) Koefisien pemudaran cahaya  $k_1$  sebagai fungsi panjang gelombang  $\lambda$  bagi laut terbuka yang jernih (garis penuh) dan perairan pesisir yang keruh (garis putus-putus). (b) Energi relatif pada kedalaman 1, 10 dan 50 m di laut terbuka yang jernih dan pada kedalaman 1 dan 10 m untuk perairan pesisir yang keruh (Pickard dan Emery 1990).

Ikan-ikan demersal yang hidup di dasar perairan memiliki ketajaman penglihatan yang relatif lebih rendah sebagai bentuk adaptasi ekologi terhadap cahaya yang minim. Adaptasi ekologi pada mata tercermin pada susunan sel kerucut tunggal yang dominan ditemukan pada retinanya (Fitri, 2002).

Penyebaran radiasi cahaya yang berasal dari udara masuk kepermukaan air sangat kompleks dan sangat dipengaruhi oleh sudut datang cahaya matahari, kondisi awan dan kekeruhan pada permukaan air. Selanjutnya dijelaskan bahwa pada kedalaman kira-kira 200 m gelombang warna biru masih ditransmisikan dan komposisi warna nyaris konstan sesuai dengan sudut datang cahaya. Intensitas cahaya menurun setiap peningkatan 75 m kedalaman (Edenton **dalam** Herring *et al.*, (1990)

Bentuk distribusi intensitas cahaya lampu di bawah air tergantung tipe lampu yang digunakan sebagai sumber cahaya. Pengamatan distribusi intensitas cahaya di bawah air menunjukkan bahwa pada garis luar iso-lux dari 4 lampu kerosene (lampu gas) bentuknya oval, intensitas maksimum (250 lux) di permukaan air dan 0.1 lux pada kedalaman 14 meter (Baskoro, *et al.*, 1998).

Selanjutnya Choi *et al.*, (1997) melaporkan bahwa lampu listrik jenis *metal halide* mempunyai bentuk sebaran intensitas cahaya seperti angka delapan yang diputar  $90^\circ$  ke kiri dan ke kanan. Pada lampu petromaks sesuai penelitian Tupamahu (2003) pola penyebaran cahaya pada permukaan 200 lux dan berkurang dengan bertambahnya kedalaman sampai 0.1 lux pada kedalaman 12 meter. Jarak 1 m dari sumber cahaya intensitas cahaya 120 lux kemudian



berkurang sampai 0.1 lux pada kedalaman 11 meter. Jarak 2 meter, intensitas cahaya antara 20-10 lux dan menyebar dari permukaan sampai kedalaman 2.5 meter kemudian berkurang sampai 0.1 lux pada kedalaman 9 meter. Demikian seterusnya sampai pada jarak 4 m dari sumber cahaya.

Tabel 2. Warna dan panjang gelombang cahaya ( Ben Yami, 1976)

No	WARNA CAHAYA	PANJANG GELOMBANG (A <sup>o</sup> )
1	Ultraviolet	Lebih pendek dari 3900
2	Violet	3900 – 4550
3	Biru	4550 –4920
4	Hijau	4920 – 5770
5	Kuning	5770 – 5970
6	Oranye	5970 – 6220
7	Merah	6220 – 7700
8	Inframerah	Lebih panjang dari 7700

### 3.2. Struktur dan Fungsi Mata Ikan

#### 3.2.1. Lensa dan Kornea

Komponen mata ikan tidak berbeda dengan vertebrata lainnya, meskipun sejumlah spesies bervariasi ukuran, struktur dan posisi. Secara umum struktur mata ikan dibandingkan dengan ikan karang pada khususnya relatif sama, walaupun ada ditemukan variasi. Variasi ini sebagai akibat adaptasi ikan terhadap lingkungan khususnya di bawah air, dimana sensitivitas dan ketajaman tergantung pada keadaan cahaya yang dirasakan oleh retinanya (Fernald, 1992).

Struktur mata ikan pada umumnya terdiri dari segmen bagian depan dan dinding bola mata.. Pada kebanyakan ikan, mata merupakan reseptor yang sempurna mirip dengan mata manusia. Mata memiliki kemampuan pengumpulan cahaya dan membentuk fokus bayangan untuk dianalisis oleh retina. Lensa mata ikan mengikuti aturan dasar fisik pembengkokan cahaya sampai benda yang diketahuinya memberi strategi untuk selanjutnya dianalisis. Karena itulah, sensitivitas dan ketajaman mata ikan tergantung pada

terangnya bayangan mencapai retina (Fujaya, 2002).

Selanjutnya Fujaya (2002) menambahkan bahwa hewan yang hidup di bawah permukaan air seperti ikan karang berbeda dengan hewan yang hidup di darat dalam satu hal penting yang mendasar, yakni permukaan udara kornea. Permukaan udara kornea pada vertebrata yang hidup didarat memberikan kekuatan optikal, yakni kekuatan pembiasan cahaya. Sebaliknya, mata yang berada di bawah permukaan air memiliki kornea yang tidak bermanfaat bagi optik karena petunjuk pembiasan sangat identik dengan air.

Oleh karena itu, untuk memfokuskan cahaya, kekuatan pembiasan kornea dinetralkan dan lensa harus dapat memberikan seluruh kekuatannya. Keterpaksaan ini menyebabkan lensa mata ikan berevolusi menjadi seperti bola dan memiliki kekuatan pembiasan yang sangat tinggi. Selain bentuk lensa yang bulat, pemfokusan cahaya juga dilakukan melalui pergerakan lensa. Pergerakan lensa mata ikan mirip dengan pergerakan lensa kamera.

Lensa mata ikan bergerak ke depan menjauhi retina untuk pandangan tertutup atau dekat, sebaliknya bergerak mendekati retina secara perlahan-lahan oleh bantuan otot retraktor untuk pandangan jauh. Bola mata itu sendiri terdiri atas bahan yang liat dan elastis, disebut sclera atau selaput putih mata.

Walaupun kornea tidak berpengaruh pada kekuatan optikal pada mata hewan air, namun distribusi pigmen yang terdapat pada kornea berfungsi menyaring cahaya pada siang hari. Pada ikan yang hidup di perairan dangkal seperti ikan karang mempunyai kornea berwarna kuning dan terkadang lensa berwarna kuning. Saringan optikal kuning ini setidaknya berfungsi mengurangi jumlah cahaya gelombang pendek yang tersebar sehingga mengurangi kandungan informasi bayangan (Fujaya, 2002).

### 3.2.2. Iris

Iris juga berperan dalam memperlebar sudut lensa yakni dengan meluruskan secara perlahan-lahan bentuk bola mata. Iris juga





berperan dalam memperlebar sudut lensa yakni dengan meluruskan secara perlahan-lahan bentuk bola mata. Iris dapat pula digunakan untuk mendeteksi penyakit, degenerasi tubuh dan kondisi kesehatan ikan. Biasanya, bila ingin melakukan general check-up itu kita harus melakukan sederet pemeriksaan. Mulai dari periksa darah, air seni, feses, rontgen, dan sebagainya. Tes ini memakan waktu cukup lama, dan harus membayar biaya yang mahal pula!. Ada satu cara 'general check-up' yang bisa dilakukan secara kilat, tak ada rasa sakit, mudah, dan tidak terlampau mahal. Namanya iridologi.

Iridologi sesungguhnya adalah ilmu yang mempelajari tanda-tanda yang terdapat pada struktur jaringan iris mata. Iris mata adalah area berwarna di bola mata yang mengelilingi pupil. Dari warna, tekstur, dan lokasi bercak-bercak pigmen di iris mata inilah kondisi kesehatan seseorang dapat dianalisis. Karena, iris mata merupakan perluasan otak. Organ-organ di dalam tubuh mengirimkan getaran-getaran ke seluruh sel tubuh dan direkam di otak. Rekaman ini kemudian dapat dilihat melalui iris mata yang berhubungan langsung dengan otak. (Lubis, P. Cek Kesehatan Lewat Iris, Harian Kompas 9 April, 2009)

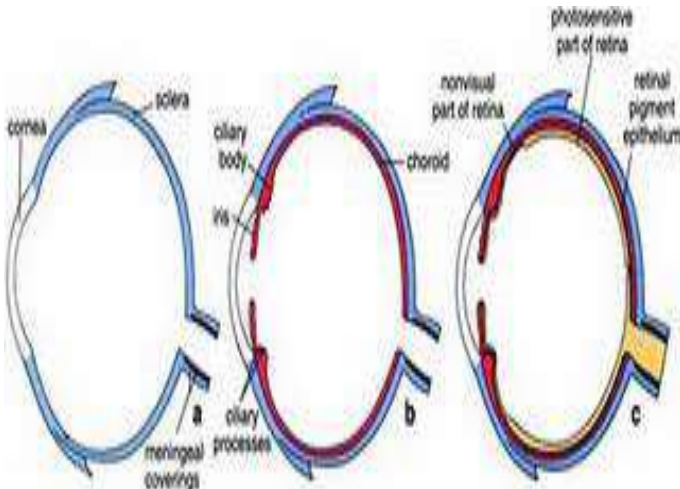
### 3.2.3. Retina

Salah satu bagian yang terdapat pada dinding belakang bola mata adalah retina yang merupakan komponen yang terpenting dari mata dalam hubungannya dengan cahaya. Retina terdiri dari 10 lapisan dari yang terluar sampai yang terdalam, sebagai berikut epitelium berpigmen, lapisan fotoreseptor, membran pembatas luar, lapisan inti luar, lapisan inti dalam, lapisan plexiform dalam, lapisan sel ganglion, lapisan saraf fiber, dan lapisan membran pembatas dalam (Takasima dan Hibiya, 1995; Fernald, 1992). Selanjutnya, Fujaya (2002) menyatakan retina pada ikan pada dasarnya tidak berbeda dengan retina vertebrata lainnya. Bayangan yang dibentuk lensa jatuh pada retina. Retina memiliki struktur berlapis-lapis dan transparan, yakni terdiri dari lapisan epitelium berpigmen, fotoreseptor, sel bipolar, sel *interplexiform*, sel horizontal, sel amakrin

dan sel ganglion.

Adanya variasi struktur retina mata ikan disebabkan oleh aneka ragam habitat, tekanan selektif intensitas cahaya dan spektral dalam lingkungan. Perbedaan tekanan selektif tersebut menyebabkan : 1) perbedaan ketebalan retina, 2) perbedaan sub jenis sel retina, khususnya fotoreseptor, dan 3) spesialisasi wilayah sel *cone* (sel kerucut) dan sel *rod* (sel batang). Sel kerucut berfungsi sebagai penglihatan pada cahaya terang (*visual photopic*) dan sel batang berfungsi untuk penglihatan saat gelap (*visual scotopic*). Sel kerucut disamping untuk penglihatan terang juga berfungsi untuk membedakan panjang gelombang tertentu (Takasima dan Hibiya, 1995 dan Fernald, 1992).

Pada saat terang sel kerucut bergerak menjauhi membran pembatas terluar, sedangkan sel batang diselimuti epitelium berpigmen. Sebaliknya pada saat cahaya lemah atau ikan berpindah ke tempat gelap maka sel batang mendekati membran pembatas terluar dan segmen terluar dari sel kerucut dilindungi oleh epitelium berpigmen (Fujaya, 2002).



Gambar 5. Posisi Retina ([http://anatomy.iupui.edu/courses/histo\\_D502/D502f04/lecture.f04/Eyef04/](http://anatomy.iupui.edu/courses/histo_D502/D502f04/lecture.f04/Eyef04/))

Sel kerucut pada ikan karang, sebagaimana sel kerucut ikan lainnya, berpola seperti mosaik. Susunan mosaik tersebut berbentuk garis atau pola bujur sangkar tunggal maupun ganda. kuat (Munz dan McFarland, 1973 **dalam** Sale (ed), 1991). Pada kebanyakan jenis ikan sel kerucut ganda identik dengan sel kerucut kembar, sedangkan sel kerucut tunggal hanya satu tipe. Sel kerucut ganda biasanya mengandung pigmen visual yang sama tetapi bisa juga mengandung pigmen yang berbeda (Loew dan Lyhtgoe, 1978; Levine dan Mc Nichol, 1979 **dalam** Sale (ed), 1991).

Sel epithelium pigmen merupakan suatu lapisan di bagian paling luar dari retina, umumnya berbentuk prisma hexagonal, dan di dalam sel-sel ini terdapat butiran pigmen (*pigment granules*) yang membentuk sel batang dan secara optik mengisolasi sel kerucut dan melindungi sel batang selama *bright illumination* (Takasima dan Hibiya, 1995; Fernald, 1992). Kemampuan retina mata menerima dan menyerap cahaya disebabkan oleh adanya pigmen visual yaitu bahan yang sensitif terhadap cahaya yang tersusun atas kromofor vitamin A atau ligan (senyawa kompleks) sebuah protein atau opsin. Perbedaan visual pigmen merupakan karakteristik dari kemampuan untuk menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang cahaya maksimal (*peak sensitivities*). Walaupun dasar struktur molekul pigmen visual sama, namun kemampuan menyerap panjang gelombang maksimal bervariasi mulai dari ultraviolet (320 nm) sampai berkisar 640 nm. Umumnya variasi tersebut disebabkan oleh variasi untaian asam amino pada bagian opsin dari pigmen visual (Sillman *et al.*, 1996).

Sel kerucut dan sel batang menerima rangsang energi cahaya karena memiliki struktur fungsional yang terdiri atas : segmen luar dan segmen dalam . Segmen luar mengandung zat fotokimia berupa rhodopsin, segmen dalam mengandung mitokondria yang banyak untuk menyaring energi yang selanjutnya digunakan untuk fotoreseptor. Selain itu, terdapat korpus sinaptik yang berhubungan dengan sel neuron berikutnya. Dengan demikian, fotoreseptor menyerap cahaya dan mengubah energi cahaya dalam menjadi

bentuk energi listrik yang dapat dimengerti oleh sistem saraf.

Pada ikan karang yang hanya memiliki pigmen visual tunggal maka ikan tersebut hanya mampu melihat cahaya putih (*monochromatic vision*). Sebaliknya pada ikan karang yang memiliki pigmen visual lebih dari satu jenis maka ada kemungkinan mampu untuk membedakan warna. Umumnya pigmen visual terdapat pada sel kerucut karena kemampuan membedakan warna secara eksklusif berhubungan kondisi terang (*photopic*).

Bagi ikan karang cahaya sangat berpengaruh terhadap pola aktifitas dan sebaran densitasnya dimana antara siang dan malam berbeda densitasnya. Hal ini sesuai pendapat Sale (ed), (1992) yang menyatakan bahwa pola aktivitas ikan-ikan cenderung bersifat *diurnal*, *nocturnal* dan *crepuscular*. *Diurnal* adalah ikan-ikan karang yang aktif pada waktu siang hari. *Nocturnal* adalah ikan-ikan karang yang aktif pada waktu malam hari dan *crepuscular* adalah ikan-ikan karang yang aktif pada waktu matahari akan terbenam (senja).

Semua Ikan-ikan dari famili Chaetodontidae merupakan ikan karang yang bersifat diurnal. Ikan ini memiliki warna tubuh yang cemerlang dengan bentuk tubuh pipih dengan sirip yang melebar. Bentuk mulut lancip dan berfungsi untuk memakan karang. Ciri khas lain pada ikan ini adalah ditemukannya bintik hitam seperti mata yang berguna untuk menakuti musuh dan predator agar tetap eksis mempertahankan kelangsungan hidupnya .

Ikan kepe-kepe menurut penelitian Indra *et al.*, (2001) merupakan ikan karang yang bersifat fototaksis positif (menyukai dan bergerak ke arah cahaya). Respon dan adaptasinya terhadap cahaya menunjukkan ketertarikan pada cahaya dengan intensitas yang tinggi, disarankan sekitar 350 lux sedangkan untuk menggiringnya agar terkonsentrasi di sekitar cahaya perlu intensitas yang rendah yakni sekitar 38 lux. Pada intensitas cahaya kurang dari 350 lux adaptasi retina mata ikan ini tidak maksimal karena ikan ini bersifat diurnal.

Menurut Cromer (1994) apa yang dilihat hewan tergantung pada sifat-sifat fisik khusus dari cahaya yang sensitif untuk matanya.



Pada serangga hanya dapat mendeteksi warna dan polarisasi.

Sebaliknya, ikan memiliki mata yang sangat mirip mata manusia dan mempunyai kemampuan untuk membedakan warna. Hal ini sesuai dengan pendapat Fujaya (2002) yang menyatakan pada ikan laut absorpsi pigmen utama adalah pada panjang gelombang cahaya biru, sedangkan pada ikan air tawar adalah kuning, sebaliknya ikan Hiu tidak memiliki penglihatan warna. Warna dibedakan menurut tingkat kecerahannya. Ikan karang memiliki kemampuan menyerap warna biru, biru-hijau dengan panjang gelombang berkisar 440-500 nm (Sale, (ed), 1991).

Selanjutnya, Partridge **dalam** Herring *et al.*, (1990) menjelaskan bahwa kemampuan penglihatan untuk membedakan warna memerlukan adanya fotoreseptor yang berbeda jenis dan lebih dari satu tipe sel kerucut sebagai komponen fotoreseptor. Ikan-ikan yang dapat melihat warna umumnya memiliki dua tipe sel kerucut atau tiga tipe pada retina matanya. Bahkan ada yang memiliki jumlah sel kerucut yang lebih banyak yakni pada *Spinachia spinachia* dan *Rutilus rutilus*, *Triblodon hakonensis*, *Blennius pholis*, memiliki 4 tipe sel cone dan *Poecilia reticulata* (guppies) memiliki 6 tipe sel kerucut.

Berkaitan dengan hal di atas Sale (ed), (1991) menjelaskan bahwa dengan melakukan pengukuran absorban kemampuan pigmen visual ikan, spektrum warna yang mampu dibedakan oleh ditentukan oleh pigmen ganda. Artinya, jika pigmen tunggal maka ikan hanya bisa menangkap cahaya monokromatik. Namun jika memiliki pigmen ganda dengan  $\lambda_{\max}$  yang berbeda maka kemungkinan besar ikan tersebut akan mampu membedakan warna.

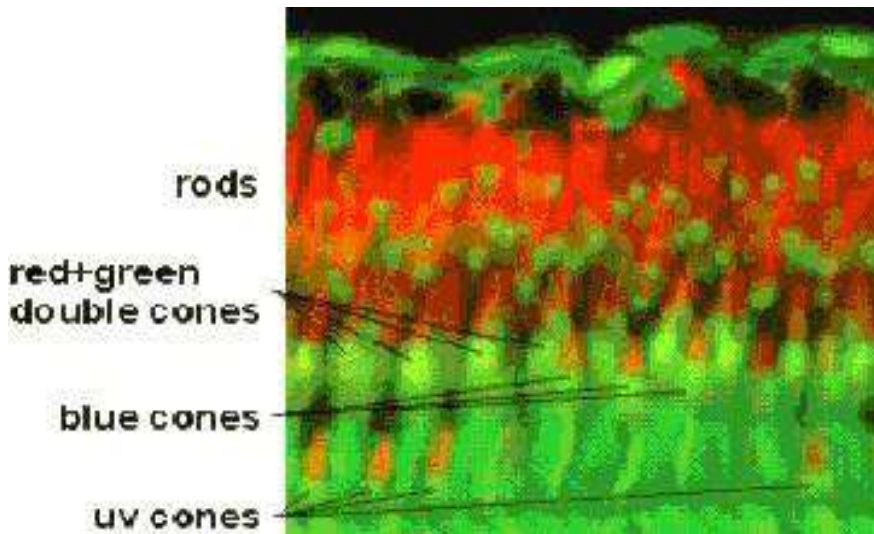
Sel epitelium pigmen merupakan suatu lapisan di bagian paling luar dari retina, umumnya berbentuk prisma heksagonal. Di dalam sel-sel ini, butiran pigmen (*pigment granules*) ditemukan yang membentuk sel batang dan secara optik mengisolasi sel kerucut dan melindungi sel batang selama *bright illumination* (Takasima dan Hibiya, 1995; Fernald, 1992).

Perbedaan pigmen merupakan karakteristik dari kemampuan untuk menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang cahaya maksimal (*peak sensitivities*). Walaupun dasar struktur molekul pigmen visual sama, namun kemampuan menyerap panjang gelombang maksimal bervariasi mulai dari ultraviolet (320 nm) sampai berkisar 640 nm. Umumnya variasi tersebut disebabkan oleh variasi untaian asam amino pada bagian opsin dari pigmen visual (Sillman *et al.*, 1996).

Sel kerucut dan sel batang menerima rangsangan energi cahaya karena memiliki struktur fungsional yang terdiri atas : segmen luar dan segmen dalam. Segmen luar mengandung zat fotokimia berupa rhodopsin, segmen dalam mengandung mitokondria yang banyak untuk menyaring energi yang selanjutnya digunakan untuk fotoreseptor. Selain itu, *korpus sinaptik* ditemukan yang berhubungan dengan sel neuron berikutnya. Dengan demikian, fotoreseptor menyerap cahaya dan mengubah energi cahaya dalam menjadi bentuk energi listrik yang dapat dimengerti oleh sistem saraf.

Perbedaan jenis ikan yang menyebabkan variasi yang besar pada matanya disebabkan oleh adanya jumlah jenis sel kon dan jumlah jenis pigment penglihatan yang terdapat pada matanya. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang merupakan tempat dimana ikan itu hidup. Sebagai contoh, ikan yang hidup pada daerah dangkal yang bersifat diurnal berbeda dengan ikan yang hidup di air tawar atau yang hidup pada perairan dalam yang bersifat diurnal (Partridge **dalam** Herring *et al.*, 1990).





Gambar 6 . Tipe sel cone pada ikan karang Zebrafish yang berbeda ukuran, bentuk dan posisinya (*confocal laser scanning micrograph*) ([http://www.vision / lund university](http://www.vision.lund.university),2001)

Pada ikan karang yang hanya memiliki pigmen visual tunggal maka ikan tersebut hanya mampu melihat cahaya putih (*monochromatic vision*). Sebaliknya pada ikan karang yang memiliki pigmen visual lebih dari satu jenis maka ada kemungkinan mampu untuk membedakan warna. Umumnya pigmen visual terdapat pada sel kerucut karena kemampuan membedakan warna secara eksklusif berhubungan kondisi terang (*photopic*).

Data pada table diatas menunjukkan bahwa absorpsi cahaya dari pigmen visual yang terdapat pada sel cone untuk ikan karang berkisar 440-500 nm (Mc Farland dan Munz, 1973 **dalam** Sale (ed), 1991). Selanjutnya dari penelitian Mc Farland dan Munz, (1975) **dalam** Sale (ed), (1991) menunjukkan bahwa pigmen visual pada sel



batang dari beberapa jenis ikan karang Pasifik memiliki kemampuan menyerap gelombang warna berkisar 480-502 nm ( rata-rata = 493 nm + 4.5 sd). Kisaran tersebut berbeda dan lebih sempit kisarannya dibandingkan dengan laporan sebelumnya yang menyebutkan bahwa kisaran spektrum gelombang untuk pigmen sel batang untuk ikan air tawar dan ikan laut berkisar 467-551 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian Lythgoe (1966) yang mendapatkan nilai yang hampir sama (490-503 nm) pada tujuh sample ikan dari laut Mediterania.

Berdasarkan penelitian di atas, kita dapat simpulkan bahwa adaptasi absorpsi gelombang maksimal dari pigmen visual ikan karang adalah berkisar 493 nm. Hasil tersebut berasal dari tekanan selektif yang kuat dari kondisi perairan (Munz dan McFarland, 1975 **dalam** Sale (ed), 1991).





## IV. WARNA DAN MATA IKAN

### 4.1. Warna dan Mata Ikan

Menurut Sale (1991) umumnya tingkah laku ikan karang tergantung pada penglihatannya (*vision*). Karena itulah, ikan karang memiliki pola aktivitas diurnal, *nocturnal* atau *crepuscular* (aktif saat matahari terbenam). Ikan diurnal banyak ditemukan pada lapisan pelagis dimana lapisan ini menerima sinar matahari lebih banyak.

Sebaliknya, ikan yang aktif malam hari atau nokturnal alat indera utamanya adalah *linea lateralis*, penciuman, dan indera peraba. (Gunarso, 1985). Ikan diurnal ini mempunyai ukuran tubuh yang lebih kecil dibandingkan dengan ikan nokturnal. Ikan diurnal yang terdapat pada terumbu karang berasal dari famili Holocentridae, Apogonidae, Kuhliidae, Lutjanidae, Pomacentridae, Chaetodontidae, Achanturidae, Labridae, Balistidae, Serranidae, Chirritidae, Tetraodontidae, Blennidae dan Gobiidae (Longhurst dan Pauly, 1987; Allen dan Steene, 1990).

Ikan-ikan nokturnal memiliki warna yang lebih terang dan hidup soliter. Pada siang hari ikan nokturnal ini menetap di gua dan celah-celah karang. Kelompok ikan nokturnal terdiri atas *squirrel fish*, *cardinal fishes*, Apogonidae, Haemulidae, Muraenidae (*eels*) Scorpionidae, beberapa jenis dari famili Serranidae dan Labridae (Allen dan Steene, 1990).

Masuknya ikan karang ke dalam perangkap atau bubu karena kemampuan penglihatannya (*sense of vision*) dan penciuman (*sense of smell*) (Mindiptiyanto dan Rahardjo, 1988). Pada ikan karang kemampuan indera penglihatannya sangat baik. Ikan karang mampu melihat warna karena adanya sel-sel *cone* dan pigmen visual. Warna yang mampu dilihat oleh ikan karang secara umum adalah warna biru dan cenderung sensitif terhadap warna hijau. Ikan karang diurnal ketajaman penglihatan (*visual acuity*) lebih baik dari pada ikan karang nokturnal ataupun *crepuscular* karena sel-sel *cone* lebih banyak. Pada ikan nokturnal fotoreseptornya mengalami modifikasi

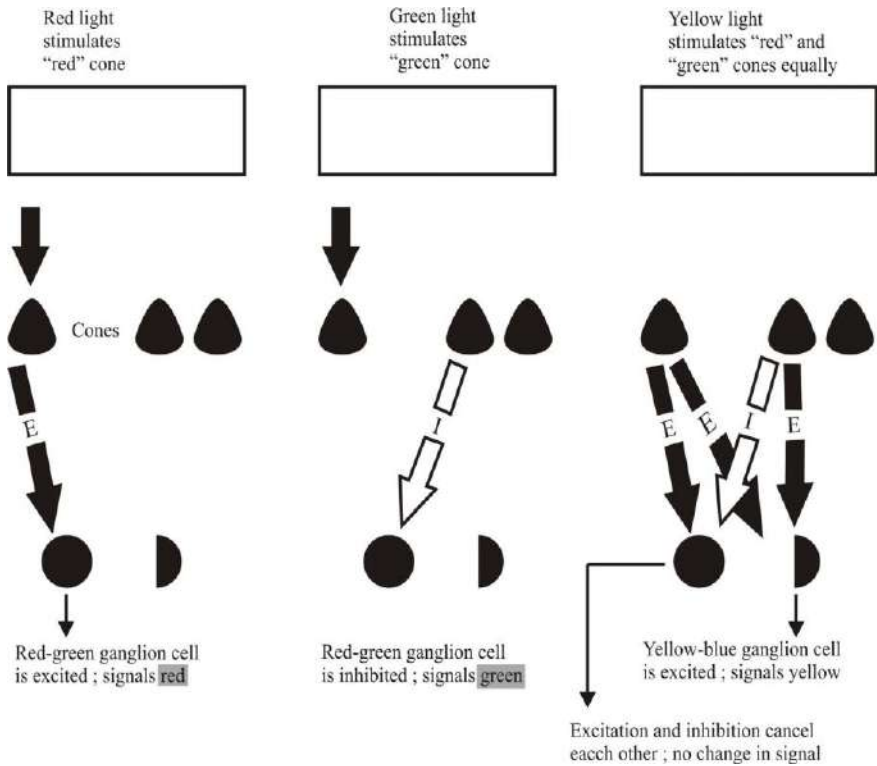
dimana kepadatan sel-sel batangnya-nya  $10^6 - 10^7$  per  $\text{mm}^2$  yang lebih banyak dari pada ikan karang diurnal. Hal yang sama kita temukan pada ketebalan lapisan fotoreseptor pada ikan nokturnal juga lebih tebal dari pada ikan karang diurnal (Sale (ed), 1991).

#### 4.2. Mekanisme Penentuan Warna

Menurut Carlson (1994) ketika spektrum cahaya masuk ke mata di terima lensa dan diteruskan ke retina maka spectrum cahaya merah tersebut merangsang sel cone merah untuk aktif dan memberikan signal merah karena adanya eksitasi dari sel-sel ganglion merah hijau (*red green ganglion cell*). Ketika spektrum cahaya hijau sampai di retina maka cahaya hijau merangsang sel con hijau dengan menghambat sel-sel ganglion merah hijau (*red green ganglion cell*). Ketika spectrum cahaya warna kuning sampai di retina, maka cahaya kuning merangsang sel-sel cone merah dan hijau secara bersamaan yang menyebabkan eksitasi ganglion merah hijau (*red green ganglion cell*) tanpa mempengaruhi sel cone biru. Demikian pula untuk spektrum cahaya biru masuk ke retina, sel cone merah dan hijau dirangsang menyebabkan eksitasi sel ganglion kuning biru (*yellow-blue ganglion*) memberikan signal biru.

Beberapa hasil penelitian mengenai respon warna cahaya dan pengaruhnya terhadap tingkah laku ikan menunjukkan adanya perbedaan. Seperti penelitian Kuroki yang menyimpulkan bahwa warna efektif untuk mengumpulkan ikan adalah warna biru dan oranye, sedangkan Kawamoto mendapatkan bahwa warna efektif untuk mengumpulkan ikan biru dan kuning (Gunarso, 1985). Penelitian mutakhir Mubarak (2003) mendapatkan bahwa cahaya biru mampu menarik juvenil ikan kerapu tikus paling dekat dengan sumber cahaya dan memiliki nilai iluminasi paling besar dibandingkan cahaya putih dan merah.





Gambar 7. Mekanisme penentuan warna pada retina (Carlson, 1994)

Menurut Cromer (1994) apa yang dilihat hewan tergantung pada sifat-sifat fisik khusus dari cahaya yang sensitif untuk matanya. Pada serangga hanya dapat mendeteksi warna dan polarisasi. Sedangkan pada ikan yang matanya sangat mirip mata manusia dan mempunyai kemampuan untuk membedakan warna.



Gambar 8. Mata ikan aneh (<http://aneh-tapi-nyata.blogspot.com/2009/03/>)

Beberapa hasil penelitian mengenai respon warna cahaya dan pengaruhnya terhadap tingkah laku ikan menunjukkan adanya perbedaan. Seperti penelitian Kuroki yang menyimpulkan bahwa warna efektif untuk mengumpulkan ikan adalah warna biru dan oranye, sedangkan Kawamoto mendapatkan bahwa warna efektif untuk mengumpulkan ikan biru dan kuning (Gunarso, 1985). Penelitian mutakhir Mubarak (2003) mendapatkan bahwa cahaya biru mampu menarik juvenil ikan kerapu tikus paling dekat dengan sumber cahaya dan memiliki nilai iluminasi paling besar dibandingkan cahaya putih dan merah.

Pendekatan metode yang mampu memberikan bukti yang konkrit bahwa ikan mampu melihat warna dapat dilakukan dengan beberapa cara yakni : 1) metode tingkah laku, 2) mikrotehnik 3) elektrofisiologi (microspektrofotometer, spektrofotometer dan electroretinogram). Diantara ketiga metode tersebut metode yang paling akurat adalah elektrofisiologi dengan menggunakan alat mikrospektrofotometer. Dengan alat ini mampu mendapatkan hasil yang lebih baik dan tajam dibandingkan dengan menggunakan spektrofotometer konvensional.

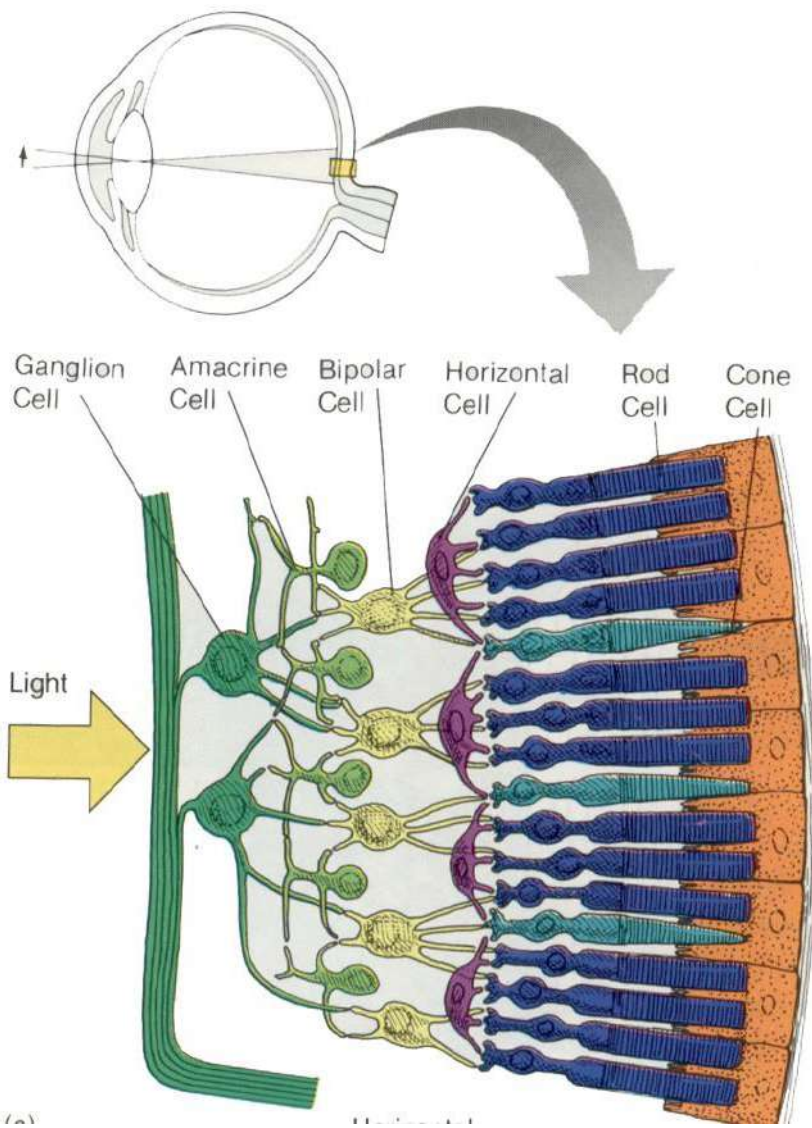


## V. FOTORESEPTOR DAN PIGMEN MATA IKAN KEPE-KEPE (*Chaetodontidae*)

### 5.1. Struktur Fotoreseptor

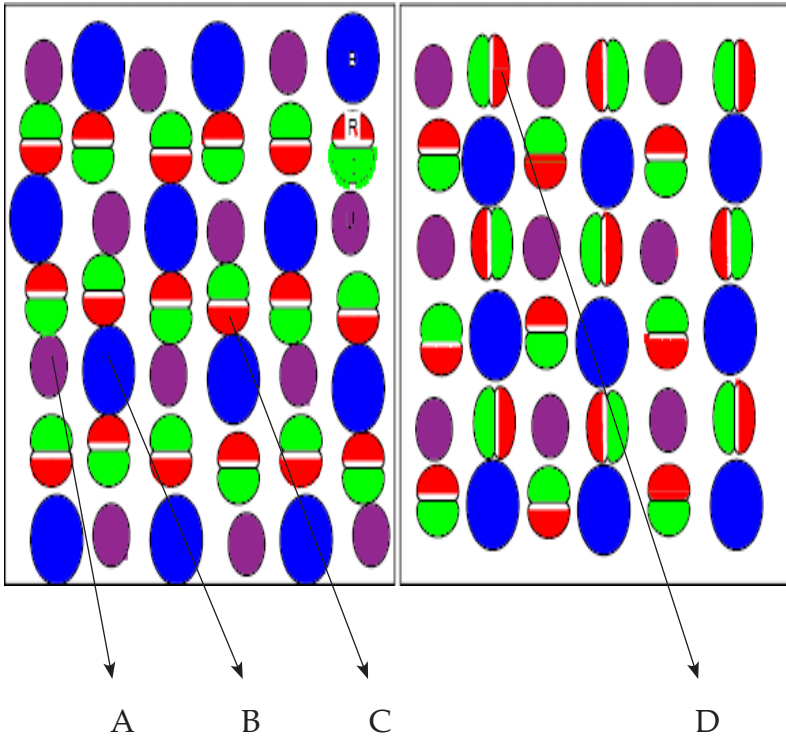
Ikan memiliki mata seperti kamera, beberapa diantaranya sangat menarik dan sangat canggih bentuknya. Mata ikan berkembang dengan sangat baik sesuai kebutuhan lingkungannya. Beberapa diantaranya memiliki kemampuan melihat ke arah permukaan air ataupun ke bagian dasar perairan. Adapula mata yang berperan sebagai pengintai makanan (*sight feeders*). Ikan-ikan tersebut memiliki kemampuan penglihatan dengan resolusi yang baik terhadap ruang dan mampu membedakan warna karena memiliki beberapa tipe sel kerucut yang merupakan fotoreseptor dan mengandung beberapa pigmen.

Fotoreseptor adalah komponen vital pada organisme baik hewan maupun tumbuhan yang memiliki fungsi yang luas. Fungsi fotoreseptor menyerap energi cahaya berupa foton (unit satuan cahaya) yang dipergunakan pada proses penglihatan hewan, fotosintesis, fototropisme dan lain sebagainya (Holmes 1991). Fotoreseptor terdapat pada retina. Retina ikan umumnya terdiri dari tiga tipe lapisan indera penglihat (*visual cell layer*) (Gambar 22) yaitu : sel kerucut tunggal (*single cone*), sel kerucut ganda (*twin cone*) dan sel batang (*rod cell*). Distribusi sel kerucut dan sel batang pada retina ikan itu erat kaitannya dengan pemanfaatan indera penglihatan di lingkungannya. Ikan yang memiliki indera penglihatan sebagai indera utama pada lingkungan yang terang maka sel kerucut yang dominan, jika sebaliknya kondisi gelap dan indera penglihatan kurang berperan maka sel batang yang dominan (Gunarso 1985).



Gambar 9. Hirarki penglihatan pada mata (Hopson dan Wessells 1990).





Gambar 10. Mosaik fotoreseptor . A) Sel kerucut tunggal (*single cone*), B) sel batang (*rod cell*), C) sel kerucut ganda (*double cone*), D) sel kerucut kembar (*twin cone*) (Harder 1975).

Fotoreseptor adalah sel-sel yang memiliki pigmen yang sensitif dalam menangkap energi cahaya (foton). Selanjutnya, energi tersebut diubah menjadi energi kimia atau energi listrik untuk berbagai proses metabolisme yang terdapat di bagian tubuh tertentu pada hewan dan tumbuhan. Hewan vertebrata termasuk ikan, retina memiliki fotoreseptor yang terdiri dari dua jenis yakni sel kerucut (*cone cell*) dan sel batang (*rod cel.*). Sel kerucut berfungsi sebagai penglihatan pada cahaya terang (*visual photopic*) dan sel batang berfungsi untuk penglihatan saat gelap (*visual scotopic*). Sel kerucut disamping untuk

penglihatan terang juga berfungsi untuk membedakan panjang gelombang tertentu (Takasima dan Hibiya 1995; Fernald 1992).

Sel kerucut pada ikan karang, sebagaimana sel kerucut ikan lainnya berpola seperti mosaik. Susunan mosaik tersebut berbentuk garis atau pola bujur sangkar tunggal maupun ganda. Pada kebanyakan jenis ikan sel kerucut ganda identik dengan sel kerucut kembar, sedangkan sel kerucut tunggal hanya satu tipe. Sel kerucut ganda biasanya mengandung pigmen visual yang sama tetapi bisa juga mengandung pigmen yang berbeda (Loew dan Lythgoe 1978; Sale 1991).

Selanjutnya, Herring *et al.* (1990) menjelaskan bahwa kemampuan atau ketajaman penglihatan untuk membedakan warna memerlukan adanya fotoreseptor yang berbeda jenis dan lebih dari satu tipe sel kerucut. Ikan-ikan yang dapat melihat warna umumnya memiliki dua tipe sel kerucut atau tiga tipe pada retina matanya.

Ketajaman penglihatan didefinisikan sebagai kemampuan untuk melihat dua titik dari satu objek pada garis, yang digambarkan dalam bentuk hubungan timbal balik dengan sudut pembeda terkecil atau *Minimum Separable Angle* (MSA) (He 1989). Pendapat ahli lainnya menyatakan bahwa ketajaman penglihatan hewan merupakan pengukuran secara detail kekuatan area pandangan. Hal tersebut ditunjukkan oleh sudut pembeda terkecil untuk membedakan dua sasaran penglihatan terdekat yang diukur melalui pengujian secara histologis. Dalam kaitan dengan hal ini sudut pembeda terkecil dapat diukur dengan memperhitungkan jarak dari sasaran penglihatan dengan metode tingkah laku (Blaxter 1980).

Sudut pembeda terkecil berperan dalam menentukan jarak pandang maksimum suatu jenis ikan. Jarak pandang maksimum merupakan kemampuan ikan melihat objek atau benda pada jarak tertentu. Kemampuan ini dalam penerapannya berguna untuk mengetahui mekanisme pelolosan ikan pada suatu alat tangkap yang sedang dioperasikan. Jarak pandang maksimum ini dipengaruhi oleh panjang tubuh. Dalam perhitungannya, jarak pandang diasumsikan keadaan perairan jernih dan intensitas cahaya matahari yang masuk



cukup kuat seperti di perairan terumbu karang yang merupakan habitat ikan karang (Zhang *et al.* 1993).

Ikan karang diurnal ketajaman penglihatan lebih baik dari pada ikan karang nokturnal ataupun crepuskular karena sel-sel kerucut lebih banyak. Ikan karang nokturnal fotoreseptornya mengalami modifikasi dimana kepadatan sel-sel batangnya  $10^6$  -  $10^7$  per  $\text{mm}^2$  yang lebih banyak dari pada ikan karang diurnal (Sale 1991). Ketajaman penglihatan dipengaruhi oleh kepadatan sel kerucut. Kepadatan sel kerucut (fotoreseptor) tidak hanya mempengaruhi ketajaman penglihatan, tetapi juga menentukan sumbu penglihatan. Disamping kepadatan sel kerucut, ketajaman penglihatan dipengaruhi oleh panjang fokus lensa mata. Menurut pendapat Guma'a (1981) panjang fokus lensa mata lebih besar pengaruhnya terhadap nilai ketajaman penglihatan dibandingkan dengan kepadatan sel kerucut. Kepadatan sel kerucut menentukan orientasi atau sumbu penglihatan.

Sumbu penglihatan (*visual axis*) dapat ditentukan dari kebiasaan makan ikan dalam melihat makanan atau objek lainnya. Sumbu penglihatan diperoleh dari perhitungan densitas seluruh bagian retina (nasal, dorsal, temporal dan ventral) sehingga diketahui bagian mana yang memiliki densitas tertinggi. Bagian yang memiliki densitas tertinggi menjadi titik acuan garis yang menghubungkan dengan titik pusat lensa mata (Tamura 1957).

Perbedaan jenis ikan yang menyebabkan variasi yang besar pada matanya disebabkan oleh adanya jumlah jenis sel kerucut dan jumlah jenis pigmen penglihatan yang terdapat pada matanya. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang merupakan tempat dimana ikan itu hidup.

Semua pigmen penglihatan mengandung dua komponen utama yakni: suatu protein yang disebut opsin dan bagian yang lain adalah kelompok non protein sebagai pasangan kombinasi protein yang juga disebut kromofor. Secara lebih spesifik Eckert dan Randall (1988) menerangkan bahwa pigmen penglihatan terbuat dari : 1) komponen non protein yang merupakan pasangan protein, 2) protein



yang berpasangan dengan senyawa non protein, 3) sebuah rantai polisakarida dengan 6 gula, 4) fosfolipid yang jumlah molekulnya bervariasi 30 atau lebih.

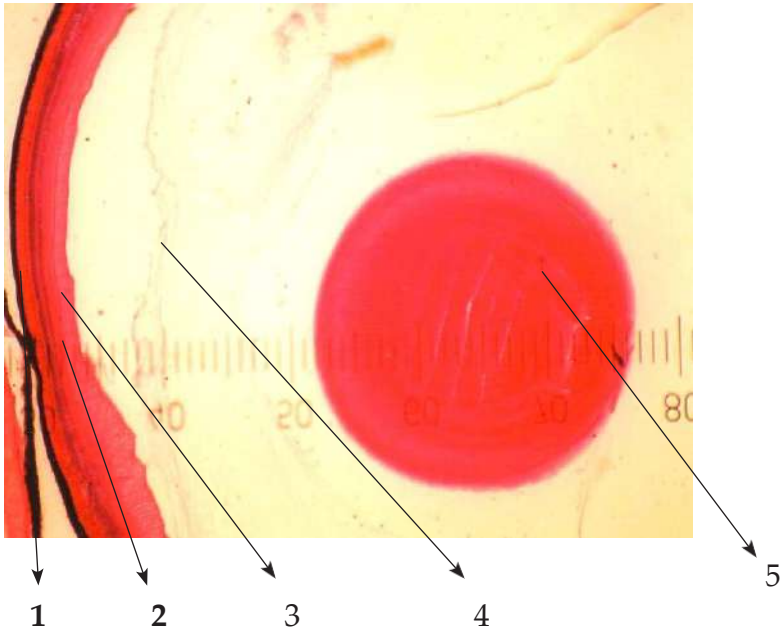
Kromofor adalah gugus fungsional yang memiliki kemampuan menyerap panjang gelombang tertentu. Adanya warna karena adanya gugus fungsional kromofor. Absorpsi gelombang maksimum oleh kromofor tersebut tergantung tidak hanya pada gugus molekul yang terlibat tetapi juga dipengaruhi oleh lingkungannya seperti pelarut dan suhu (Chang 1987). Pada umumnya, kromofor yang ditemukan adalah 11 *cis*-retinal yang berikatan dengan opsin membentuk rodopsin. Pada ikan tertentu dan beberapa vertebrata memerlukan 11 *cis*-dehydroretinal yang berikatan dengan opsin membentuk porphyropsin.

Selain disusun oleh kromofor, pigmen penglihatan memiliki protein yang disebut opsin. Opsin bagian pigmen penglihatan pada sel fotoreseptor (sel kerucut dan sel batang) menempel struktur berupa silinder yang berfungsi sebagai penentu sifat optik cahaya (an optical light guide). Opsin merupakan lipoprotein yang merupakan bagian dari mosaik struktur membran reseptor penglihatan. Hasil interaksi antara opsin dan kromofor atau senyawa non protein membentuk lokasi spektrum gelombang dari pigmen penglihatan, karena secara intrinsik kromofor bersifat menyerap cahaya (Holmes 1991).

## 5.2. Struktur Mata Ikan Kepe-kepe

Gambar 9 menunjukkan bahwa struktur mata ikan Kepe-kepe tersusun seperti mata ikan bertulang sejati. Mata memiliki kornea, lensa, larutan jelly vitreous humor, retina, tapetum lucidum dan sclera. Gambar 29 bagian kornea dan iris tidak tampak. Menurut Spotte (1992) karena densitas air yang tinggi (800) kali lebih padat dari udara menyebabkan ikan yang hidup di air mengembangkan mata yang mampu mengatasi masalah ekstrim tersebut yang dikenal dengan istilah *farsightedness* atau penglihatan *hyperopic* yang memiliki kemampuan untuk melihat objek yang jauh.

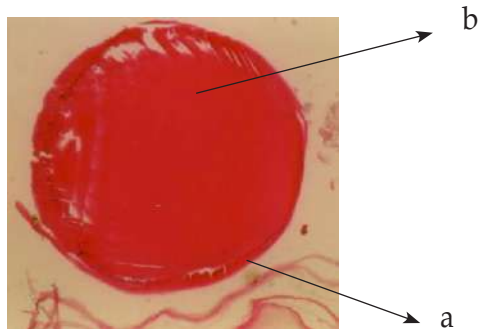




Gambar 11 Struktur mata Ikan Kepe-kepe Gajah , 1) Sclera, 2) tapetum lucidum, 3) retina 4) vitreous humor, 5) lensa mata.

### 5.2.1. Lensa Mata Ikan Kepe-kepe

Hasil pengamatan preparat histologis terhadap lensa mata ikan Kepe-kepe Gajah terlihat pada Gambar 8. Lensa mata hasil proses mikroteknik di atas menunjukkan dua komponen yakni fiber lensa, dan kapsul yang dapat terlihat, sedangkan epithelium lensa tidak terlihat. Menurut Copenhaver *et al.* (1978) lensa terdiri dari kapsul, fiber dan ephithelium lensa. Lensa mata ikan bulat dan keras sebagai adaptasi terhadap kehidupan air. Lensa berfungsi untuk penentuan fokus cahaya melalui pergerakan lensa.



Gambar 12. Irisan mendatar lensa mata ikan Kepe-kepe Gajah (*Chaetodon lunula*). a) fiber lensa, b) kapsul.

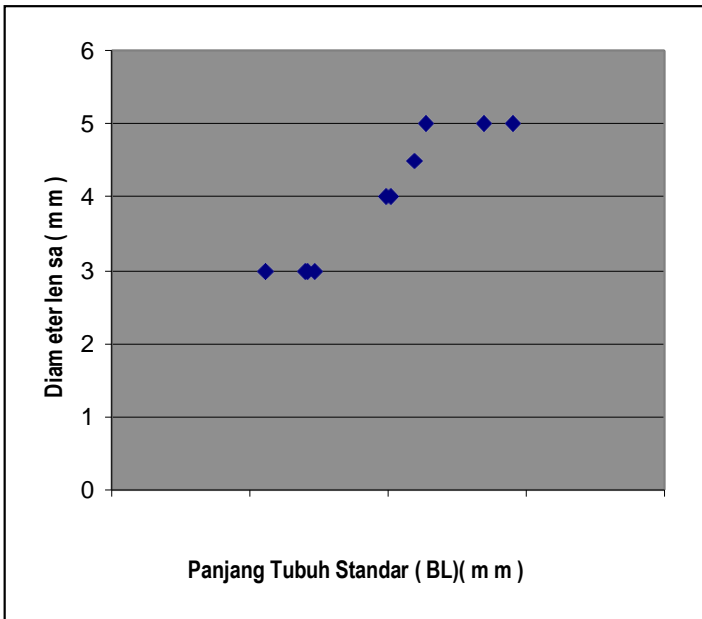
Lensa mata ikan bergerak ke depan menjauhi retina untuk pandangan tertutup atau dekat. Sebaliknya, bergerak mendekati retina secara perlahan-lahan oleh bantuan otot retraktor untuk pandangan jauh. Menurut Hoar dan Randall (1971) lensa atau kornea pada ikan, kebanyakan mengandung pigmen yang berfungsi sebagai penyaring radiasi warna violet atau ultraviolet dan juga kemungkinan sebagai penguatan ketajaman mata ikan.

Lensa mata merupakan faktor penting yang mempengaruhi ketajaman mata ikan. Pengaruhnya lebih kuat dibandingkan kepadatan/densitas sel kerucut. Hal ini sesuai dengan pendapat Shiobara *et al.* (1998) yang menyatakan bahwa ketajaman mata ikan tergantung dua faktor yaitu diameter lensa dan kepadatan sel kerucut pada retina. Sudut pembeda terkecil pada ikan berhubungan erat dengan karakteristik pemantulan sinar ke lensa dan ketepatannya mengenai retina (He 1989). Semakin kecil sudut pembeda terkecil maka ketajaman penglihatannya semakin kuat>Hal ini berkaitan dengan diameter lensa yang bertambah seiring pertambahan ukuran tubuh. Pernyataan tersebut didukung oleh pendapat Purbayanto

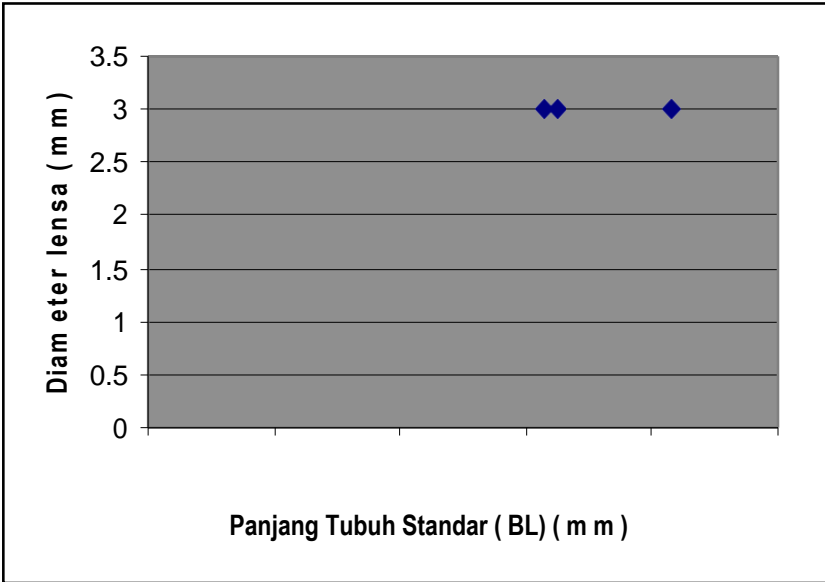
(1999) yang menyatakan bahwa diameter lensa ikan meningkat sejalan dengan bertambahnya panjang tubuh.

### 5.2.2. Hubungan Diameter Lensa dan Panjang Tubuh Standar

Dari hasil pengukuran panjang tubuh standar (*body length*) dan dihubungkan dengan hasil pengukuran diameter lensa mata pada ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula*) ikan Kepe-kepe Cokelat (*C.klenii*) yang terlihat pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 13. Hubungan diameter lensa mata dan panjang tubuh standar pada ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula*)(Razak, 2005).



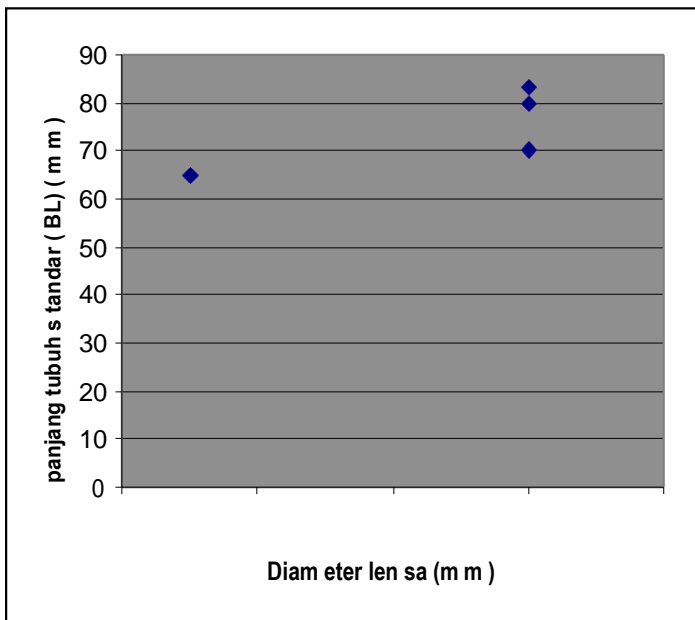
Gambar 14. Hubungan diameter lensa mata dan panjang tubuh standar pada ikan Kepe-kepe Cokelat (*C.klenii*) (Razak, 2005)

tubuh dan diameter lensa mata cukup erat. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,97. Namun peningkatan itu ada batasan maksimalnya. Pertambahan diameter lensa terjadi sesuai dengan bertambahnya umur.

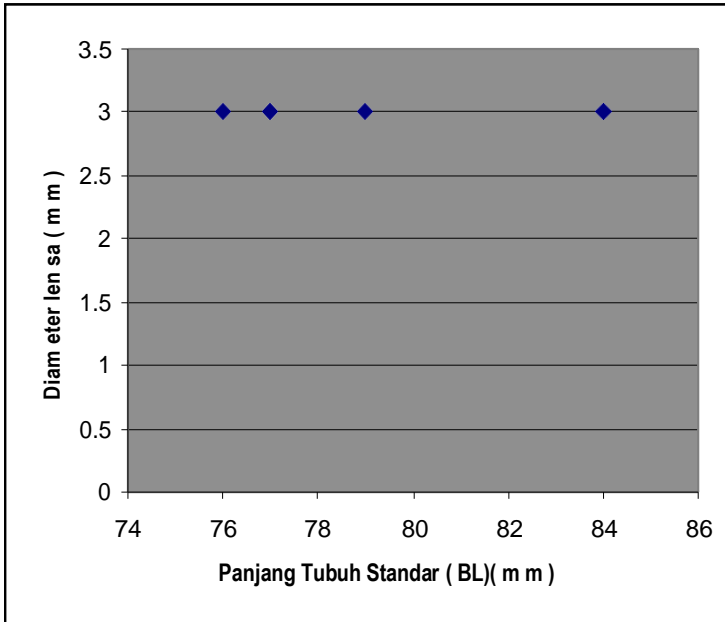
Gambar 13-17 menunjukkan hubungan diameter lensa mata dan panjang tubuh standar pada ikan Kepe-kepe (*Chaetodon* sp) dan ikan Bendera (*Zanclus* sp). Grafik tersebut menggambarkan hubungan yang cenderung lurus antara diameter lensa mata dan panjang tubuh standar. Pertambahan panjang tubuh terjadi sampai ukuran tertentu diikuti oleh meningkatnya diameter lensa. Pada ikan Kepe-kepe Gajah terlihat pertambahan diameter lensa mulai saat juvenil (>60 mm) sampai memasuki masa







Gambar 15. Hubungan diameter lensa mata dan panjang tubuh standar pada ikan Bendera (*Zaclus* sp).

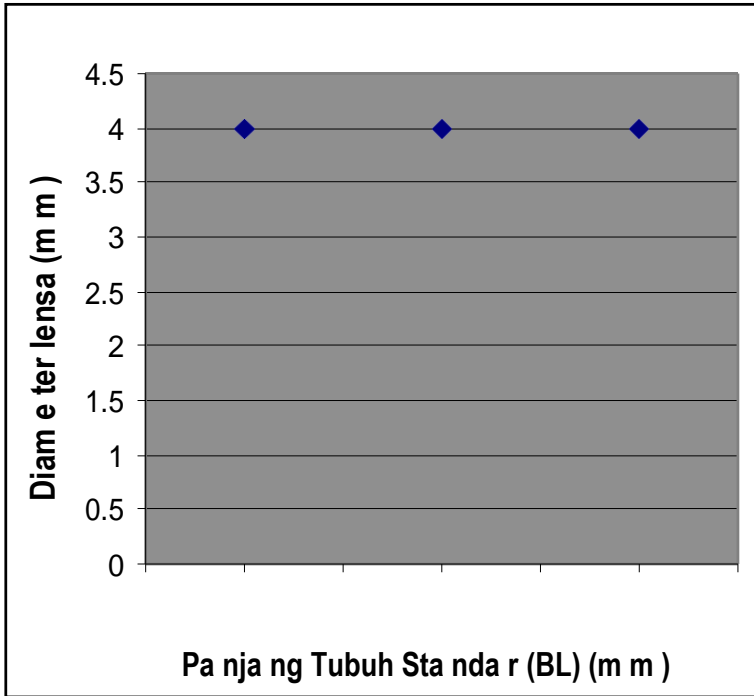


Gambar 16. Hubungan diameter lensa mata dan panjang tubuh standar pada ikan Kepe-kepe Tiker (*C.vagabundus*).

dewasa (145 mm) terjadi penambahan diameter lensa yang nyata dari 3 mm sampai 5 mm. Demikian juga pada ikan Kepe-kepe Kalong dan ikan Kepe-kepe Cokelat serta ikan Bendera.

Sebaliknya pada ikan Kepe-kepe Tiker (Gambar 17) karena panjang tubuhnya tidak jauh berbeda penambahan diameter lensa tak terjadi. Hal yang sama juga terjadi pada mata ikan Kepe-kepe Auriga (Gambar 35). Hal ini sesuai dengan pendapat Purbayanto (1999) bahwa diameter lensa mata ikan meningkat seiring dengan bertambahnya panjang tubuh. Diameter lensa mata yang meningkat berakibat bertambah baiknya ketajaman mata ikan (Gama'a 1981).





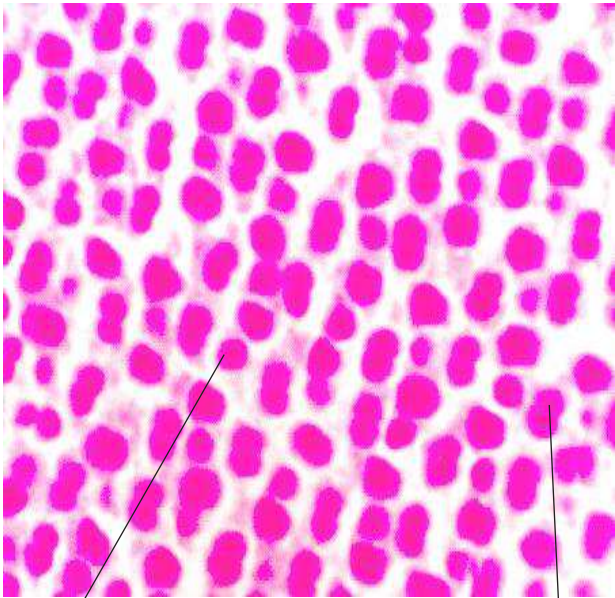
Gambar 17. Hubungan diameter lensa dan panjang tubuh standar pada ikan Kepe-kepe Auriga (*C.auriga*) (Razak, 2005).

Grafik pada Gambar 13-17 memberikan informasi baru bahwa pada ukuran panjang tubuh standar (BL) berkisar 50-90 mm tidak terjadi penambahan diameter lensa pada ikan Kepe-kepe Gajah, ikan Kepe-kepe cokelat, ikan Kepe-kepe Tiker dan ikan Kepe-kepe Auriga demikian juga pada ikan Bendera (*Zanclus sp*). Peningkatan diameter lensa mata mulai terjadi pada ukuran 100-120 mm dan diatas 120 mm pertambahan tidak terjadi lagi seperti yang terlihat pada Gambar 31. Hal ini menunjukkan bahwa pola pertambahan diameter lensa mata ikan Kepe-kepe mengikuti pola pertumbuhan dimana ada pertambahan panjang dan ada pula saat

pertambahan diameter jenuh seiring dengan umur yang dewasa, dimana pertumbuhan dan penambahan volume sel tubuh tidak terjadi lagi.

### 5.3.3. Jenis/Tipe Fotoreseptor Ikan Kepe-kepe

Berdasarkan pengamatan preparat histologi yang merupakan hasil pengamatan jaringan retina diketahui bahwa jenis atau tipe sel kerucut yang merupakan fotoreseptor pada ikan ini adalah sel kerucut ganda kembar (*twin cone*) (Gambar 36). Sel kerucut ini merata ditemukan di seluruh bagian bawah, ventral, dorsal dan nasal. Hal ini membuktikan bahwa ikan Kepe-kepe merupakan ikan sangat aktif saat cahaya terang (siang hari).



sel kerucut tunggal

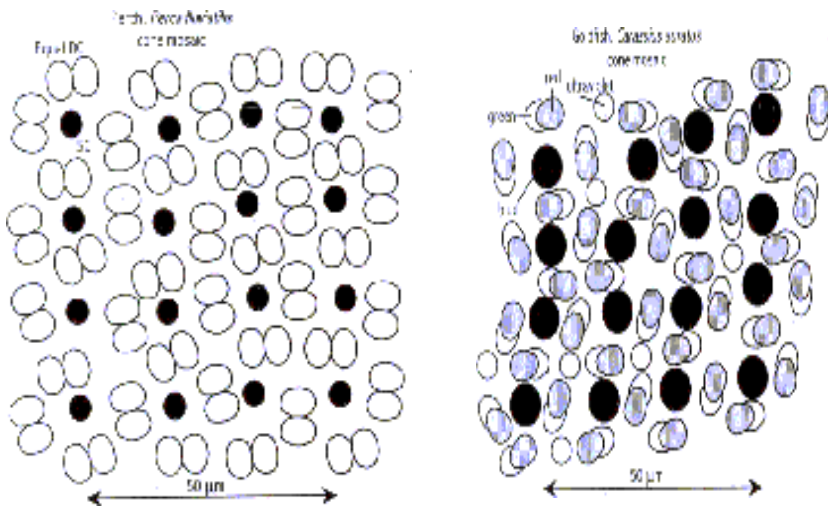
sel kerucut ganda

**Gambar 18.** Sel kerucut pada retina ikan Kepe-kepe Gajah (*C. lunula*).



Hal ini sesuai pendapat Gunarso (1988) yang menyatakan bahwa ikan yang aktif pada siang hari, sel kerucut umumnya berbentuk mosaik. Susunan sel kerucut tersebut dalam bentuk barisan atau persegi empat.

Berdasarkan gambar preparat histologis di atas, pada retina mata diketahui bahwa jenis/tipe sel kerucut yang merupakan fotoreseptor utama bagi ikan diurnal seperti ikan Kepe-kepe adalah sel kerucut ganda (*twin/double cone*) yang terbanyak ditemukan pada bagian bawah mangkuk (temporal) retina. Sel kerucut tunggal (*single cone*) juga ditemukan dengan jumlah yang sedikit. Menurut Tamura (1957) sel kerucut ganda dan sel kerucut tunggal ditemukan pada ikan bertulang sejati (Gambar 37). Sel kerucut ganda merupakan kombinasi sel kerucut tunggal (Matsuoka 1999).



Gambar 19. Mosaik sel kerucut ganda dan tunggal pada ikan *Perch* (*P. fluviatilis*) dan *Goldfish* (*Carassius auratus*) (Marc 1998).

Jenis sel kerucut berkaitan dengan kedalaman tempat ikan hidup. Pernyataan ini diperoleh dari hasil penelitian Tamura (1957) yang mendapatkan bukti bahwa ada hubungan antara kedalaman dan kepadatan relative sel kerucut ganda dan sel kerucut tunggal. Sebagai contoh ikan Tenggiri (*Scomber* sp) hidup pada kolom air yang dekat dengan permukaan laut, retina matanya memiliki jumlah sel kerucut ganda dan sel kerucut tunggal pada daerah dorso-temporal. Kebanyakan ikan-ikan yang telah diteliti yang hidupnya relative dekat dengan permukaan memiliki separuh sel kerucut ganda dan separuh sel kerucut tunggal. Sementara ikan-ikan yang hidup pada kedalaman 100-300 m seperti *Helicolenus*, *Malakichtys*, *Zenion*, *Argentina* dan *Chlorophthalmus* tidak memiliki sel kerucut tunggal. Pendapat di atas didukung pula oleh Fitri (2002) yang mendapatkan bahwa pada ikan Layang (*Decapterus macrosoma*) jenis sel kerucutnya adalah sel kerucut ganda yang membentuk mosaik yang menyebar merata. Ikan yang memiliki sel kerucut ganda saja yang ditemukan pada retina mata merupakan petunjuk bahwa ikan Layang merupakan ikan predator.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, kita hubungkan antara jenis/tipe sel kerucut ikan Kepe-kepe dan kedalaman tempat hidupnya maka dapat dikatakan bahwa ikan Kepe-kepe hidup pada kedalaman di bawah 100 m. Disamping itu dominannya sel kerucut ganda berhubungan dengan kebiasaan makan. Ikan Kepe-kepe memiliki sel kerucut ganda dominan yang tersusun membentuk mosaik bujur sangkar memiliki ketajaman mata yang kuat agar mampu menangkap invertebrata kecil yang menjadi makanannya disamping polip koral.

Pada ikan karang kemampuan indera penglihatannya sangat baik. Ikan karang mampu melihat warna karena adanya sel-sel *cone* dan pigmen visual. Warna yang mampu dilihat oleh ikan karang secara umum adalah warna biru dan cenderung sensitif terhadap warna hijau. Ikan karang diurnal ketajaman penglihatan (*visual acuity*) lebih baik dari pada ikan karang nokturnal ataupun *crepuscular* karena sel-sel *cone* lebih banyak. Pada ikan nokturnal



fotoreseptornya mengalami modifikasi dimana kepadatan sel-sel batangnya-nya 106 - 107 per mm<sup>2</sup> yang lebih banyak dari pada ikan karang diurnal. Demikian juga ketebalan lapisan fotoreseptor pada ikan nokturnal juga lebih tebal dari pada ikan karang diurnal (Sale (ed), 1991).

Ikan Kepe-kepe dengan pola mosaik yang disusun dominan oleh sel kerucut ganda menandakan ikan ini sangat intensif menggunakan penglihatannya. Hal tersebut dibuktikan oleh porsi berat lobus opticus dari otaknya yang paling besar dibandingkan bagian atau komponen lain dari otaknya. Hal tersebut didukung oleh pernyataan para ahli yang mengatakan ikan yang memiliki sel kerucut dengan pola mosaik menunjukkan bahwa ikan tersebut sangat intensif menggunakan penglihatannya. Susunan mosaik ini dapat berubah pada satu individu tergantung keadaan habitatnya (Fujaya, 2002 ; Herring *et al.* 1990). Berkaitan dengan jenis atau tipe sel kerucut ganda yang retinanya merupakan bagian dari adaptasi ekologi mata ikan dalam rangka mempertahankan diri dari predator agar mampu menjaga kelangsungan hidupnya.

### 5.3. Densitas Fotoreseptor

Hasil penghitungan sel kerucut diperoleh kepadatan atau densitas sel kerucut seperti yang terdapat pada Tabel 9. Kepadatan sel kerucut dari retina mata pada ikan Kepe-kepe Gajah 200-220/0,12 mm<sup>2</sup>, ikan Kepe-kepe Auriga 353-422 /0,12 mm<sup>2</sup>, ikan Kepe-kepe Kalong 257-541//0,12 mm<sup>2</sup>, ikan Kepe-kepe Monyong 207-255/0.12 mm<sup>2</sup> dan pada ikan Kepe-kepe Falkula 362-337/0,12 mm<sup>2</sup>.

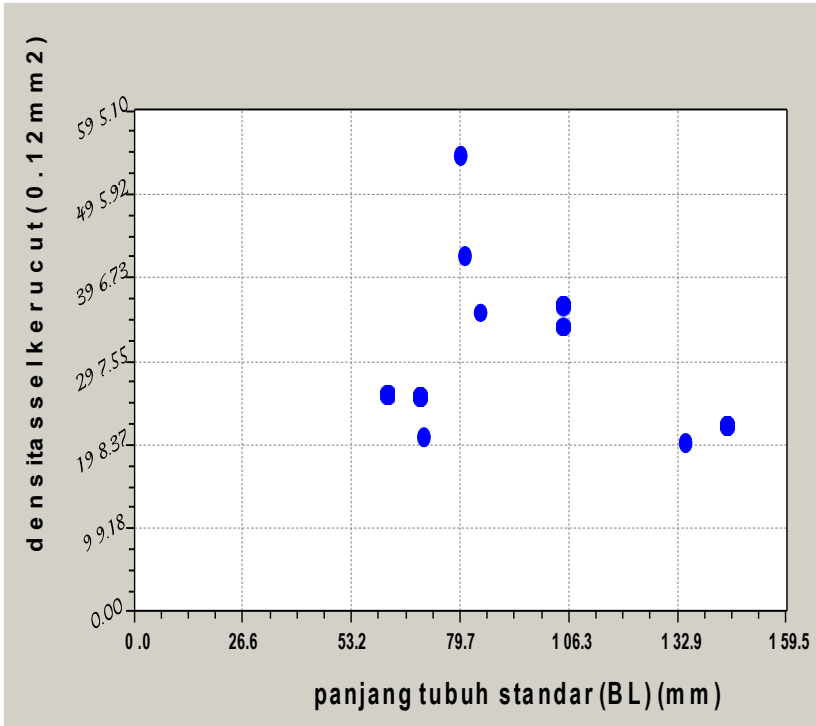
Densitas sel kerucut tertinggi ditemukan pada ikan Kepe-kepe Kalong dengan kepadatan 541/0,12 mm<sup>2</sup> dan panjang tubuh standar (BL) 80 mm. Densitas sel kerucut terendah pada ikan Kepe-kepe Gajah 200/0,12 mm<sup>2</sup> dengan BL 95 mm. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa pada ikan Kepe-kepe sel kerucut terpadat terletak pada bagian temporal.

Tabel 3. Densitas sel kerucut ( $0.12 \text{ mm}^2$ ) pada area retina mata ikan Kepe-kepe (Razak, 2005).

No.	Area Retina	Nasal	Dorsal	Ventral	Temporal
1.	<i>Chaetodon .lunula (sp1)</i>	87	66	81	220
2.	<i>C..lunula (sp2)</i>	95	126	144	200
3.	<i>C. auriga (sp1)</i>	244	175	274	422
4	<i>C. auriga (sp2)</i>	184	255	166	353
5.	<i>C..collare (sp1)</i>	309	198	166	541
6..	<i>C..collare (sp2)</i>	163	78	123	257
7.	<i>Chelmon rostratus (sp1)</i>	-	121	103	207
8.	<i>Chelmon rostratus (sp2)</i>	161	170	112	255
9.	<i>C. falkula (sp1)</i>	309	212	229	337
10.	<i>C. falkula (sp1)</i>	348	309	248	362

Data densitas sel kerucut dihubungkan dengan panjang tubuh standar (BL) secara regresi maka diperoleh grafik pada Gambar 36. Hubungan antara panjang tubuh standar (BL) dengan densitas sel kerucut setelah dianalisis secara regresi diperoleh koefisien korelasi ( $r$ ) yakni 0.837 dan bentuk kurva plotnya adalah sinusoidal. Hubungan panjang tubuh standard (BL) dan densitas sel kerucut ternyata semakin bertambah panjang tubuh maka densitas sel kerucut cenderung menurun. Hal ini sesuai dengan pendapat Tamura (1957) menyatakan bahwa kepadatan sel kerucut akan tetap sama selama hidupnya, yang berubah adalah lensa mata yang mengikuti pertumbuhan tubuh. Sel kerucut menurun jumlahnya, karena volume sel kerucut membesar seiring proses pertumbuhan dan perkembangan tubuh.





Gambar .20 Hubungan densitas sel kerucut dan panjang tubuh standar (body length)

Selanjutnya dibandingkan dengan hasil penelitian Fitri (2002) yang mendapatkan kepadatan sel kerucut ikan Juwi (*A.chachunda*) berkisar 110-145/0,01mm<sup>2</sup>, maka kepadatan sel kerucut ikan Kepe-kepe lebih padat. Menurut penelitian lainnya yang dilakukan oleh Torisawa et al. (2002) pada ikan karang *Sebastes schlegeli* yang hidup pada kedalaman mendekati 100 m, diketahui kepadatan maksimum sel kerucutnya berkisar 92-172/0,1mm<sup>2</sup>.

Berkaitan dengan densitas sel kerucut di atas, penelitian lain pada ikan Cucut yang dilakukan Sillman et al. (1996) diperoleh

bahwa pada ikan Cucut Leopard (*Triakis semifasciata*) terdapat sel batang yang dominan dengan kepadatan 1 per  $9,3 \pm 1,2 \mu\text{m}^2$ , sedangkan sel kerucut sangat jarang ditemukan. Rasio sel batang dan sel kerucut pada ikan Cucut bervariasi. Pada *Squalus acanthias* 50:1, ikan Cucut Putih 4:1 dan ikan Cucut Sandbark 13:1. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa sel kerucut tidak penting bagi ikan Cucut.

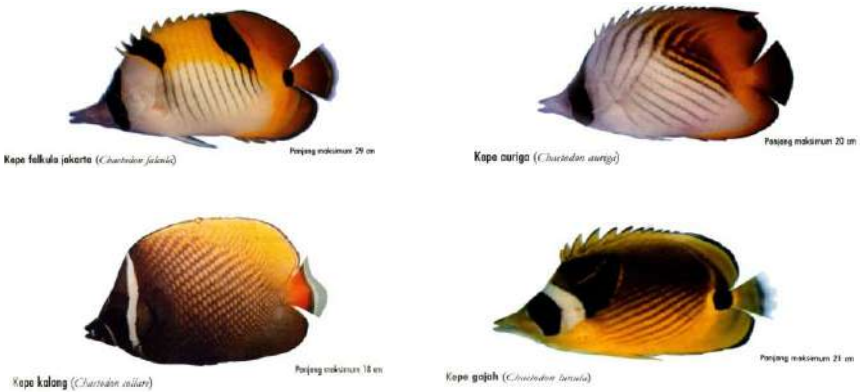
Densitas sel kerucut pada ikan Kepe-kepe dan ikan Cucut bertolak belakang. Ikan Cucut mengandalkan sel batang untuk penglihatannya yang hanya membedakan terang dan gelap dan tak mampu membedakan warna. Sebaliknya ikan Kepe-kepe mengandalkan sel kerucut untuk penglihatannya. Hal ini menggambarkan bahwa kedua ikan tersebut berbeda adaptasi ekologi pada indera penglihatannya. Ikan Cucut mengembangkan adaptasi ekologi mata sebagai predator dengan berbagai kelengkapan indera yang canggih, namun ikan Cucut tidak mampu membedakan warna. Ikan Kepe-kepe sebaliknya indera penglihatan merupakan indera utama disamping indera-indera sensoris lainnya. Ikan Kepe-kepe juga mengembangkan adaptasi ekologi yang cukup baik terhadap warna. Tubuh ikan Kepe-kepe memanfaatkan warna sebagai sarana untuk penyamaran agar selamat dari predator. Ikan-ikan predator di perairan terumbu karang umumnya ikan nokturnal tidak mampu membedakan warna. Retina mata ikan predator disusun oleh sel-sel batang sebagai fotoreseptornya. Ikan karang yang hidup pada daerah sub tropis memiliki kepadatan sel batang berkisar  $10^6$ - $10^7$  per  $\text{mm}^2$  (Mc Farland dan Munz 1973).

Uraian di atas membuktikan bahwa predator mengembangkan adaptasi ekologi pada mata dan indera-indera sensoris lainnya yang efektif. Hal itu diimbangi pula oleh ikan Kepe-kepe yang mengembangkan mekanisme bertahan yang efektif dengan kemampuan melihat dan menggunakan warna secara efektif untuk kelangsungan hidupnya. Predator efektif menangkap mangsa dan mangsa mengembangkan mekanisme bertahan efektif dengan memperkuat sisi kelemahan/kekurangan yang dimiliki oleh predator.



### 5.4. Analisis Sumbu Penglihatan (Visual Axis)

Berdasarkan angka kepadatan tertinggi tersebut di atas maka dapat ditentukan orientasi atau sumbu penglihatan ikan Kepe-kepe yakni ke lurus arah depan. Menurut pendapat Tamura (1957) sumbu penglihatan ditentukan dengan mengetahui kepadatan sel kerucut tertinggi. Selanjutnya, Blaxter (1980) menjelaskan sumbu penglihatan (visual axis) diidentifikasi untuk mengetahui kebiasaan ikan melihat objek atau melihat makanan. Berdasarkan angka kepadatan tertinggi tersebut maka dapat ditentukan orientasi atau sumbu penglihatan ikan Kepe-kepe yakni ke arah depan (Gambar 21).



Gambar 21. Sumbu penglihatan (visual axis) ikan Kepe-kepe.

Biasanya kepadatan sel kerucut terpusat pada area dorso-temporal, temporal dan ventro-temporal. Selanjutnya, analisis sumbu penglihatan dihubungkan dengan kebiasaan makan pada ikan Kepe-kepe. Densitas sel kerucut yang dihitung terdiri dari 5 spesies yakni ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula*), ikan Kepe-kepe Auriga (*C auriga*), ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare*), ikan Kepe-kepe Monyong (*Chelmon rostratus*) dan ikan Kepe-kepe palkula (*C.falkula*).

Berkaitan dengan kebiasaan makan, ikan Kepe-kepe Gajah adalah ikan yang bersifat browse omnivora (memilih makanan apa saja yang ada), ikan Kepe-kepe Auriga bersifat fakultative coral feeders (pemakan sclerectinia fakultatif) dan memakan hewan bentos seperti halnya ikan Kepe-kepe Monyong yang memakan hewan bentos dan invertebrata non koral (Wootton, 1992 dan Sano, 1989). Kebiasaan makan atau mematak koral membentuk garis lurus kedepan maka sumbu penglihatan terorientasi ke arah depan. Hal ini sesuai pendapat Blaxter (1980) yang mengatakan sumbu penglihatan berguna untuk melihat kebiasaan makan ikan. Kebiasaan tersebut berkembang sesuai dengan kondisi ekologis pada lingkungannya. Hal ini berpengaruh terhadap pemusatan kepadatan sel kerucut. Pemusatan kepadatan sel kerucut pada bagian temporal menyebabkan pandangan atau orientasi utama terhadap objek atau makanan lurus ke arahdepan.

Ketiga jenis ikan Kepe-kepe tersebut mempunyai kesamaan yakni memakan makanan lebih dari satu jenis dan tergolong omnivora. Pilihan sumbu penglihatan yang sesuai dengan makanan yang beragam tersebut adalah ke arah depan (fore). Hal ini bisa kita lihat dari tingkah laku makan ikan Kepe-kepe tersebut.

Berkaitan dengan kebiasaan makan, ukuran panjang tubuh juga dapat menerangkan habit ikan karang apakah herbivor, karnivor ataupun omnivor. Hal ini sesuai penjelasan Sale (1991) yang mengatakan bahwa suku ikan karang Chaetodontidae, Pomacentridae, Blennidae dan Gobiidae merupakan kelompok ikan yang omnivora. Ikan omnivora seperti ikan Kepe-kepe memiliki panjang tubuh standar berkisar 100-250 mm.

Ikan karang dari suku Chaetodontidae yang berjumlah 114 spesies. Ikan famili ini memiliki 10 genera atau 90 % berada di Indo-Pasifik dan 50% diantaranya merupakan pemakan koral dan pemakan hewan invertebrata rendah yang hidup diterumbu karang (Sale 1991).



## 5.5. Analisis Ketajaman Mata Ikan

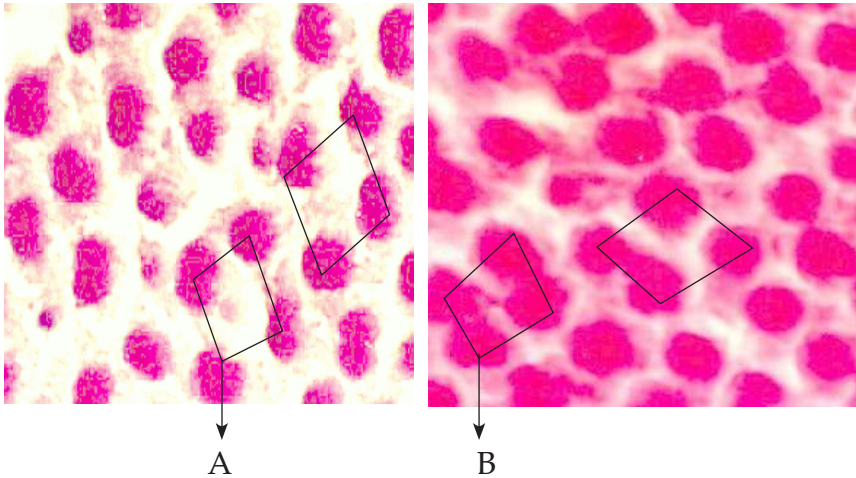
Hasil perhitungan densitas tertinggi dan dimasukkan dalam perhitungan dengan rumus sudut pembeda terkecil diperoleh nilai ketajaman 5 jenis ikan Kepe-kepe seperti yang terdapat pada Tabel 10. Data pada Tabel 10 menunjukkan bahwa ketajaman penglihatan dari 5 jenis ikan Kepe-kepe di atas berkisar 0,058 – 0,104. Nilai ketajaman penglihatan tertinggi pada ikan Kepe-kepe Gajah 0,104 dengan panjang standar (BL) 145 mm, sedangkan ketajaman penglihatan terendah pada ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare*) yang panjang standarnya (BL) 62 mm dan tergolong juvenil.

Hubungan antara densitas dengan ketajaman mata ikan Kepe-kepe menunjukkan bahwa ketajaman mata ikan meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan sel kerucut. Hubungan keduanya cukup erat yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi ( $r$ ) 0.739 seperti yang terlihat pada Gambar 39. Gambar 39 menunjukkan bahwa ketajaman mata ikan Kepe-kepe tidak hanya ditentukan oleh faktor kepadatan sel kerucut tetapi masih ada faktor lain yang juga berpengaruh seperti pola mosaik sel kerucut yang juga berpengaruh terhadap ketajaman mata ikan. Hal ini terbukti pada ikan Kepe-kepe Kalong yang memiliki ketajaman mata terkuat dibandingkan dengan ikan Kepe-kepe jenis lainnya. Tabel 10 menunjukkan bahwa ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare*) panjang tubuh standar 80 mm, densitas  $541/0,12 \text{ mm}^2$ , diameter 4 mm, jarak fokus 4,8 mm. Data itu menunjukkan bahwa dibandingkan antara jenis ikan Kepe-kepe tersebut yang tertinggi adalah densitas sel kerucut dan MSA terkecil 6,88 menit dan ketajaman mata ikan tertinggi yakni 0,145.

Tabel 4. Ketajaman penglihatan (visual acuity) mata ikan Kepe-kepe.

No.	Species Ikan Kepe	Body length	DENSITAS sel KERUCUT	Diameter lensa	Jarak Fokus (Focal length)(mm)	MSA (MENT)	Visual Acuity
1	<i>C.lunula</i> (sP1)	145.0	220	5.0	$2.4 \times 2.5=6.0$	9.63	0.104
2	<i>C.lunula</i> (sP2)	135.0	200	5.0	$2.4 \times 2.5=6.0$	10.32	0.097
3	<i>C. auriga</i> (sp1)	81.0	422	3.0	$2.4 \times 1.5=3.6$	13.76	0.073
4	<i>C. auriga</i> (sp2)	85.0	353	4.0	$2.4 \times 2.0=4.8$	10.32	0.097
5	<i>C.collare</i> (sp1)	80.0	541	4.0	$2.4 \times 2.0=4.8$	6.88	0.145
6	<i>C.collare</i> (sp2)	62.0	257	3.0	$2.4 \times 1.5=3.6$	17.20	0.058
7	<i>Chelmon rostratus</i> (sp1)	71.0	207	3.0	$2.4 \times 1.5=3.6$	17.20	0.058
8	<i>Chelmon rostratus</i> (sp2)	70.0	255	3.0	$2.4 \times 1.5=3.6$	17.20	0.058
9	<i>C.falkula</i> (sp1)	105.0	337	4.0	$2.4 \times 2.0=4.8$	10.32	0.097
10	<i>C.falkula</i> (sp1)	105.0	362	4.0	$2.4 \times 2.0=4.8$	10.32	0.097

Berdasarkan pengamatan foto preparat ternyata pola mosaik ikan Kepe-kepe Kalong dan ikan Kepe-kepe Gajah membentuk mosaik seperti bujur sangkar (Gambar 40) dimana sel kerucut lebih teratur susunannya dibandingkan 3 jenis ikan Kepe-kepe lainnya. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian ketajaman penglihatan ikan karang yang dilakukan Torisawa et al. (2002). Penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa ketajaman penglihatan ikan *Sebastes schlegeli* berkisar 0,093-0,106. Selanjutnya, pada penelitian Tamura (1957) diperoleh ketajaman mata ikan karang ekonomi berkisar 0,065 – 0,238. Lebih lanjut terungkap bahwa ketajaman mata ikan pelagis seperti ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) yang memiliki ketajaman penglihatan 0.05 – 0.07 dengan panjang total (TL) 285-350 mm. Angka ketajaman penglihatan ikan Tongkol lebih rendah dari pada ikan Kepe-kepe (Alatas 2003.).



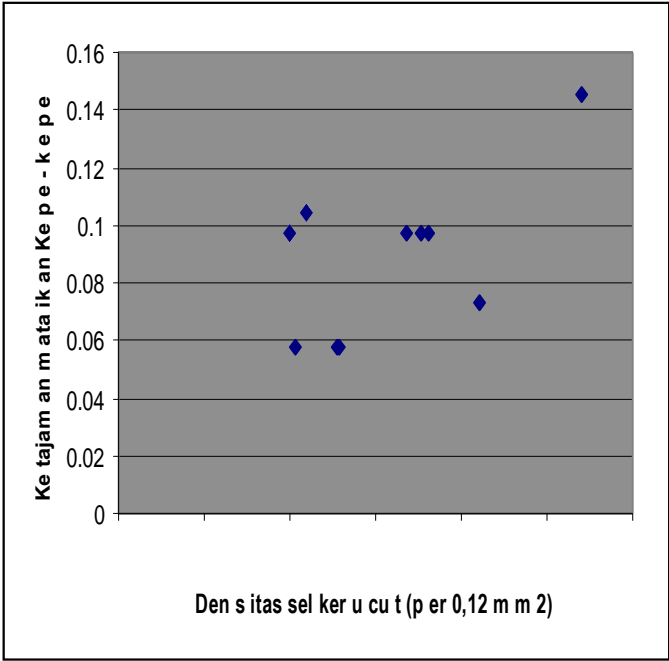
Gambar 22.. Mosaik bujur sangkar sel kerucut . A) ikan Kepe kalong (*C.collare*) dan B) ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula*)

Perbandingan lain yang menarik adalah pada ikan Cucut. Ikan Cucut mengembangkan kemampuan penglihatan yang mampu memanfaatkan cahaya yang sedikit dari lingkungannya. Hal ini disebabkan fotoreseptor yang diandalkannya adalah sel batang dan memiliki pigmen.

Sel batang ada yang pendek dan ada yang panjang. Sel batang yang panjang mampu menangkap cahaya redup dengan sangat baik. Ikan Cucut Lemon memiliki sel batang yang lebih panjang dari sel batang pada ikan Cucut Putih. Hal tersebut menggambarkan bahwa ikan Cucut Lemon sangat baik adaptasinya terhadap lingkungan yang minim cahaya dan merupakan ikan yang sangat aktif pada malam hari (Gruber dan Cohen 1985).

Hal tersebut didukung pula oleh pendapat Schremser dan Williams (1995) yang mengatakan bahwa hewan-hewan yang beradaptasi dengan lingkungan yang gelap memiliki sel batang yang lebih panjang karena *outer segmen* sel batang lebih panjang. Tabel 9

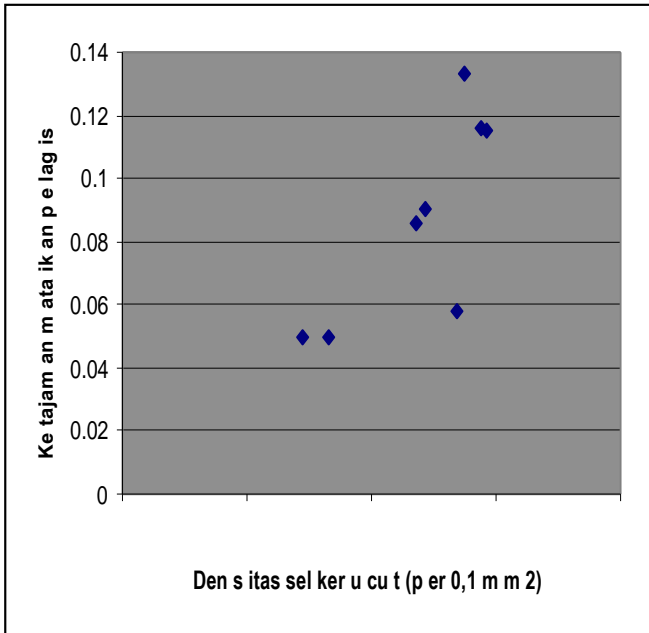
memperlihatkan bahwa ikan Kepe-kepe Auriga (*C.auriga*) memiliki densitas sel kerucut yang tinggi tapi tidak sejalan dengan ketajaman penglihatan.



Gambar 23. Hubungan densitas sel kerucut dan ketajaman mata ikan Kepe-kepe.

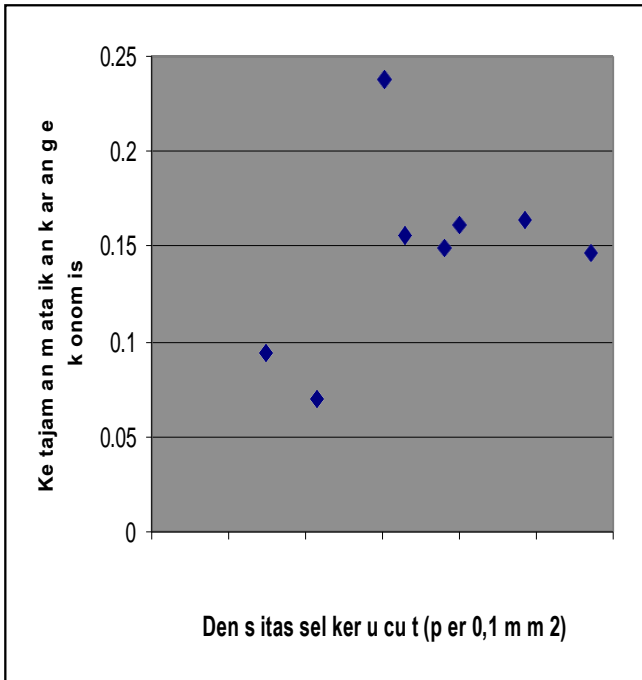
Gambar 22, 23 dan 24 menunjukkan bahwa densitas sel kerucut pada ikan Kepe-kepe tidak selalu meningkatkan ketajaman penglihatan. Fakta tersebut bermakna bahwa ketajaman mata dipengaruhi oleh beberapa faktor lain disamping densitas sel kerucut. Hal ini terlihat pada densitas sel kerucut *Sparus hasta* dan *Euthynus japonicus*. Densitas sel kerucut ikan *Euthynus japonicus* lebih tinggi namun ketajaman penglihatannya lebih rendah.





Gambar 24. Densitas sel kerucut dan ketajaman mata ikan pelagis (Tamura 1957)

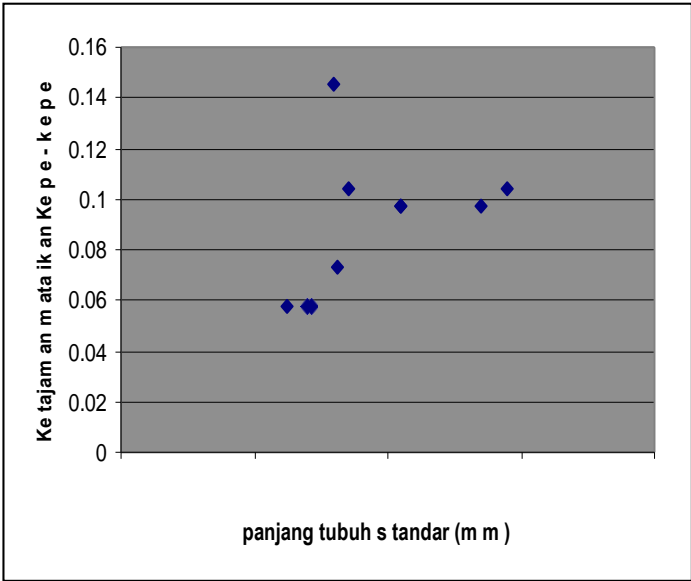
Gambar 43 juga memperjelas pernyataan bahwa densitas tidak langsung mempengaruhi ketajaman penglihatan tetapi ada faktor lain yang lebih kuat yakni diameter lensa mata. Shiobara et al., (1998) menjelaskan bahwa **ketajaman penglihatan meningkat disebabkan oleh hubungan panjang fokus lensa yang lebih meningkat dari pada sel kerucutnya. Sel kerucut cenderung atau relatif konstan sepanjang hidup ikan, perubahan ada hanya pada bertambahnya volume sel kerucut karena pertumbuhan.**



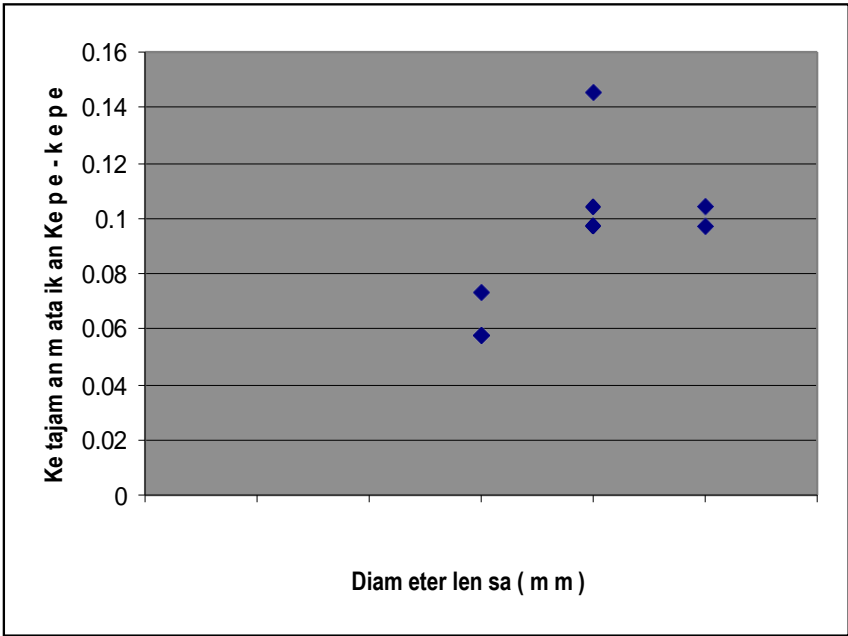
Gambar 25. Densitas sel kerucut dan ketajaman mata ikan karang ekonomis (*Pagrus major*; *E.septemfasciatus*; *E.chlorostigma*; *Apogon linealatus*; *Sebasticus marmoratus*; *Helicolenus dactyloperus*; *Sparus hasta*; *Evynnis japonicus* (Tamura 1957).

Perubahan diameter lensa cenderung mengikuti bertambahnya panjang tubuh ikan maka ketajaman penglihatan meningkat karena sudut pembesaran terkecil semakin kecil karena lensa makin besar (He, 1989). Pada ikan percha (*Percha fluviatilis*) juga ditemukan hal yang sama, ketajaman penglihatan ikan tersebut tergantung pada panjang fokus lensanya. Gambar 44, 45 yang menunjukkan hubungan ketajaman penglihatan ikan Kepe-kepe dan panjang tubuh

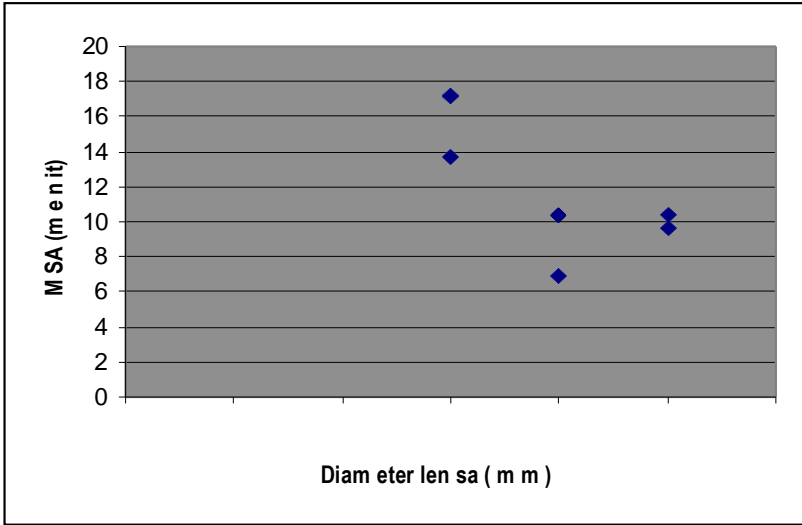
standar, serta diameter lensa. Selanjutnya, Gambar 46 menunjukkan hubungan diameter lensa dan MSA. Nilai ketajaman penglihatan meningkat seiring dengan bertambahnya panjang tubuh standar. Pertambahan panjang tubuh menyebabkan bertambahnya ukuran anggota tubuh lainnya secara proporsional termasuk lensa mata ikan (Shiobara *et al.*, 1998).



Gambar 26. Hubungan panjang tubuh standar dan ketajaman penglihatan ikan Kepe-kepe (*Chaetodon* spp).

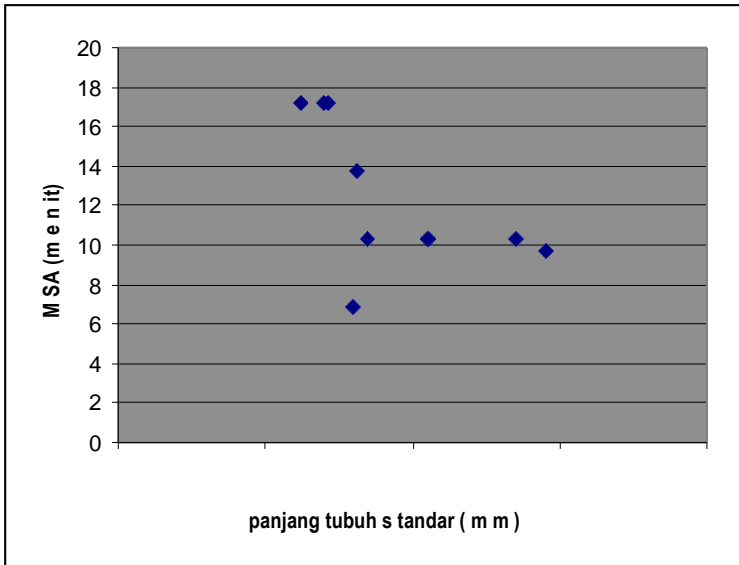


Gambar 27. Hubungan diameter lensa dan ketajaman penglihatan ikan Kepe-kepe



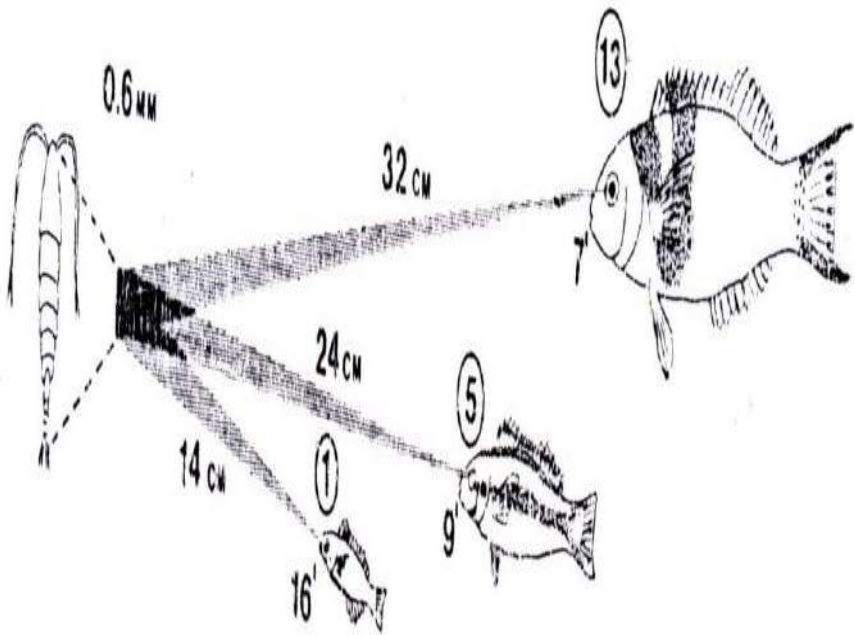
Gambar 28. Hubungan diameter lensa dan MSA

Gambar 28 menunjukkan bahwa diameter lensa dan ketajaman penglihatan tidak selalu diikuti oleh peningkatan ketajaman mata ikan. Hal ini memperkuat pernyataan bahwa ketajaman penglihatan dipengaruhi oleh beberapa faktor dan jenis ikan. Demikian juga pada Gambar 29 menunjukkan bahwa hubungan diameter lensa dan MSA tidak selalu memperkecil nilai MSA tapi juga tergantung pada jenis ikan. Diameter lensa meningkat dan MSA mengecil yang berarti ketajaman mata ikan meningkat. Gambar 47 yang menunjukkan hubungan antara panjang tubuh standar (BL) dan MSA. Semakin meningkat panjang tubuh standar (BL), MSA cenderung semakin kecil namun tidak selalu, seperti pada ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare*)



Gambar 29. Hubungan panjang tubuh standar terhadap MSA

Pada ikan karang lain seperti pada ikan Wrasse Biru (*Thalassoma bifasciatum*) yang berbeda ukurannya, berbeda pula sudut pembeda terkecilnya sehingga jarak pandang maksimumnya juga berbeda. Pengukuran MSA dilakukan dan ukurannya sesuai dengan makanannya berupa plankton yang biasa dimakannya setiap hari (Gambar 30).



Gambar 30. Sumbu penglihatan dan sudut pembeda terkecil (MSA) (*Thallossoma bifasciatum*) dengan panjang tubuh total yang berbeda (Sale 1991).

Uraian di atas perlu penjelasan lebih lanjut, untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi ketajaman mata pada spesies-spesies ikan Kepe-kepe maka dibuat ikhtisar seperti yang terdapat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Ikhtisar ketajaman mata ikan Kepe-kepe**

No.	Spesies ikan Kepe-kepe diurut berdasarkan nilai ketajaman tertinggi sampai terendah	Densitas sel kerucut (per 0,12 mm <sup>2</sup> )	Diameter lensa (MM)	Pola mosaik
1	<i>Chaetodon collare</i>	541	4 mm	Teratur
2	<i>C.lunula</i>	220	5 mm	Teratur
3	<i>C.auriga</i>	442	4 mm	Tidak teratur
4	<i>C.falkula</i>	362	3 mm	Tidak teratur
5	<i>Chelmon rostratus</i>	255	3 mm	Tidak teratur

Berdasarkan Tabel 5 di atas ikan *Chaetodon collare* menempati ketajaman mata tertinggi disebabkan oleh nilai densitas sel kerucut yang tinggi, diameter lensa 4 mm dan pola mosaik yang teratur. Pada *C.lunula* yang memiliki nama daerah ikan Kepe-kepe Gajah nilai ketajaman mata menempati posisi kedua disebabkan oleh diameter lensa tertinggi yakni 5 mm dan pola mosaik teratur, namun nilai densitas sel kerucut paling rendah. Selanjutnya pada ikan *C.auriga*, *C.falkula* dan *Chelmon rostratus* menempati urutan ke-3, 4 dan 5 ketajaman mata disebabkan nilai densitas sel kerucut sedangkan pola mosaik tidak teratur.

Data pada Tabel 5 tersebut memberi makna bahwa diameter lensa dan pola mosaik lebih berpengaruh dibandingkan dengan densitas sel kerucut pada mata ikan Kepe-kepe. Hal ini sesuai pendapat Shiobara (1998) yang menyatakan bahwa lensa mata lebih kuat pengaruhnya dibandingkan kepadatan sel kerucut. Selanjutnya, Blaxter (1980) menyatakan bahwa pola mosaik juga berperan dalam mempengaruhi ketajaman mata.



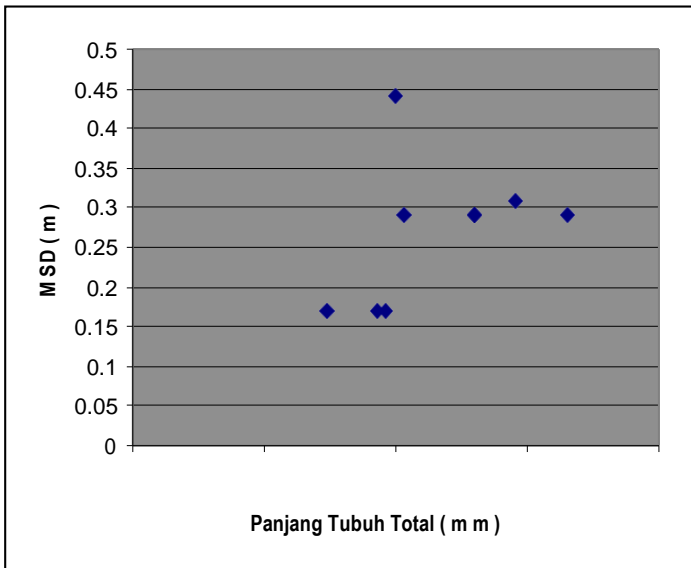
**5.6. Analisis Jarak Pandang Maksimum (*Maximum Sighting Distance*)**

Hasil perhitungan dengan menggunakan rumus Pythagoras dan nilai sudut pembeda terkecil (MSA) diperoleh data jarak pandang maksimum ke 5 jenis ikan Kepe-kepe seperti yang terdapat pada Tabel 12. Data Tabel 12 memberikan informasi bahwa jarak pandang maksimum (MSD) terjauh pada ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare* sp1) yakni 0.44 m, diikuti oleh ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula* sp1) 0.31 m dan ikan Kepe-kepe auriga (*C.auriga* sp2), ikan Kepe-kepe Palkula (*C.falkula* sp1 dan 2) dan ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula* sp2) masing-masing 0,22 m dan 0,29 m. Ikan Kepe-kepe Monyong (*C.rostratus* sp1 dan sp2) dan ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare* sp2) nilai masing-masing MSD adalah 0,17 m

Tabel 6. Jarak pandang maksimum (MSD) ikan Kepe-kepe (*Chaetodontidae*)

No.	Species Ikan Kepe	Total length (mm)	Diameter objek (mm)	mSD (m)
<b>1</b>	<i>C.lunula</i> (sP1)	145.0	50	0.31
<b>2</b>	<i>C.lunula</i> (sP2)	165.0	50	0.29
<b>3</b>	<i>C. auriga</i> (sp1)	100.0	50	0.22
<b>4</b>	<i>C. auriga</i> (sp2)	103.0	50	0.29
<b>5</b>	<i>C..collare</i> (sp1)	100.0	50	0.44
<b>6</b>	<i>C..collare</i> (sp2)	74.0	50	0.17
<b>7</b>	<i>Chelmon rostratus</i> (sp1)	96.0	50	0.17
<b>8</b>	<i>Chelmon rostratus</i> (sp2)	93.0	50	0.17
<b>9</b>	<i>C. falkula</i> (sp1)	130.0	50	0.29
<b>10</b>	<i>C. falkula</i> (sp1)	130.0	50	0.29

Ikan Kepe-kepe Kalong memiliki MSD tertinggi 0,44 m karena kepadatan sel kerucut paling tinggi 541/0,12 mm<sup>2</sup>, diameter lensa 4 mm, MSA terkecil 6,88 menit serta nilai ketajaman penglihatan (*visual acuity*) yang tertinggi yaitu 0,104. Faktor-faktor tersebut yang menyebabkan ikan Kepe-kepe Kalong memiliki jarak pandang maksimum terjauh (Gambar 30). Selain ikan Kepe-kepe Kalong, ada kecenderungan pertambahan panjang total meningkatkan angka jarak pandang maksimum (MSD) namun ketika mencapai ukuran 74-96 mm relatif sama yakni 0,17 m dan meningkat pada ukuran panjang tubuh total 103-165 nilai MSD relatif tidak jauh berbeda yakni 0,29-0,31 m.



Gambar 31. Hubungan panjang tubuh total (TL) dan jarak pandang maksimum ikan Kepe-kepe.

Disamping itu ditemukan juga data baru bahwa susunan sel kerucut ganda yang paling teratur dengan bentuk bujur sangkar adalah pada ikan Kepe Kalong (Gambar 22). Hal ini menyebabkan meningkatnya ketajaman penglihatan.

Data hasil MSD di atas tak dapat dibandingkan dengan ikan Cucut karena belum ada informasinya. Hal ini disebabkan pada ikan bertulang sejati penghitungan MSA, MSD, sumbu penglihatan dan ketajaman mata ikan ditentukan berdasarkan densitas sel kerucut, sementara ikan Cucut sedikit sekali memiliki sel kerucut.

Walaupun demikian berdasarkan penelitian Sillman (1996) dapat dilakukan pendekatan dengan menghitung kepadatan sel batang dan ukuran panjang sel batang. Sel batang tersebut sangat efektif memanfaatkan cahaya dan menentukan ketajaman penglihatan serta jarak pandang maksimum ikan Cucut.

Gambar 31. menggambarkan hubungan antara panjang tubuh total (TL) dan jarak pandang maksimum (MSD) ternyata ukuran panjang tubuh total meningkat cenderung meningkatkan nilai MSD kecuali pada ikan Kepe-kepe Kalong (*C.collare*) yang memiliki angka ketajaman mata tertinggi sehingga nilai MSD-nya juga paling tinggi. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan yang nyata antara MSD dan ketajaman mata. Ketajaman mata dipengaruhi oleh densitas sel kerucut, diameter lensa, sudut pembeda terkecil dan susunan atau pola mosaik sel kerucut yang terdapat pada retina mata ikan tersebut.

## 5.7. Kandungan Retinol dan Carotenoid Ikan Kepe-kepe Gajah

Berdasarkan hasil pengukuran secara spektrofotometri dari 5 ekor ikan Kepe-kepe Gajah (*C.lunula*) diperoleh kadar kandungan vitamin A (retinol) dan  $\beta$  Caroten seperti yang terdapat pada Tabel 13.

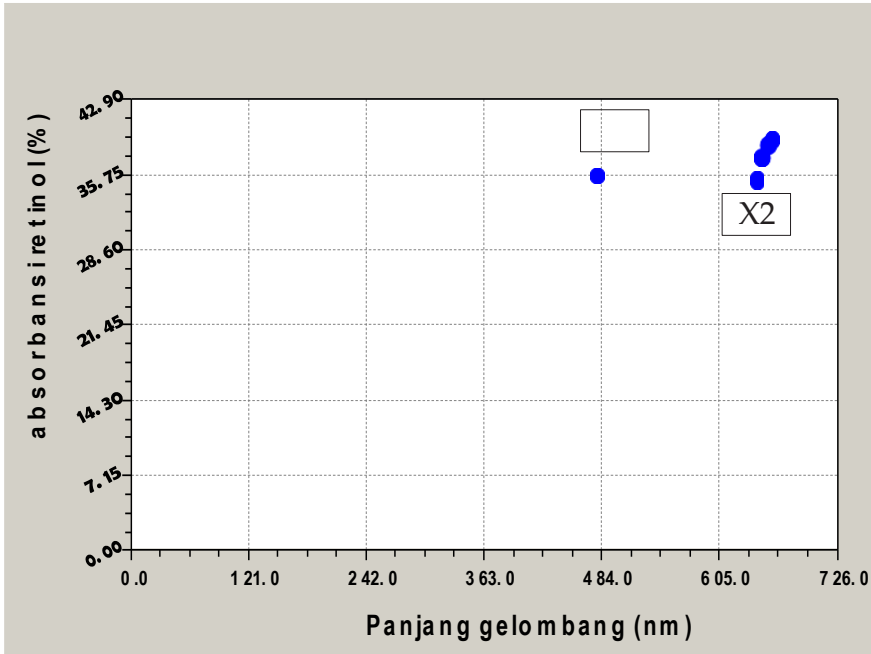
Tabel 13 Kadar Retinol dan Beta Caroten mata ikan *C.lunula*

No.	Spesies	Kadar Beta Caroten ( $\mu\text{g}$ )/100g	Kadar retinol rata-rata dari 5 ekor ikan (IU)
	<i>Chaetodon lunula</i>	8,1	152,2

Nilai rata-rata kandungan vitamin A mata ikan Kepe-kepe Gajah adalah 152,2 IU. IU adalah unit internasional, 1 IU sebanding dengan 0,6  $\mu\text{g}$ . Menurut Prawirokusumo (1991) 1 IU vitamin A sama dengan 0,3  $\mu\text{g}$  retinol, setara pula dengan 0,344  $\mu\text{g}$  retinol asetat (vitamin A yang lebih stabil).

Secara kimia vitamin A didefinisikan merupakan senyawa generik deskriptor dari senyawa yang memiliki aktifitas biologi seperti retinol. Senyawa ini memiliki 3 bentuk di alam yakni bentuk alkohol disebut retinol, bentuk aldehid disebut retinaldehid, bentuk asam disebut asam retinoat Combs.Jr (1992). Kandungan vitamin A pada mata ikan Kepe-kepe Gajah 152,2 IU tidak jauh berbeda dengan kadar normal vitamin A dalam darah manusia yang berjumlah 170 IU/100 ml sedangkan pada liver manusia 220 IU/gr (Prawirokusumo, 1991). Bila dikonversi dalam  $\mu\text{g}$  maka kadar retinol ikan Kepe-kepe 91,2  $\mu\text{g}$ /100 g sampel (Razak, 2005).

Gambar 32. memberikan informasi bahwa spektrum gelombang puncak yang diserap oleh retinol ikan Kepe-kepe adalah pada gelombang 480 nm dan 660 nm. Hal itu berarti ikan Kepe-kepe menyukai spektrum gelombang biru (480 nm) dan spektrum gelombang warna oranye (660 nm) yang berasal dari lingkungan tempat hidup ikan Kepe-kepe Gajah pada kedalaman 10-20 m. Gelombang oranye yang mampu dilihat mata ikan tersebut berguna sebagai media komunikasi dengan sesama jenisnya (Kaufman 2005).



Gambar 32. Grafik hubungan panjang gelombang dan absorbansi retinol ikan Kepe-kepe Gajah. Absorbansi tertinggi pada spektrum gelombang biru (480 nm; X1) dan spektrum gelombang warna oranye (660 nm; X2)

Hasil tersebut didukung oleh Gunarso (1988) yang menyatakan bahwa berkas cahaya terpanjang dari sinar merah pada umumnya tidak tembus pada kedalaman lebih dari 10 m. Kemudian disusul oleh cahaya oranye, kuning dan cahaya lain yang gelombangnya pendek seperti cahaya biru dan violet yang daya tembusnya lebih besar dibandingkan cahaya lainnya.

Selanjutnya Sillman *et al.* (1996) menambahkan bahwa perbedaan penyerapan gelombang pada pigmen penglihatan merupakan karakteristik khas dalam menyerap spektrum cahaya (*peak sensitivities*). Kemampuan penyerapan gelombang cahaya bervariasi mulai dari 320 nm sampai berkisar 640 nm. Variasi

tersebut disebabkan oleh opsin dari pigmen penglihatan. Tabel 14 menyajikan data sumber makanan dan kandungan retinolnya sebagai perbandingan terhadap kadar retinol mata ikan Kepe-kepe Gajah. Berdasarkan perbandingan dengan data retinol Tabel 5 dan 6 ternyata kadar retinol ikan Kepe-kepe masih lebih tinggi dibandingkan dengan ikan Herring dan susu masing-masing 45 dan 30  $\mu\text{g}$  retinol/100 g sampel. Proses penglihatan ikan seperti pada ikan Kepe-kepe memerlukan vitamin A atau retinol karena setiap kali mata bekerja melihat objek yang ada dengan mekanisme yang kompleks, vitamin A dilepaskan agar mampu memberikan impuls yang selanjutnya diterima oleh sel saraf ke otak untuk diterjemahkan dan otak memerintahkan anggota tubuh atau organ meresponnya yang diwujudkan dalam bentuk tingkah laku.

Tabel 6. Kandungan Retinol beberapa bahan makanan (Gaman dan Sherington, 1990).

No.	Bahan makanan	Kandungan retinol ( $\mu\text{g}$ retinol ekuivalen/100 g)
1.	Minyak hati ikan Halibut	900.000
2.	Minyak hati ikan Cod	18.000
3.	Hati Sapi	16.500
4.	Margarin	900
5.	Butter	825
6.	Keju (Cheddar)	350
7.	Telur	140
8.	Ikan Herring	45
9.	Susu	30

Vitamin A dikonversi dari beta karoten (Gambar 51). Beta karoten adalah bahan dasar dari vitamin A. Kadar beta caroten pada mata ikan Kepe-kepe adalah 8,1  $\mu\text{g}$ /100 g. Menurut Anonim (2003) pada ikan budidaya secara fisiologi ikan memerlukan 10 ppm catenoid dalam makanannya. Hal tersebut menunjukkan bahwa carotenoid

merupakan zat makanan essensial, tidak hanya untuk pigmen tetapi lebih jauh berguna pada saat pertumbuhan yang krusial. Disamping itu, carotenoid harus ada dalam diet agar tetap hidup. Pernyataan di atas didukung Anderson (2000) yang mengatakan bahwa carotenoid merupakan senyawa yang larut pada lemak dan mendominasi pembentukan warna kuning sampai merah sebagai mekanisme pertahanan yang sangat penting bagi kelangsungan hidup ikan seperti halnya pada ikan hias karang termasuk ikan Kepe-kepe.

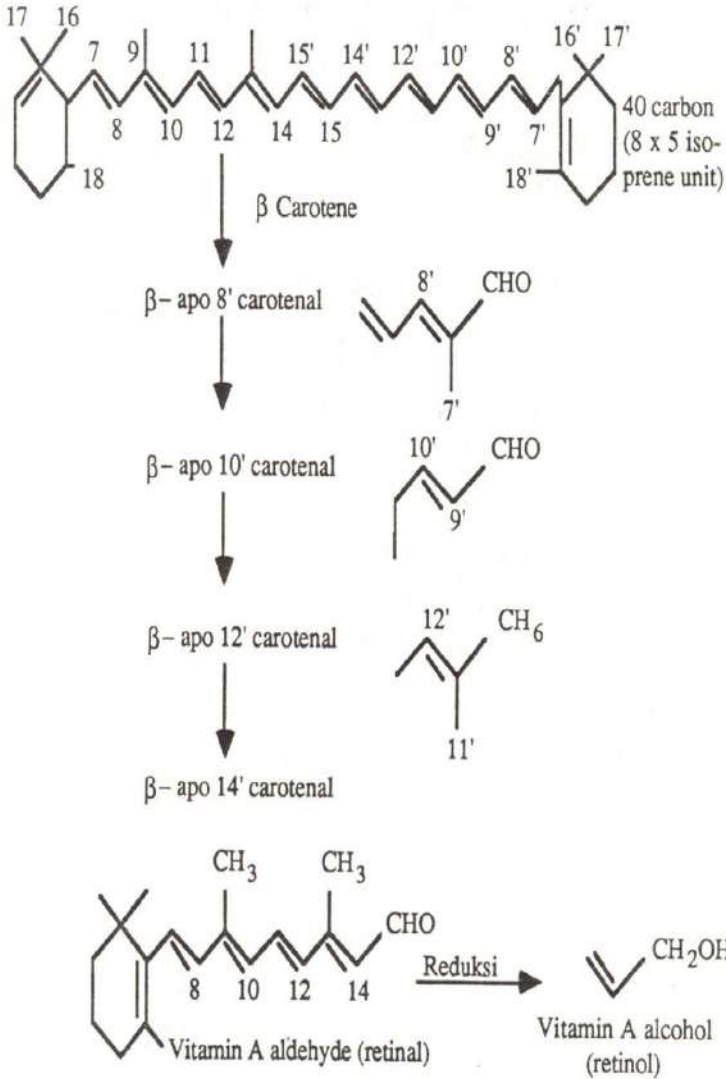
Dari uraian pembahasan di atas, mulai struktur mata secara umum, lensa mata dan hubungannya dengan panjang tubuh standar, jenis/tipe, pola mosaik dan densitas sel kerucut, dilanjutkan dengan pembahasan sumbu penglihatan, ketajaman mata dan jarak pandang maksimum sampai ke retinol dan beta karoten sebagai penyusun pigmen pada retina ikan Kepe-kepe mengarahkan pada sasaran bahwa adaptasi ekologi mata ikan sangat penting dalam rangka mekanisme bertahan secara efektif dari predator.

Dengan kata lain, predasi merupakan interaksi yang sangat penting bagi komunitas ikan Kepe-kepe. Hal ini didukung oleh Balon (1989) yang mengungkapkan bahwa kemungkinan besar predasi adalah sumber utama penyebab kematian ikan Kepe-kepe setelah masa rekrutmen.

Walaupun ikan Kepe-kepe yang dewasa dengan ukuran tubuh 100-260 mm mampu mengurangi tingkat predasi. Ukuran ikan Kepe-kepe yang ditemukan secara umum adalah dengan ukuran 70-195 mm. Hasil dari penelitian ini memperkuat pernyataan Balon (1989) di atas bahwa predasi diduga kuat sebagai sumber utama kematian ikan Kepe-kepe.

Berkaitan dengan hal itu, ikan Kepe-kepe mengembangkan adaptasi ekologi pada matanya mulai dari struktur mata, lensa, fotoreseptor sampai pigmen untuk mengatasi masalah predator sebagai penyebab kematian utama dalam interaksi ekologi yang kompleks di perairan terumbu karang.





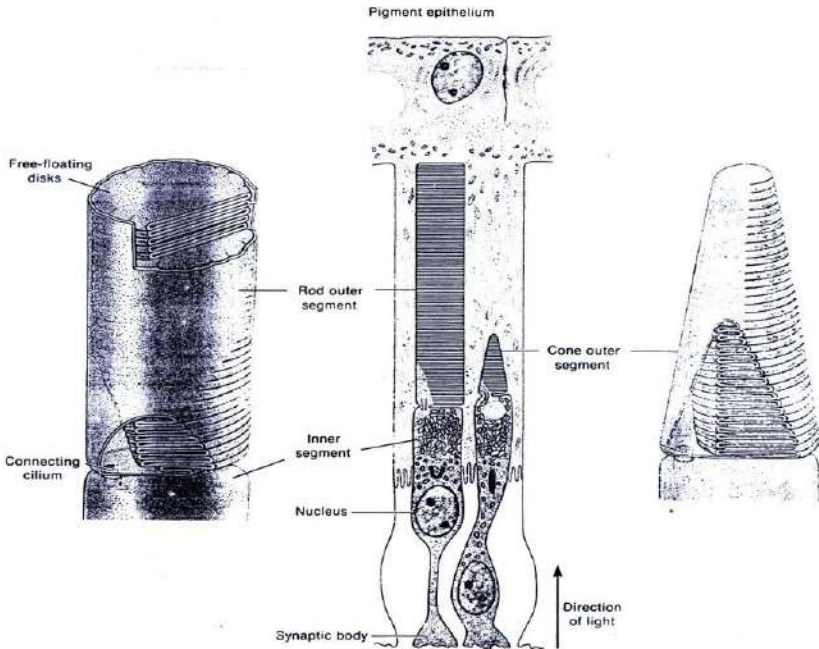
Gambar 33. Tahapan konversi caroten menjadi vitamin A (Prawirosuharto, 1991).



## VI. FOTORESEPTOR IKAN PELAGIS

### 6.1. Struktur Fotoreseptor dan Jenisnya

Indera penglihatan ikan mengalami evolusi organik sejak 5 juta tahun yang lalu. Sistem indera penglihatan pada ikan sangat menarik untuk diilustrasikan karena telah mengalami adaptasi maksimal dalam rangka mendeteksi dan mengenali objek yang penting (Evans (ed), 1993). Penelitian-penelitian yang telah dilakukan selama lebih dari 20 tahun terakhir memberikan banyak informasi.



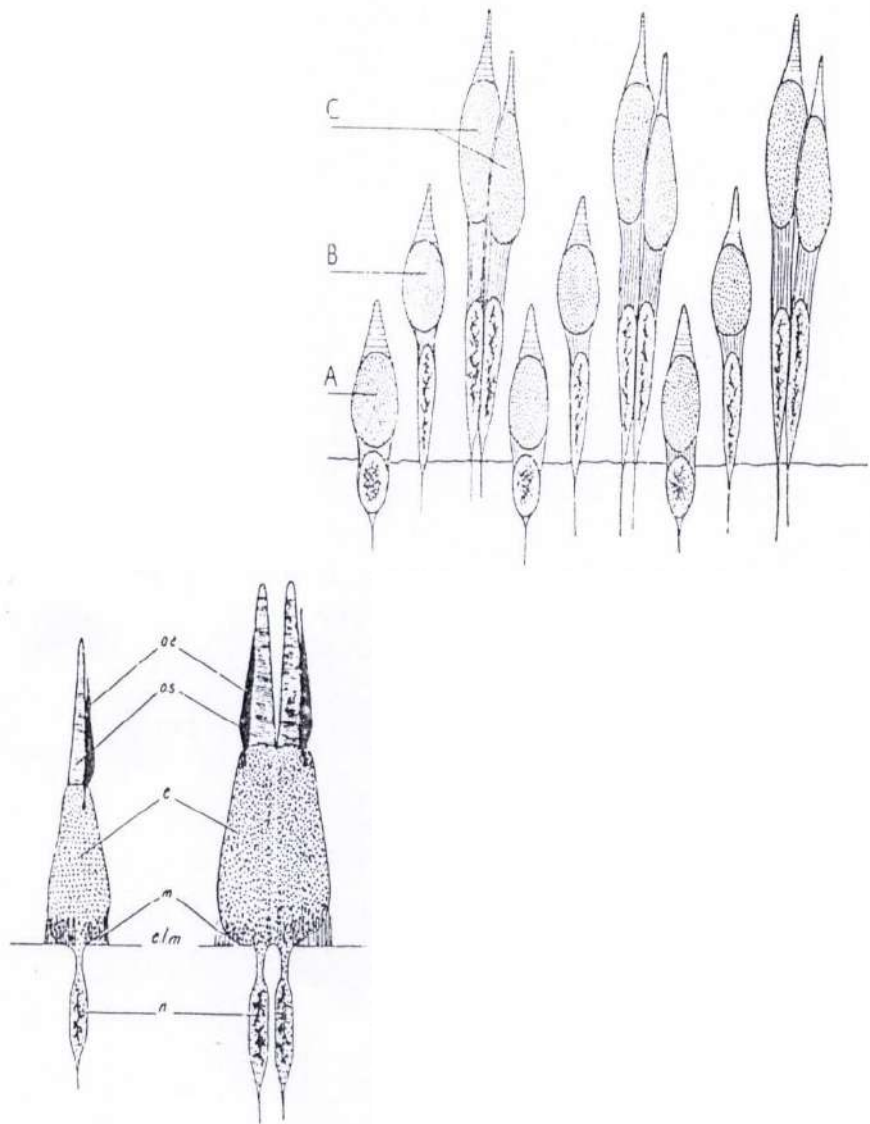
Gambar 34. Struktur fotoreseptor (sel kerucut dan sel batang) pada mata ikan (Eckert and Randall, 1988)

Fotoreseptor terdapat pada retina yang merupakan komponen vital bagi sistem penglihatan pada vertebrata termasuk mata ikan. Retina bervariasi karena dipengaruhi keragaman habitat, tekanan, intensitas cahaya dan spektrum cahaya yang sampai pada lingkungan perairan (Razak *et al.*, 2005).

Selanjutnya, Fujaya (2000) menjelaskan bahwa perbedaan tekanan akibat meningkatnya kedalaman menyebabkan : 1) perbedaan ketebalan retina, 2) perbedaan sub jenis sel retina, khususnya fotoreseptor dan 3) spesialisasi wilayah sel kerucut dan sel batang. Pendapat ini sesuai dengan pengamatan penulis pada ikan karang *Chaetodon lunula* yang hidup pada kedalaman 20 m, dimana pada lapisan retinanya lebih tebal dibandingkan ikan karang lainnya hidup pada kedalaman 3-10 meter.

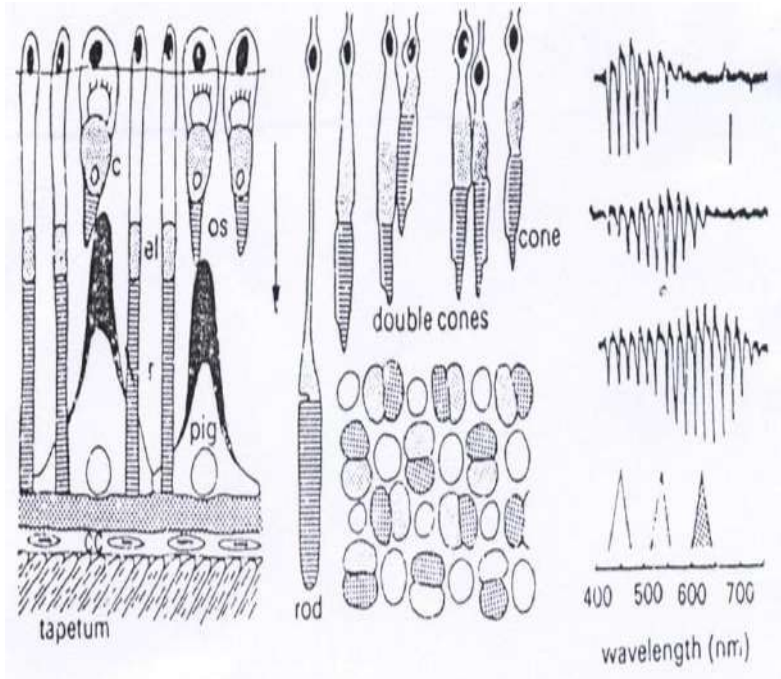
Fotoreseptor adalah komponen vital pada organisme baik hewan maupun tumbuhan yang memiliki fungsi yang luas. Fungsi fotoreseptor menyerap energi cahaya fotosintesis, fototropism, fotoproteksi pada tumbuhan dan lain sebagainya. Fotoreseptor adalah sel-sel yang memiliki pigment yang sensitif dalam menangkap energi cahaya (foton) yang selanjutnya energi tersebut diubah menjadi energi kimia atau energi listrik untuk berbagai proses metabolisme yang terdapat di bagian tubuh tertentu pada hewan dan tumbuhan. Pada mata vertebrata termasuk ikan fotoreseptor terdiri dari dua jenis yakni sel kerucut (*cone cell*) dan sel batang (*rod cell*). dan sel batang berfungsi untuk penglihatan saat gelap (*visual scotopic*)(Razak *et al.*, 2005).





Gambar 35. Kiri A) Elemen fotoreseptor ikan bertulang sejati, B) sel batang, C) sel kerucut ganda . Kanan. oe (elemen asesori), os (outer element), e (elipsoid) m. ( otot myoid), elm (membran limitans eksternal), n (nukleus) (Harder, 1984).

Sel Sel kerucut berfungsi sebagai penglihatan pada cahaya terang (*visual photopic*) kerucut disamping untuk penglihatan terang juga berfungsi untuk membedakan panjang gelombang tertentu (Takasima dan Hibiya, 1995 dan Fernald, 1992).



Gambar 36. Struktur retina dan fungsinya pada Actinopterygia (Bone and Marshall, 1982).

Kemampuan fotoreseptor mata menerima dan menyerap cahaya disebabkan oleh adanya pigmen visual yaitu bahan yang sensitive terhadap cahaya yang tersusun atas kromofor vitamin A atau ligan (senyawa kompleks) sebuah protein atau opsin yang berhubungan dengan base Schiff. Perbedaan pigmen penglihatan merupakan karakteristik dari kemampuan untuk menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang cahaya maksimal (*peak sensitivities*).

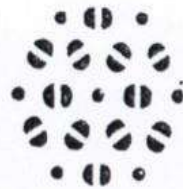
A



Scomber



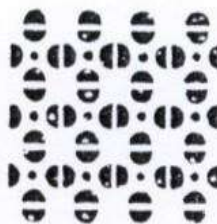
Brachydanio



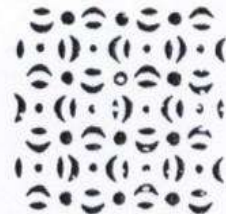
Esox



Nannacara



Nannostomus



Poecilia

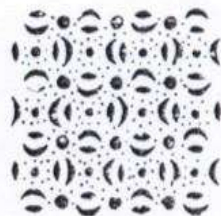
B



Nannacara



Cichlasoma

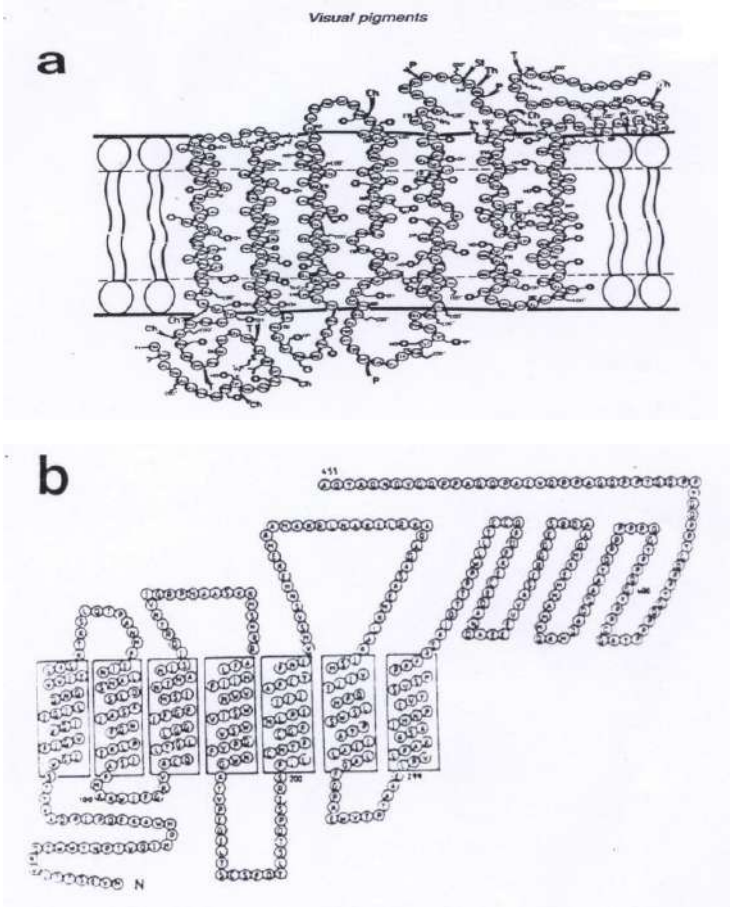


Poecilia

Gambar 36. Mosaik sel kerucut pada beberapa jenis ikan yang menunjukkan jenis kerucut tunggal (*single cone*), sel kerucut ganda ekuwal (*twin cone*) dan sel kerucut ganda non ekuwal (*double cone*) (Harder, 1984).



Walaupun dasar struktur molekul pigmen penglihatan sama, namun kemampuan menyerap panjang gelombang maksimal bervariasi mulai dari ultraviolet (320 nm) sampai berkisar 640 nm. Variasi penyerapan gelombang tersebut disebabkan oleh variasi untaian asam amino pada bagian opsin dari pigmen penglihatan (Sillman *et al.*, 1996).



Gambar 37. a.) Model struktur opsin sapi dan b.) opsin Octopus (gurita)



Selanjutnya Herring *et al.*, (1990) menyatakan bahwa sejak tahun 1950-an telah luas diketahui bahwa ada tiga jenis pigmen yang terdapat pada fotoreseptor hewan. Rhodopsin ditemukan pada manusia dan hewan darat dengan kemampuan maksimal penyerapan gelombang 500 nm. Kedua, porphyropsin, pigmen yang mampu maksimal pada 520 nm. Pigmen ini ditemukan pada ikan laut dan ikan air tawar. Rhodopsin memiliki base vitamin A1, sedangkan porphyropsin memiliki base vitamin A2. Pigmen ketiga yang ditemukan di akhir tahun 1950-an adalah chrysopsin yang berwarna keemasan yang terdapat pada sel batang ikan laut dalam.

## 6.2. Fotoreseptor Ikan Pelagis

Ikan pelagis hidup teradaptasi dengan baik dalam habitat perairan samudera yang terbuka dan sangat luas. Pada kondisi dimana tanpa ada rintangan dan tanpa adanya pendukung substrat. Pola-pola adaptasi dan perilaku ikan pelagis nyata sekali merupakan hasil respon terhadap habitat dengan tujuan agar tetap *survive*.

Perkembangan progresif dalam adaptasi ikan pelagis dalam hal keahlian berenang cepat untuk menghindari predator, tubuh tetap terapung dan untuk mendapatkan makanan. Kombinasi tiga dimensi dan tak adanya rintangan, ikan pelagis mengembangkan evolusi adaptasi dalam bentuk mobilitas yang tinggi. Mobilitas tinggi dengan menempuh jarak yang jauh berenang secara horizontal (migrasi) sejalan dengan berkembangnya sistem saraf dan indera. Sistem saraf dan indera diperlukan untuk menjelajah ruang kolom air, mendapatkan makanan, bereproduksi serta menghindari predator (Suwarso, 2001).

Tabel 7. Karakteristik Fotoreseptor Ikan Pelagis

No.	Karakteristik Fotoreseptor	Tipe Sel Kerucut dominan	Pemusatan sel Kerucut	Ketajaman Penglihatan	Kisaran Absorpsi Gelombang (nm)
	Ikan Pelagis				
	Famili Scomberidae				
1.	Yellowfintuna	ganda	ventral	0.491	458
2.	Blurfim tuna	ganda	dorsal	0.280	492
3	Big eye tuna	ganda	dorsal	0.440	492
4	Black marlin	ganda	dorsal	0.370	492
5.	Pacific Blue Marlin	ganda	VENTRAL	0.41	492
6.	Striped marlin	ganda	DoRSAL	0.36	492
7.	E. affinis	ganda	temporal	0.05-0.07	-
8	A.chacunda	ganda	temporal	0.0491-0.0513	-

Bukti yang menunjukkan bahwa ikan pelagis seperti tuna, marlin, dan jenis lainnya dari famili Scomberidae memiliki sistem saraf dan indera yang cukup baik terungkap dengan melihat struktur otak sebagai pusat system saraf yang mencerminkan perkembangan indera. Sebagai contoh pada ikan tuna dan marlin, pada bagian *lobus opticus* atau *tectum optic* ukurannya relatif berkembang. Ini merupakan refleksi indera penglihatan yang cukup baik. Menurut Kawamura *et al.*, (1981) susunan sel kerucut ikan tuna berupa sel kerucut ganda yang membentuk mosaik yang teratur. Hal yang sama juga ditemukan pada ikan marlin. Pola mosaik sel kerucut merupakan refleksi penglihatan yang sangat baik. Pola mosaik dipercaya sebagai pengembangan persepsi (melihat benda) sambil bergerak dengan kecepatan tinggi (Lyll (1957) dalam Kawamura *et al.*, 1981). Pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian Umar *et al.*, (2003) juga mendukung pendapat di atas, dimana fotoreseptor ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) yang terdiri dari sel kerucut ganda





berpola mosaik.

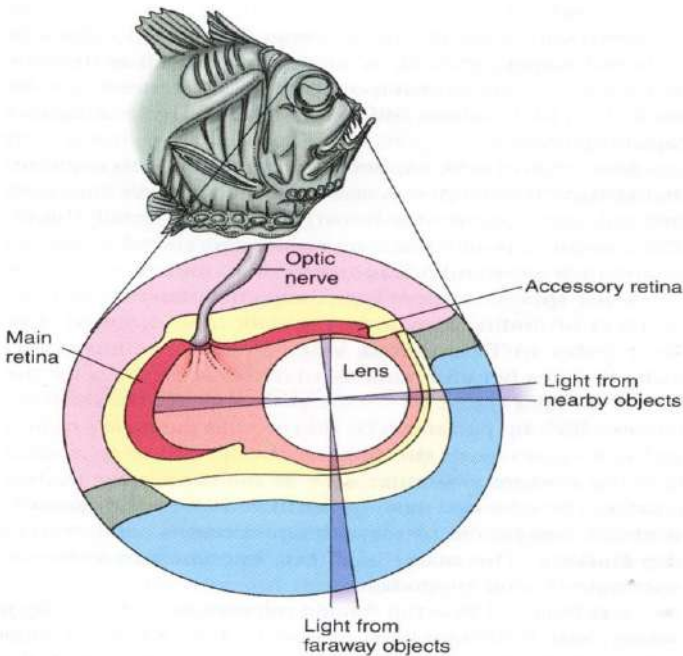
Selanjutnya pada ikan pelagis lain seperti pada ikan Juwi (*Anadontostoma chacunda*) dari hasil penelitian Dian *et al.*, (2002) diketahui bahwa fotoreseptornya berupa sel kerucut ganda (*twin cone*) yang juga berpola mosaik, sedang sel batang (*rod cell*) tidak ditemukan. Adanya kesamaan yakni sel kerucut ganda pada ikan pelagis terutama dari famili Scomberidae menunjukkan bahwa fotoreseptornya sensitif atau peka terhadap cahaya dan memiliki ketajaman penglihatan yang cukup baik. Ketajaman penglihatan ikan kelompok tuna masing-masingnya adalah *yellowfin* tuna (0.491), *big eye* tuna (0.440), tuna *albacore* (0.490) *black marlin* (0.370) dan Bluefin tuna (0.28), sedangkan *A.chacunda* (0.0491-0.0513) (Kawamura, 1981; Dian *et al.*, 2002; Alatas *et al.*, 2003).



## VII. FOTORESEPTOR IKAN LAUT DALAM

### 7.1. Fotoreseptor Ikan Laut dalam

Ikan laut dalam adalah ikan yang hidup pada kedalaman lebih dari 200 meter, dimana cahaya matahari yang sampai sangat sedikit. Ikan laut dalam menghadapi 3 masalah utama pada habitatnya. Masalah utama tersebut adalah cahaya, suhu dan tekanan Karleskint, Jr.(2003).



Gambar 38. Struktur mata ikan laut dalam (Karleskint, Jr.,2003).

Pada perairan laut terbuka dengan kedalaman lebih dari 200 m spektrum cahaya yang dominan adalah warna biru dengan komposisi spektrum cahaya yang nyaris konstan. Fotoreseptor pada mata ikan laut dalam mengalami adaptasi yang khas sesuai dengan habitatnya. Menurut Takashima dan Hibiya (1995) fotoreseptor pada beberapa jenis ikan laut dalam hanya terdiri dari sel batang (*rod cells*). Hal ini sesuai pernyataan Herring *et al.*, (1990) bahwa pigmen penglihatan ikan yang terdapat pada sel batang ikan laut dalam memiliki kemampuan menyerap gelombang 480 nm hal ini sesuai dengan penetrasi cahaya terbaik yang mampu mencapai kedalaman lebih dari 200m yakni spektrum gelombang warna biru. Pigmen pada mata ikan laut dalam disebut chrysopsin sesuai dengan warnanya yakni warna keemasan.

## 7.2. Jenis Fotoreseptor Ikan Laut Dalam

Fotoreseptor yang dominan pada ikan laut dalam adalah sel batang. Panjang sel batang mencapai 100  $\mu\text{m}$ , dan bentuknya sangat pipih (lihat Gambar 3). Sementara panjang sel batang manusia hanya 26  $\mu\text{m}$ . Bentuk retina, pigmen pada sel batang yang panjang dan pipih merupakan indikasi adaptasi mata ikan laut dalam terhadap masalah minimnya cahaya yang masuk ke dalam habitatnya.

Selanjutnya, Herring *et al.*, (1990) menyatakan bahwa pada beberapa jenis ikan laut dalam juga ditemukan pigmen pada bagian tapetum lucidum yang berfungsi sebagai *reflector* sehingga cahaya yang sangat minim dapat optimal digunakan untuk penglihatan. Disamping itu, pada ikan laut dalam memiliki kemampuan untuk membedakan warna. Kemampuan ini disebabkan ditemukannya lebih dari satu jenis pigmen.

Bentuk ikan laut dalam umumnya mengerikan. Ikan yang mungkin paling mengerikan adalah ikan *fangtooths*. Ikan ini mungkin bisa memakan kambing dalam waktu kurang dari satu menit.

Ikan *fangtooths* tinggal jauh di kedalaman laut, perairan gelap sekitar 3.000 hingga 16.000 kaki dalamnya. Ia memiliki gigi paling

besar di antara ikan lain yang seukuran dengannya. Ikan *fangtooths* biasanya memakan ikan lainnya dan relatif tidak berbahaya bagi manusia. Ia berbeda dengan hiu, yang kadang-kadang bingung membedakan manusia dengan mangsanya.



Gambar 39. Ikan laut dalam (Fangtooths) ([www.gangsadar.com](http://www.gangsadar.com))

Ikan laut dalam memiliki mata yang unik dengan pigmen yang peka terhadap cahaya. Seperti pada ikan laut dalam *Bathylagus bericoides* yang memiliki dua jenis pigmen pada sel batang yang berbeda (Partridge *et al.*, 1988). Hal yang senada juga diungkapkan oleh Bowmaker *et al.*, (1988) **dalam** Herring *et al.*, (1990) yang menemukan system *rhodopsin-porphyrpsin* pada tiga spesies ikan laut dalam yakni : *Aristosmias grimaldi*, *Malacosteus niger* dan *Pachytomias microdon*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Carlson, N.R. 1994. *Physiology Behaviour*. Fifth Edition. Allyn and Bacon. Boston London Toronto Sydney Tokyo Singapore
- Cromer, A.H. 1994. *Fisika untuk Ilmu-Ilmu Hayati*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Eckert, R. and D. Randall, 1988. *Animal Physiology. Mechanism and Adaptations*. W.H. Freeman and Company. New York.
- Evans, D.H. (ed), 1993. *The Physiology of Fishes*. CRC Press. Boca Rotan. Ann Arbor. London. Tokyo.
- Fernald, R. 1988. Aquatic Adaptations in fish eyes. In " *Sensory Biology of Aquatic Animals*" (J. Atema, R.R. Fay, A.N. Popper, and W.N. Tavolga, eds). pp.435-466. Springer-Verlag, New York
- Fernald, R. 1992. Vision. In *The Physiology of Fishes* Ed. By David H. Evans. CRC Press, London
- Fujaya, Y. 2002. *Fisiologi Ikan. Dasar Pengembangan Teknologi Perikanan. Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional*

- Gunarso, W. 1985. Diktat Mata Kuliah Tingkah Laku Ikan. Jur. PSP.Faperikan.IPB [http:// www.vision/Lund](http://www.vision/Lund) University, Photoreseptor Optics. R.Kruger. Lund University . 2001 <http://www.gangsadar.com/foto> ikan laut dalam. Karlenskint,Jr.2005. Marine Biology.
- Levine , J.S. and MacNichol, E.F. (1979). Visual Pigmentsin Teleost Fishes : Effect of Habitat, Microhabitat and Behaviour on visual System Evolustion. Sens Process 3, 95-131. *In* Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo, Toronto
- Loew, E.R. and J.N. Lytgoe, 1978. The Ecology of Cone Pigments in Teleost Fishes. *Vision Res*, 18, 715-722 . *In* Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo, Toronto
- Lythgoe, J.N. 1966. Underwater Vision.. *In* British Sub-Aqua Club Diving Manual, 2<sup>nd</sup>. Ed. Eaton London, England. *In* Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo, Toronto
- Lythgoe, J.N. 1979. The Ecology of Vision .Oxford Sci.Publ.Oxford. England. *In* Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. TOKYO, TORONTO





- Mc Farland, 1990. Light in The Sea- The Optical world of Elasmobranchs. J. exp.Zoo.Suppl. 5, 3-12. In Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo, Toronto
- Mubarak, H.A. 2003. Pengaruh Warna Cahaya yang Berbeda Terhadap Tingkah Laku Berkumpul Juvenil Ikan Kerapu Tikus (*Cromileptes altivalis*)
- Munz, F.W. and W.N.McFarland, 1973. The Significance of Spectral Position in The Rhodopsin of Tropical Marine Fishes, Vision Res, 13. 1829-1874. . In Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo, Toronto
- Munz, F.W. and W.N.McFarland, 1975. Part I: Preasumptive Cone Pigments Extracted from Tropical Marine Fishes, Vision Res, 15, 1045-1062 In Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo. Toronto.
- Partridge ,J.C. The Colour Sensitivity and Vision of Fishes *in* Herring, P.J. A.K. Campbell, M.Whitfield and L.Maddock (ed), 1990 Light and Life in The Sea. Cambridge UNIVERSITY PRESS. LONDON 1997.
- Razak, A.2005. Adaptasi Ekologi Mata Ikan Kepe-Kepe (Chaetodontidae) dan Responnya Terhadap Racun Potas (KCN).Disertasi. Sekolah Pascasarjanam IPB, 2005 (Tidak dipublikasikan),
- Razak, A. K. Anwar, M.S.Baskoro, 2005.Fisiologi Mata Ikan. Penerbit Departemen PSP FPIK IPB Bogor.

Sale, P.F.(ed), 1991. The Ecology of Fishes on Coral Reefs. Academic Press, Inc. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokyo, Toronto



Sillman, A.J. G.A. Letsinger, S.Patel, E.R. Loew. 1996. Visual Pigments and Photoreceptors in Two Species of Shark, *Triakis semifasciata* and *Mustelus henlei*. The Journal Experimental Zoology 276: 1-10

Takashima, F and T.Hibiya, 1995. An Atlas of Fish Histology. (Normal and Pathological Features). Kodansha Ltd. Tokyo.

## BIODATA PENULIS

### **Dr.Abdul Razak, MSi.**

Penulis saat ini bertugas di Jurusan Biologi FMIPA dan Program Pascasarjana UNP sebagai Staf pengajar. Penulis dilahirkan pada 22 Maret 1971, anak pertama dari 7 orang bersaudara, dari Ayahanda Drs.Muhammad Raini dan Ibunda Aisyah Tanjung. Pendidikan Sarjana di tempuh sejak 1989 dan selesai pada tahun 1994 sebagai sarjana Biologi dari Jurusan Biologi FMIPA Universitas Andalas. Saat menempuh pendidikan sarjana sudah menjadi guru privat dan trainer sejak tahun 1992. Pada tahun 1995 diangkat sebagai manajer lembaga pendidikan informal. Tahun 1996 diangkat menjadi manajer BMT Nurul Islam Asratek Padang. Akhir tahun 1996 diangkat menjadi Guru Biologi dan Kepala Tata Usaha SMU PMT.Hamka sampai akhir tahun 1997. Pada tahun 1998 diangkat sebagai Dosen pada Jurusan Biologi FMIPA UNP. Selanjutnya, pada awal September tahun 1999 setelah 3 semester mengajar melanjutkan pendidikan S-2 di PPs. Institut Pertanian Bogor dan selesai tahun 2002. Sejak 1 September 2002 melanjutkan pendidikan Doktor (S-3) pada program studi Ilmu Kelautan pada Konsentrasi Biologi Laut dan selesai meraih gelar Doktor Biologi Laut pada 29 September 2005. Terhitung 1 Januari 2006 kembali ke bertugas di Jurusan Biologi FMIPA dan PPs.Universitas Negeri Padang. Saat ini penulis sudah menulis 2 buah buku, membuat alat pres santan dan menulis lebih dari 50 makalah poster, pada seminar nasional dan seminar Internasional serta beberapa buah buku ajar, penuntun praktikum dan bahan ajar *e-learning* pada program *International Teaching English* (ISTE/PPGMIPABI) di FMIPA UNP. Penulis saat ini menjabat sebagai Ketua Program Studi (S2) Magister Ilmu Lingkungan UNP, jabatan fungsional sebagai Lektor Kepala dan Dosen yang telah lulus sertifikasi.

