

## MEKANISME DAN DAYA RENANG IKAN

oleh

**M. Natsir Nessa<sup>1)</sup>**

### ABSTRACT

MECHANISM AND POWER OF THE FISH SWIMMING. *The study of the fish swimming was firstly conducted by ARISTOTLE. Until nineteenth century the BORELLI theory on the fish swimming was still accepted This theory mentioned that the caudal fin vibration was the main source that cause the fish movement The more advanced theory of MAREY showed that the fundamental mechanism of the fish movement is not only due to caudal fin vibration, but is also due to the overall body vibration that form the multidimensional sinous curve. There are two theories explaining the power that influence the fish swimming i.e. the recoil and large amplitude elongated body theory. In this paper, both theories were explained in detail. This knowledge has a wide application in the field of ichthyology and fisheries.*

### PENDAHULUAN

Ikan seperti organisme lainnya, memerlukan pergerakan untuk mempertahankan eksistensi hidupnya. Menurut LAGLER *et al.* (1977) pergerakan tersebut ditujukan untuk mencari makanan, memijah, menyerang dan mempertahankan diri dari musuhnya. Pergerakan tersebut dapat pasif atau aktif. Pergerakan aktif pada ikan pada umumnya dilakukan dengan berenang.

Menurut NURSALL (1979) studi mengenai renang ikan telah dimulai dikemukakan oleh ARISTOTELES, tetapi studi secara menyeluruh baru dilakukan oleh BORELLI pada tahun 1734 yang teorinya berlaku umum sampai pada abad sembilanbelas. Teori BORELLI ditentang oleh PETTIGREW dan MAREY yang didasarkan atas serangkaian percobaan-percobaannya. Hasil penelitian MAREY inilah yang mendasari studi mengenai renang ikan seperti yang dilakukan oleh HOUSSAY, MAGNAN, BREDDER dan GREY (NURSALL 1979).

Perkembangan studi mengenai renang ikan tidak hanya dilihat dari ikannya saja, tetapi mencakup interaksi dengan hidrodina-

mika mediumnya. Perkembangan teknologi dan cabang ilmu pengetahuan lainnya, menyebabkan studi mengenai renang ikan juga semakin maju. Dewasa ini gerakan renang ikan telah banyak dikemukakan secara kuantitatif, seperti yang dikemukakan oleh LIGHTHILL (1977), dan WARDLE & REID (1977).

Pengetahuan mengenai gerakan renang ikan secara kuantitatif menurut LIGHTHILL (1977) memberikan keuntungan bagi bidang zoologi (ikhtiologi) dan perikanan. Dalam bidang zoologi dapat meningkatkan pengertian antara hubungan morfologi ikan dengan kemampuan renang ikan, sedang di bidang perikanan dapat meningkatkan pengetahuan mengenai kemampuan ikan menghindari dari penangkapan. Beberapa penulis lainnya mengemukakan adanya hubungan yang erat antara aktivitas renang dengan aktivitas fisiologis seperti penggunaan energi, konsumsi oksigen dan suhu badan (LAGLER *et al.* 1977, BRETT 1979, PRITCHARD 1979). Hal ini menunjukkan bahwa pengetahuan mengenai aktivitas renang ikan dapat memberikan aplikasi yang lebih luas baik di bidang zoologi maupun di bidang perikanan.

1) Jurusan Perikanan, Fakultas Peternakan - Universitas Hasanuddin, Ujung Pandang.

## ANALISIS MEKANISME GERAKAN RENANG IKAN

### 1. Mekanisme Dasar Pergerakan Renang Ikan

Menurut NURSALL (1979) studi mengenai mekanisme pergerakan renang ikan telah dikemukakan oleh ARISTOTELES. Pergerakan ikan terutama disebabkan oleh skip berpasangan, pergerakan sirip ekor dan kelenjuran tubuh bagi ikan-ikan yang tidak memiliki sirip berpasangan. Tetapi studi secara menyeluruh mengenai mekanisme pergerakan renang ikan pertama-tama dilakukan oleh BORELLI pada tahun 1734 dimana disimpulkan bahwa getaran langsung dari sirip ekorlah yang menyebabkan pergerakan renang ikan, bukannya sirip-sirip lainnya. Sedang ekspansi dan kontraksi dari gelembung renang berfungsi untuk mengatur keseimbangan dan berat jenis ikan dalam air.

Teori dari BORELLI ini bertahan sampai abad XIX dan baru ditolak setelah adanya eksperimen-eksperimen yang dilakukan oleh PETTIGREW dalam tahun 1873 dan MEREY dalam tahun 1895 yang menunjukkan bahwa mekanisme dasar pergerakan ikan bukan hanya disebabkan oleh getaran (kibasan) ekor, tetapi pergerakan tersebut disebabkan oleh pergerakan tubuh secara keseluruhan yang membentuk kurva berkelok-kelok beberapa dimensi. Teori inilah yang mendasari penelitian-penelitian selanjutnya mengenai mekanisme pergerakan renang ikan sampai dewasa ini (NURSALL 1979).

Studi intensif mengenai mekanisme gerakan renang ikan telah dilakukan oleh GREY (dalam NURSALL 1979), dimana dari serangkaian percobaannya dapat dijabarkan secara detail mengenai gaya pergerakan renang ikan. Dari percobaannya terhadap beberapa jenis disimpulkan bahwa pola dasar pergerakan renang ikan sama pada semua ikan, hal ini dibuktikan secara empiris pada ikan sidat (*Anguilla vulgaris*) dari golongan Anguillaform dan jenis ikan cod (*Gadus merlangus*) dari golongan Carangiform. Namun

demikian, karena perbedaan bentuk tubuh menyebabkan pola mekanisme terlebih jelas terlihat pada ikan sidat; sehingga untuk menggambarkan secara jelas mekanisme dasar pergerakan renang ikan, GREY menggunakan ikan sidat.

Menurut GREY (dalam NURSALL 1979) ada dua karakteristik utama dalam mekanisme dasar pergerakan renang ikan, yaitu:

1. Gerakan kontralatelal, yaitu berupa gelombang *metachronal* yang berawal dari ekor bagian belakang dengan peningkatan amplitudo yang semakin membesar ke depan. Gerakan tersebut disebabkan oleh serangkaian kontraksi urat daging (*myomere*).
2. Lintasan gerakan tubuh secara transversal yang timbul akibat gerakan tersebut di atas dan ini akan menimbulkan daya tolak. Daya tolak tersebut dapat digambarkan akibat terbentuknya suatu sudut antara bagian-bagian tubuh yang bergerak dengan arah lintasan pergerakan ikan tersebut. Sudut-sudut ini bervariasi besarnya, dimana maksimum pada saat bagian tubuh terjauh dari poros lintasan gerakan dan minimum pada saat memotong poros lintasan gerakan. Selain kecepatan pergerakan tubuh ikan dari samping ke samping memotong poros lintasan kecepatannya juga bervariasi. Kecepatan tersebut minimum pada saat posisi terjauh dari poros pergerakan dan maksimum pada saat memotong poros lintasan gerakan maju ikan. Besarnya daya tolak yang timbul tergantung dari besarnya sudut yang terbentuk (sudut  $\alpha$ ) dan kecepatan bagian tubuh melalui poros lintasan pergerakan maju. Daya tolak maksimum pada saat bagian-bagian tubuh melalui poros lintasan gerakan maju dari ikan tersebut.

Karakteristik tersebut di atas menunjukkan bahwa kecepatan pergerakan tergantung pada gelombang *metachronal* dan lintasan maju dari ikan. Jika gelombang tubuh ikan tepat sama dengan gelombang lintasan gerak-

an maju ikan tersebut, maka berarti tidak terbentuk sudut  $\alpha$ , sehingga tidak ada daya tolak. Menurut LIGHTHILL (dalam NURSALL 1979) bahwa supaya timbul daya tolak tersebut diperlukan kecepatan gelombang tubuh ikan lebih cepat dari gelombang lintasan gerakan maju ikan, minimal perbandingan 4 lawan 5.

Pola gelombang tubuh ikan yang terbentuk pada dasarnya sama, tetapi bentuk pergerakan tubuh ikan untuk menimbulkan gelombang tersebut agak berbeda akibat perbedaan bentuk dan kelenturan tubuh. Menurut LAGLER *et al.* (1977) berdasarkan bentuk pergerakan badan ikan sehubungan dengan gerak renang ikan dapat dibedakan atas tiga bentuk yaitu:

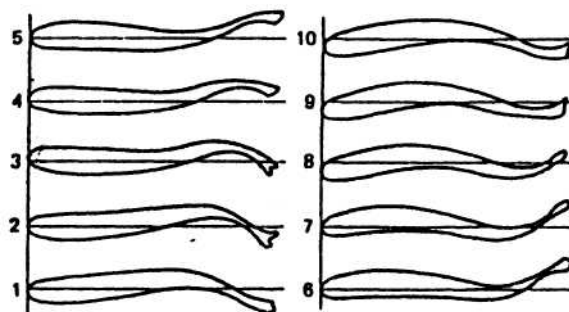
- a. Anguilliform atau bentuk sidat, yaitu ikan yang berenang seperti ular merayap atau seperti sidat berenang. Gelombang badan nampak jelas dengan amplitudo yang besar.
- b. Ostraciform atau bentuk ikan buntal (trunk fish) yaitu ikan yang berenang dengan kibasan ekor yang cukup besar, sehingga nampak ekor seperti dayung.
- c. Carangiform atau bentuk dongkrak, yaitu ikan yang berenang dengan kendali maju

kedepan oleh ayunan batang ekor. bentuk carangiform ini dalam beberapa hal dapat dikatakan merupakan bentuk antara anguillaform dan ostraciform. Pola pergerakan carangiform dapat dilihat pada Gambar 1. Bentuk carangiform ini merupakan bentuk umum bagi kebanyakan ikan-ikan komersial dan pada umumnya perenang cepat (LIGHTHILL 1977).

Bentuk pergerakan ikan tersebut ternyata sangat jelas dipengaruhi oleh bentuk tubuh ikan, sedang bentuk tubuh ikan merupakan interaksi antara bentuk rangka, massa, urat daging dan adaptasi keduanya dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya dalam evolusi (LAGLER *et al.* (1977).

## 2. Peranan Urat Daging dalam Renang Ikan

Peranan urat daging dalam gerak renang ikan sangat penting terutama dalam pergerakan tubuh ikan dan organ lainnya seperti sirip. Peranan urat daging yang terbanyak disoroti oleh para pakar dalam analisis gerak renang ikan adalah peranan myomere untuk menghasilkan gelombang tubuh (metachronal) yang menimbulkan daya tolak dalam renang ikan.



Gambar 1. Bentuk tubuh selama satu siklus pergerakan pada ikan-ikan carangiform (WEBB dalam LAGLER *et al.* 1977).

Mekanisme kontraksi myomere untuk menimbulkan gelombang gerak tubuh ikan dijelaskan oleh NURSALL (dalam LAGLER *et al.* 1977) seperti pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 tersebut AB adalah garis tengah badan ikan dengan A sebagai bagian kepala. Belahan horizontal pada bagian depan dan belakang dari myomere dalam keadaan memegang menghasilkan jajaran genjang abcd dan efgh. Myomere yang memegang menghasilkan gaya yang mengakibatkan ikan melengkung. Ikan dalam keadaan melengkung dan kejang tersebut menyebabkan myomere dan garis tengah tubuh membentuk sudut Odc dan Oef dan serat urat daging dalam myomere kurang lebih sejajar dengan AB. Jika serat urat daging berkontraksi, maka akan menarik septum bagian belakang ke depan dan bagian depan ke belakang. Kontraksi urat daging tersebut menghasilkan bagian garis tengah tubuh melengkung ke arah titik pusat O. Dalam keadaan kontraksi tersebut myomere dan garis tengah tubuh ikan akan membentuk unsur seperti digambarkan garis yang putus-putus.

Berdasarkan bentuk serat urat daging, maka dibedakan atas:

1. Bentuk lebar, yaitu serat yang berwarna putih dan sarcomeranya pendek.
2. Bentuk halus, yaitu serat yang berwarna merah dengan sarcomere yang panjang dan banyak mengandung lemak.

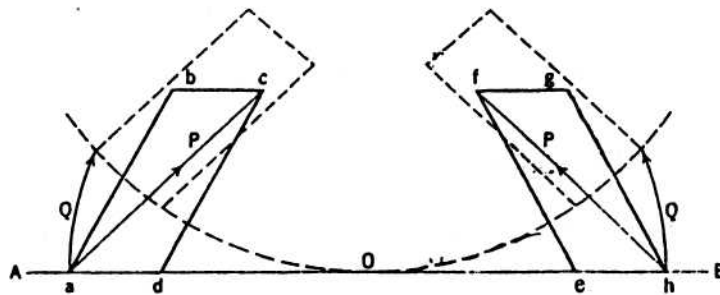
Ukuran dari sarcomere ini sangat erat hubungannya dengan kecepatan kontraksi urat daging, di mana ikan dengan sarcomere yang pendek kontraksinya lebih cepat. (NURSALL 1977).

### c. Peranan Skip dalam Renang ikan

Salah satu peranan sirip yang penting adalah sebagai tenaga penggerak dan keseimbangan dalam renang ikan.

Pada ikan yang bentuknya *stream line* oleh LAGLER *et al.* (1977) digambarkan seperti kapal layang, dimana sirip ekor sebagai kemudi dan sirip berpasangan sebagai sayap sedang sirip tunggal sebagai pembantu kemudi. Perumpamaan tersebut menggambarkan besarnya peranan sirip dalam pergerakan renang ikan.

Semua jenis sirip kecuali sirip perut dapat digunakan oleh beberapa spesies sebagai organ utama dalam pergerakan renang ikan. Peranan setiap sirip tidak sama pada semua ikan, pada ikan *bofin* (*Amia calva*) yang memiliki sirip punggung yang panjang maka yang memegang peranan terpenting untuk gerakan maju atau mundur adalah sirip punggung. Sedang pada ikan Belut listrik (*Electrophorus*) yang memegang peranan utama adalah sirip dubur, pada ikan Kupas-kupas (*Monacanthus*) sirip dubur dan punggung sebagai tenaga penggerak utama, pada beberapa jenis cucut yang memegang peranan



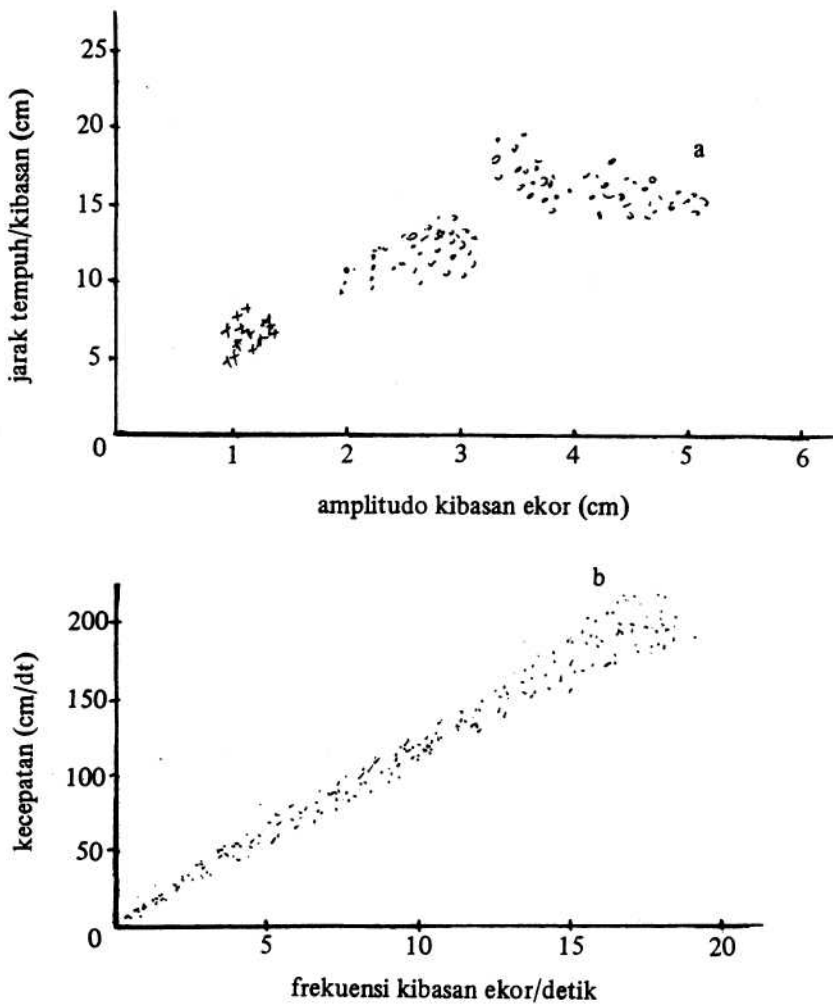
Gambar 2. Gerakan myomere dalam keadaan tubuh melengkung (NURSALL dalam LAGLER *et al.* 1977).

utama adalah sirip dada (LAGLER *et al.* 1977). Tetapi menurut NURSALL (1979) yang paling penting peranannya adalah sirip ekor seperti yang dijelaskan pada mekanisme dasar gerakan renang ikan. Pada ikan-ikan yang tidak memiliki sirip berpasangan maka pergerakan maju dan mundur sepenuhnya tergantung pada sirip ekor myomere.

Peranan sirip ekor dalam gerakan renang

ikan telah diteliti oleh BAINBRIDGE (dalam NURSALL 1979), di mana diperoleh hubungan linear yang positif antara frekwensi kibasan ekor dengan kecepatan renang, seperti digambarkan pada Gambar 3.

Pergerakan renang ikan untuk turun naik, membelok dan berhenti pada umumnya yang berperan adalah sirip dada dan sirip perut (LAGLER *et al.* 1979).



Gambar 3. Hubungan antara besarnya amplitudo kibasan ekor dengan jarak yang ditempuh setiap kibasan (a) dan hubungan kecepatan gerakan renang ikan dengan frekwensi kibasan ekor pada ikan *Leuciscus leuciscus* (BAINBRIDGE dalam NURSALL 1979).

**ANALISIS DAYA RENANG IKAN**

**1. Analisis kuantitatif gerakan renang ikan**

Dalam menggambarkan daya renang ikan yang dapat digambarkan dengan kecepatan renang ikan dan jarak yang ditempuh persatuan waktu, maka pengetahuan secara kuantitatif gaya-gaya yang berperan sangat penting artinya.

Dalam menguraikan gaya-gaya yang timbul dan berperan dalam renang ikan ada dua teori yang banyak digunakan, yaitu teori *recoil* dan *large amplitude elongated body* (LIGHTHILL 1977, WARDLE & REID 1977).

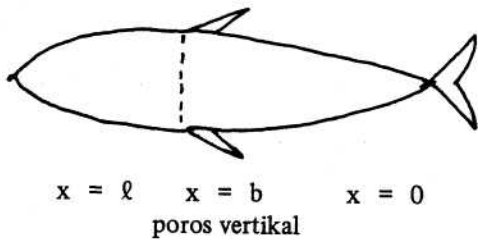
Teori *recoil* menjelaskan adanya gerakan osilasi yang pasif pada bagian belakang tubuh yang timbul akibat-akibat pergerakan ekor dan tubuh bagian belakang tersebut. Hal ini memberikan informasi tentang besarnya amplitudo dari gelombang gerakan ikan dan besarnya energi yang tidak dimanfaatkan. Sedang teori *elongated body* memberikan informasi mengenai interaksi antara gerakan ikan dengan air sebagai mediumnya (LIGHTHILL 1977).

LIGHTHILL (1977) menjelaskan teori *recoil* mengenai hubungan reaktiv respon dari hasil resistensi hidrodinamika yang digambarkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = Sm \left[ 4 \frac{x}{l} \left( l - \frac{x}{l} \right) \right] \dots (1)$$

- di mana S = tinggi badan
- Sm = tinggi badan maksimum
- l = panjang badan
- x = jarak letak bagian tubuh dari bagian belakang tubuh yang tidak fleksibel.

Hubungan antara l dan x digambarkan sebagai berikut:



Dari serangkaian analisis matematika yang dilakukan oleh LIGHTHILL diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\mathfrak{S} = \frac{F}{0,074 w^2 \rho S m^3 l} \dots (2)$$

- dimana  $\mathfrak{S}$  = Suatu parameter yang menunjukkan suatu perbandingan antara respons reaktif dengan lateral displacement pada bagian  $x = 0$  yang amplitudonya = Sm
- F = Gaya yang ditimbulkan oleh gerakan osilasi
- w = radian dari frekwensi oleh gerakan osilasi
- P = densitas air

Dari rumus ini diperoleh kesimpulan bahwa jika  $\mathfrak{S}$  lebih kecil dari 1 (satu), maka dikatakan bahwa ikan tersebut sangat reaktif terhadap resistensi hidrodinamika dari pergerakan air.

Dari percobaan yang dilakukan oleh WARDLE & REID (1977) diperoleh gaya tahan air terhadap ikan yang bergerak dalam hubungan sebagai berikut:

$$\text{Gaya tahan} = \frac{1}{2} \rho A V^2 \times l \cdot 2 C_f \dots (3)$$

- di mana A = luas permukaan ikan
- V = kecepatan pergerakan ikan
- Cf = koefisien daya tahan gesekan.

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa kedua analisis tersebut menitik beratkan analisisnya pada interaksi antara gaya yang ditimbulkan pergerakan ikan dengan tahanan dari air sebagai medium.

BAINBRIDGE (dalam NURSALL 1979) menganalisis hubungan antara kecepatan renang ikan (V) dengan panjang ikan (L) dan berat massa urat daging yang menyebabkan pergerakan ikan (Wm) sebagai berikut:

$$V_{lam} = (P \cdot Wm / 0,085 L^{3/2})^{2/5} \dots (4)$$

$$V_{turb} = (P \cdot Wm / 0,01885 L^{9/5})^{5/14} \dots (5)$$

Sedangkan oleh WARDLE & REID (1977) dilukiskan hubungan sebagai berikut:

$$V_{lam}^3 = P.Wm/0,64 L^2 Cf \dots \dots \dots (6)$$

$$V_{turb} = \frac{P Wm}{L^{1,80}} \times 0,357 \times 0,677 \text{ m/dt} \dots \dots \dots (7)$$

di mana  $V_{lam}$  = kecepatan pada gerakan laminar

$V_{turb}$  = kecepatan pada gerakan turbulensi

P = power factor

Besarnya P pada saat ikan dalam kecepatan penuh sekitar 8 - 17 x 10<sup>5</sup> erg/det/g urat daging, sedang pada kecepatan normal sebesar 2 - 4 x 10<sup>5</sup> erg/det/g urat daging.

Hubungan antara berat massa urat daging (Wm) dan panjang badan (L) memiliki korelasi yang positif, dengan bentuk model persamaan yang dikemukakan BAINBRIDGE (dalam NURSALL 1979) sebagai berikut:

$$Wm = 0,005 L^{2,9} \dots \dots \dots (8)$$

**2. Daya renang ikan.**

Daya renang ikan yang diukur berdasarkan kecepatan berenang dan jarak yang ditempuh persatuan waktu sangat bervariasi. Kemampuan renang ikan sangat erat hubungannya dengan pola tingkah laku ikan tersebut, baik dalam tingkah laku reproduksi maupun dalam mencari makanan. Hal ini jelas terlihat bahwa ikan-ikan peruyaya memiliki kemampuan renang yang lebih besar dari pada ikan-ikan lainnya.

Studi mengenai kemampuan ikan telah banyak dilakukan oleh para pakar baik percobaan di laboratorium maupun di lapangan dengan metode tagging (penandaan). Sebagai gambaran terhadap kecepatan renang ikan, dapat dilihat pada Tabel 1 yang merupakan hasil penelitian oleh beberapa pakar terhadap ikan peruyaya dengan metode penandaan.

Kemampuan renang ikan dilihat dari jarak tempuh pertahun dapat mencapai ribuan kilometer, sebagai contoh ikan herring yang berukuran 30 cm dapat menempuh jarak 3.000 km/tahun (JONES 1977).

Tabel 1. Kecepatan minimum dari beberapa jenis ikan peruyaya yang diperoleh dengan metode penandaan (JONES 1977).

Spesies	Panjang Ikan rata-rata (cm)	kecepatan		
		km/hari	cm/dt	L/dt
Sole	30	7 - 16	9 - 18	0,28 - 0,53
Plaice	35	1 - 7	2 - 8	0,06 - 0,23
Herring	25	4 - 30	5 - 35	0,20 - 1,40
Mackerel	35	16 - 23	19 - 27	0,54 - 0,77
Salmon	70	9 - 22	10 - 25	0,15 - 0,36
Cod	80	6 - 28	7 - 32	0,09 - 0,40
Albacore	77	26 - 44	30 - 51	0,39 - 0,66
Bluefin	250	93 - 185	108 - 124	0,43 - 0,88

### DAFTAR PUSTAKA

- BRETT, J.R. 1979. Relation of size rate of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). In: Milton S. Love and Gregor M. Cailliet (eds), Reading in Ichthyology. Prentice-Hall of India. New Delhi.
- JONES, F.R.H. 1977. Performance and behaviour on migration. In: J.H. Steele (ed), Fisheries Mathematics. Academic Press. London.
- LAGLER, K.F., J.E. BARDACH, R.R. MILLER and D.R.M. PASSINO 1977. *Ichthyology*. Sec. Ed. John Wiley & Sons. New York.
- LIGHTHILL, S.J. 1977. Mathematical theories of fish swimming. In: J.H. Steele (ed), Fisheries Mathematics. Academic Press. London.
- NURSALL, J.R. 1979. Swimming and the origin of paired appendages. In: Milton S. Love and Gregor M. Cailliet (eds), Reading in Ichthyology. Prentice-Hall of India. New Delhi.
- PRITCHARD, A.W., J.R. HUNTER and R. LASKER 1979. The relation between exercise and biochemical changes in red and white muscle and liver in the jack mackerel (*Trachurus symmetricus*). In: Milton S. Love and Gregor M. Cailliet (eds), Reading in Ichthyology. Prentice-Hall of India. New Delhi.
- WARDLE, C.S. and A. REID 1977. The application of large amplitude elongated body theory to measure swimming power in fish. In: J.H. Steele (ed), Fisheries Mathematics. Academic Press. London.