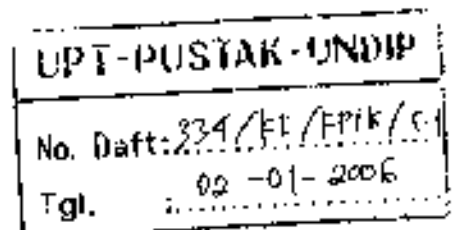


Mengembangkan Program Kuliah
Mata Kuliah
Fisiologi Nutrisi Organisme Budidaya

Oleh :
Vivi Endar Herawati, S.Pi



PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
JURUSAN PERIKANAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2005

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan bahan ajar untuk Mengembangkan Program Kuliah Mata Kuliah Fisiologi Nutrisi Organisme Budidaya

Bahan ajar ini digunakan untuk mengembangkan program kuliah pada mata kuliah Fisiologi Nutrisi Organisme Budidaya, dengan adanya bahan ajar ini diharapkan mahasiswa dapat mengetahui energi yang diperlukan untuk ikan secara tepat dan benar.

Pada kesempatan yang baik ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Seluruh Staf Pengajar Program Studi Budidaya Perairan
2. Seluruh Staf Pengajar pada Lab Nutrisi Ikan Budidaya Perairan

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan bahan ajar ini, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun diharapkan dapat memperbaiki bahan ajar ini.

Akhirnya penulis berharap bahan ajar ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan mahasiswa pada umumnya.

Semarang, Oktober 2005

Penulis

Mengetahui
Koordinator Mata Kuliah
Fisiologi Nutrisi Organisme Budidaya

Ir. Pinandoyo, M.Si

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
Latar Belakang	1
Komponen Bioenergitika	2
a) Energi yang Dikonsumsi	3
b) Energi yang Terbuang Lewat Feces (Ef)	4
c) Energi Terbuang Lewat Ekskresi Nitrogen (En)	5
d) Energi yang Digunakan Untuk Metabolisme (Em)	6
e) Energi untuk Pertumbuhan (Pg)	10
Aplikasi Bioenergitika Dalam Bidang Perikanan	14
a) Meningkatkan energi yang dikonsumsi	15
b) Memperkecil terbuangnya energi lewat feces	16
c) Memperkecil terbuangnya energi t ekskresi nitrogen	17
d) Memperkecil pembelanjaan energi metabolisme	17
Daftar Pustaka	19

Bioenergetika

Latar Belakang

Sebagaimana halnya pada hewan-hewan lain yang bersifat heterotrof, ikan membutuhkan energi baik untuk proses perawatan tubuh (maintenance), maupun untuk aktivitas fisik, tumbuh dan bereproduksi. Energi yang dibutuhkan untuk kegiatan-kegiatan tersebut berasal dari makanan yang dikonsumsi. Adanya fluktuasi dalam ketersediaan makanan, kondisi perairan (antara lain suhu dan oksigen terlarut) dan kondisi ikan berpengaruh terhadap besarnya energi yang dikonsumsi oleh seekor ikan. Sehingga energi yang dikonsumsi tersebut dapat lebih besar atau lebih kecil dari pada energi yang dibelanjakannya, hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan atau penurunan energi tubuh.

Pada kenyataannya ada keseimbangan antara pasok energi dengan pembelanjannya, dan tingkat keseimbangan tersebut bersifat dinamis. Berkaitan dengan hal tersebut, ada penelaahan khusus untuk mengkaji keseimbangan energi tersebut, yang dinamakan **BIOENERGITIKA**. Pada prinsipnya bioenergetika adalah suatu studi untuk menelaah keseimbangan antara pasok energi dengan pembelanjannya dan ini membutuhkan pengkajian proses fisiologis yang bertalian dan ini membutuhkan pengkajian proses fisiologis yang bertalian dengan energi yang ditransformasikan di dalam organisme hidup. Lavoiser (1783) dalam Cho *et al.*, (1982) menyimpulkan bahwa hidup adalah suatu proses pembakaran (*La respiration c'est done une combustion*). Selanjutnya Brody (1945) dalam Cho *et al.*, (1982) menyatakan bahwa keseimbangan energi mengikuti hukum termodinamika, hal ini didasarkan atas kenyataan bahwa proses keseimbangan energi tersebut merupakan proses fisika.

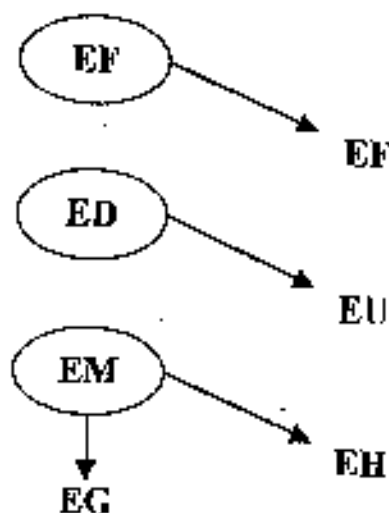
Pemahaman konsep bio-energetika pada suatu hewan termasuk ikan dibutuhkan sebagai dasar dalam penyusunan ransum harian yang cukup untuk lingkungan fisik tertentu. Keberhasilan budidaya ikan tergantung pada penyediaan makanan yang mengandung nutrisi yang seimbang dan energi yang cukup untuk memungkinkan

pertumbuhan yang paling efisien. Dengan perkataan lain pemahaman tentang bioenergetik diperlukan terutama dalam upaya memaksimalkan pertumbuhan.

1. Komponen Bioenergetika

Makanan yang dikonsumsi oleh ikan akan mengalami proses pencernaan, penyerapan, pengangkutan dan metabolisme. Sehubungan dengan kompleksitas zat makanan dan keterbatasan kemampuan mencerna maka tidak semua makanan yang dikonsumsi dapat diserap oleh tubuh ikan. Bagian makanan yang tidak dapat dicerna dapat diserap tubuh akan dibuang sebagai feces (*energi feces*), sedangkan zat makanan yang terserap setelah diangkut menuju organ target sebagian akan mengalami proses katabolisme sehingga dapat dihasilkan bahan untuk menyusun sel-sel baru. Energi bebas ini yang dihasilkan dari proses katabolisme selanjutnya dapat digunakan untuk proses penyusunan jaringan baru (pertumbuhan) dan proses lainnya dalam rangka menunjang kelangsungan hidup. Proses penguraian (katabolisme) zat makanan khususnya protein akan menghasilkan bahan sisa yang harus disekresikan, bahan buangan tersebut masih mengandung energi dan energi ini diperhitungkan dalam studi bioenergetika. Gambaran tentang alokasi energi makanan yang dikonsumsi, diperlihatkan skema pada gambar 5.

Gambar 5. Alokasi energi dalam tubuh :



Berdasarkan skema tersebut, keseimbangan energi dapat dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$E_c = E_t + E_u + E_m + E_p$$

Dimana :

- E_c = Energi yang dikonsumsi
- E_t = Energi yang terbuang lewat feces
- E_u = Energi yang terbuang lewat ekskresi nitrogen
- E_m = Energi yang digunakan untuk metabolisme
- E_p = Energi yang digunakan untuk pertumbuhan

a. Energi yang Dikonsumsi

Pada keadaan yang cukup makanan, ikan hanya mengkonsumsi makanan hingga memenuhi kebutuhan energinya. Kebutuhan energi ini dipengaruhi oleh stadia dan siklus hidupnya, musim dan faktor lingkungan (Cho *et al.*, 1982). Ikan muda yang sedang tumbuh membutuhkan energi per satuan berat badannya lebih banyak dibandingkan ikan dewasa, walaupun untuk pematangan gonad terjadi peningkatan kebutuhan energi. Menjelang musim dingin, ikan akan meningkatkan konsumsi makanan dan menyimpan energi sebagai cadangan, sebagai respon menghadapi penurunan suhu pada musim dingin. Karena ikan adalah hewan poikiloterm, maka laju metabolismenya akan berubah mengikuti perubahan suhu air, dan oleh karenanya kebutuhan energi akan meningkat dengan meningkatnya suhu air (sampai batas tertentu).

Komponen makanan yang kontribusinya nyata terhadap pasokan energi adalah protein, lemak dan karbohidrat. Oksidasi ketiga komponen tersebut akan menghasilkan energi. Perlu dicatat bahwa jumlah energi yang dikonsumsi oleh seekor ikan merupakan hasil perkalian antara jumlah total makanan yang

dikonsumsi dengan kandungan energi per miligram/gram makanannya. Adapun kandungan energi dalam makanan dapat diketahui dengan mengukur dengan cara langsung atau dengan cara tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan menggunakan **Bom kalorimeter**. Pada pengukuran secara tidak langsung, makanan terlebih dahulu ditentukan kadar nutriennya, yaitu kadar protein, lemak dan karbohidrat. Setelah diketahui kadarnya dikonversikan ke dalam satuan energi. Sebagai dasar perhitungan, nilai ekuivalen energi untuk karbohidrat, protein dan lemak adalah berurutan 4,10; 5,65 dan 9,65 Kcal/gram (Brody, 1945 dalam Kapoor *et al.*, 1976). Dengan menjumlahkan nilai hasil konversi kandungan protein, lemak dan karbohidrat dengan ekuivalen energinya, maka kandungan energi per gram makanan dapat diketahui. Energi yang terkandung per miligram / gram makanan tergantung pada komposisi kimianya dan energi ini disebut energi kotor (*gross energy*). Pada ikan, energi yang dikonsumsi ini barulah merupakan energi potensial.

b. Energi yang Terbuang Lewat Feces (E_f)

Makanan yang dikonsumsi oleh ikan tidak semuanya dapat diserap oleh tubuh, sebagian akan terbuang lewat feces. Jumlah feces yang dikeluarkan oleh seekor ikan yang telah mengkonsumsi sejumlah makanan dipengaruhi oleh banyak faktor, baik faktor yang berhubungan dengan ikan itu sendiri maupun faktor luar (lingkungan dan pakan).

Seperti halnya pada penentuan kandungan energi dalam makanan, penentuan energi yang terkandung dalam satu miligram feces dapat ditentukan baik secara langsung (melalui pengukuran energi dengan Bom Kalorimeter) atau tidak langsung (mulai pengukuran kandungan protein, lemak dan karbohidratnya kemudian dikoversikan ke dalam ekuivalen energinya). Dengan demikian jumlah total energi energi yang terbuang lewat feces adalah jumlah total feces yang dikeluarkan oleh seekor ikan yang telah mengkonsumsi sejumlah makanan dikalikan dengan kandungan energi per gram (miligram) fecesnya. Apabila data kecernaan energi dan nutrien pada ikan diketahui (hasil pengukuran kecernaan)

maka total energi yang terbuang lewat feces dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_f : (100 - E_d) \times E_c$$

Dimana :

E_f = Energi yang terbuang lewat feces

E_d = Kecernaan energi

E_c = Energi yang dikonsumsi

Energi yang dapat dicerna adalah energi yang dikonsumsi dikurangi oleh yang terbuang lewat feces. Nilai energi yang dapat dicerna dan nilai kecernaan nutrisi (protein, lemak dan karbohidrat) harus digunakan untuk menduga tingkat ketersediaan energi dalam bahan makanan guna memformulasikan makanan.

Makanan komersial yang umum digunakan dalam budidaya ikan menghasilkan energi feces (terbuang) sebesar 10 - 40% dari energi kotor (energi yang dikonsumsi). Kadang-kadang ditemukan beberapa bahan makanan yang 60 - 80% dari kandungan energinya terbuang lewat feces. Ikan, khususnya Salmonidae mencerna protein, lemak, gula dan pati yang telah dimasak dengan baik, sedangkan pati mentah seluruhnya tidak dapat dicerna (Cho dan Slinger dalam Cho *et al.*, 1982).

Energi yang dapat dicerna dari suatu bahan makanan berhubungan erat dengan nilai kecernaan bahan keringnya. Semakin rendah kecernaan bahan keringnya umumnya kecernaan energinya menurun. Hal yang dapat menurunkan kecernaan bahan kering adalah kandungan mineral dalam bahan makanan dan sebagaimana diketahui bahwa mineral dalam pakan tidak memberikan pasokan energi.

e. Energi Terbuang Lewat Ekskresi Nitrogen (E_n)

Zat makanan yang telah dicerna dalam saluran pencernaan selanjutnya diserap oleh dinding usus. Zat makanan yang terserap terutama zat yang secara potensial mengandung energi seperti asam amino, asam lemak dan gula sederhana akan dimetabolisasi. Katabolisme lemak dan protein akan menghasilkan energi.

sempurna, sisa pembakaran berupa air dan karbon dioksida (tak berenergi). Katabolisme protein (asam amino) pada ikan terjadi secara tidak sempurna dan sisa pembakarannya berupa amonia (> 85%) dan urea (< 15%), disamping berupa air dan karbon dioksida. Amonia dan urea tersebut masih mengandung energi dengan ekuivalen energinya masing-masing sebesar 221 dan 23 kJ/gN. Jumlah energi yang terbuang lewat ekskresi ini berhubungan erat dengan nilai biologis total protein dalam makanan, dan juga dipengaruhi oleh proporsi bahan makanan lain terutama kadar dan jenis lemak yang terkandung dalam makanan. Sebagai konsekuensinya, nilai energi yang dapat dimetabolisme dari suatu makanan tidak terlepas dari komposisi makanan itu sendiri. Adanya keseimbangan antara asam amino dan energi dalam makanan berpengaruh terhadap terbuangnya produk sisa nitrogen dalam insang dan ginjal. Energi yang terbuang lewat ekskresi nitrogen ini cukup tinggi, berkisar antara 7 - 28% dari energi yang dapat dicerna (Smith *et al.*, 1980 dan NRC-NAS dalam Cho *et al.*, 1982). Pada ikan sidat *Anguilla anguilla*, ekskresi nitrogen sekitar 7% dari total energi yang dikonsumsi (Nielsen dan Jurgensen, 1982).

d. Energi yang Digunakan Untuk Metabolisme (E_m)

Energi yang dapat dimetabolisasi (*metabolizable energy*) adalah energi yang siap digunakan untuk metabolisme dan pertumbuhan. Biasanya energi ini diungkapkan dalam persamaan berikut :

$$E_m = E_c - (E_f + E_n)$$

Dimana :

E_m = Metabolisme energi

E_c = Energi yang dikonsumsi

E_f = Energi yang terbuang lewat feces

E_n = Energi yang terbuang lewat ekskresi nitrogen

Jika protein dalam makanan dapat diserap sebesar 95%, dan 77% dari yang diserap tersebut dimetabolisasi, maka akan didapatkan nilai energi sebesar 4,13 Kcal/g protein ($0,95 \times 0,77 \times 5,56$ Kcal/g) untuk metabolisme dan pertumbuhan. Jika 95% dari lemak dan karbohidrat yang diserap, dapat dimetabolisasi, dan

masing-masing memiliki nilai pencernaan sebesar 80% dan 50% maka nilai energi fisiologis untuk lemak adalah 7,26 Kcal/g ($0,96 \times 0,8 \times 9,45$ Kcal/g) dan untuk karbohidrat adalah 1,97 Kcal/g ($0,96 \times 0,5 \times 4,10$ Kcal/g). nilai yang disebutkan di atas tidak dapat digunakan secara umum sebab jenis ikan dan komposisi nutrisi dalam pakan dapat mempengaruhi tingkat pemanfaatan komponen makanan (nutrien) dalam makanan.

Sebagian atau bahkan seluruh energi yang dapat dimetabolisir akan digunakan untuk proses metabolisme. Kebutuhan energi untuk metabolisme harus dipenuhi terlebih dahulu, baru apabila berlebih maka kellebihannya akan digunakan untuk pertumbuhan. Hal ini berarti bahwa apabila energi yang dapat dimetabolisasi jumlahnya terbatas maka energi tersebut hanya akan digunakan untuk metabolisme saja dan tidak untuk pertumbuhan. Dari total energi metabolisme (E_m), sebagaimana akan digunakan untuk metabolisme standar/maintenance (M_s), sebagian untuk aktivitas fisik (M_a) dan sebagian lagi untuk kegiatan menghancurkan, mengubah dan menyimpan zat makanan (M_{sda}).

Ikan membutuhkan energi secara terus menerus untuk maintenance tanpa melihat apakah ikan tersebut mengkonsumsi makanan atau tidak. Pada ikan yang dipuaskan energi untuk maintenance ini diperoleh dari hasil katabolisme cadangan tubuh (glikogen, lemak, dan protein). Energi yang dibutuhkan untuk maintenance adalah total energi yang dibutuhkan untuk metabolisme basal, pengaturan suhu tubuh (pada hewan meoterm) dan menyokong tubuh pada saat istirahat (*resting activity*). *Energy maintenance* sebagian besar digunakan untuk metabolisme standar. Metabolisme basal/standar didefinisikan sebagai tingkat pembelanjaan energi minimal untuk mempertahankan struktur dan fungsi jaringan tubuh (agar hewan tetap hidup). Pada ikan pengukuran tingkat metabolisme basal ini dilakukan pada kondisi setelah ikan dipuaskan (*post absorptive*), ikan dalam keadaan istirahat (tidak bergerak) dan pada kondisi lingkungan netral.

Menurut Brett (1972) dalam Cho *et al.*, (1982), bahwa kebutuhan energi untuk maintenance pada hewan poikiloterm (termasuk ikan) adalah 10 - 30 kali lebih rendah daripada mamalia yang harus mempertahankan suhu tubuh sekitar

35°C. Di samping pembelanjaan energi untuk mempertahankan suhu tubuh pada ikan dapat dikatakan nol, juga energi yang dibelanjakan untuk menopang tubuh sangat kecil sebab ikan hidup di air dan tubuh ikan dilengkapi dengan kantung udara sehingga dengan sendirinya berperan dalam menopang tubuh.

Telah diungkapkan di atas bahwa tingkat metabolisme pada ikan dapat diukur melalui pengukuran tingkat konsumsi oksigennya. Panas yang diproduksi didekati melalui pengkonversian jumlah konsumsi oksigen dengan ekuivalen energinya. Beberapa hasil penelitian mengenai hubungan antara produksi panas dengan bobot tubuh mengungkapkan bahwa untuk ikan dengan berat tubuh antara 1 hingga 57 gram, persamaannya adalah :

$$\text{Produksi panas (kj/hari)} = 240 W^{0,75} \quad (r = 0,92)$$

Berdasarkan hubungan antara produksi panas dan koefisien partial dari bobot tubuh ikan menunjukkan bahwa luas permukaan tubuh kontribusinya terhadap laju basal lebih penting dibandingkan dengan berat tubuh (Kleiber, *et al.*, 1975 dalam Cho *et al.*, 1982). Di samping ukuran ikan, suhu air sangat berpengaruh terhadap produksi panas pada ikan yang dipuasakan. Smith *et al.*, (1978) mengemukakan bahwa peningkatan suhu dari 3 hingga 18°C menyebabkan peningkatan produksi panas sebesar 2 kali lipat.

Kegiatan mengkonsumsi makanan oleh ikan yang telah dipuasakan menyebabkan peningkatan produksi panas. Pembelanjaan energi yang disebabkan oleh kegiatan makan diungkapkan dalam beberapa istilah, yaitu :

- 1) Peningkatan panas akibat makan (*heat increment of feeding*)
- 2) *Specific dynamic action* (SDA)
- 3) Efek Kalorigenik (*Calorigenic effect*), dan
- 4) Pembentukan panas dari makanan (*Dietary Thermogenesis*).

Faktor-faktor yang mempunyai andil terhadap peningkatan panas akibat aktivitas makanan adalah :

- 1) Proses pencernaan dan penyerapan
- 2) Transformasi dan interkonversi substrat dan retensinya dalam jaringan-jaringan. Pembentukan dan pengeluaran sisa metabolik.

Menurut Kliber *dalam* Cho *et al.*, (1982), bahwa proses biokimia yang dapat meningkatkan panas adalah diaminasi asam amino yang dikonsumsi dan pengeluaran sisa metabolisnya. Energi yang dibelanjakan untuk mengkonsumsi dan mencerna makanan relatif lebih sedikit dibandingkan dengan pembelanjaan energi untuk kerja metabolik.

Distribusi protein terhadap panas adalah sangat penting. Makanan yang mengandung 6% lemak dan 30% serta 47% protein dapat dicerna (*protein digestible*) menghasilkan tingkat konsumsi oksigen yang hampir sama, peningkatan kadar lemak dan pada makanan yang berkadar protein rendah menghasilkan penurunan konsumsi oksigen. Padahal peningkatan kadar lemak pada makanan yang mengandung protein tinggi secara praktis tidak berpengaruh terhadap konsumsi oksigen. Diduga hal ini disebabkan oleh kerja metabolik yang berkaitan dengan influk asam amino yang berasal dari makanan berprotein tinggi.

Pada mamalia dan burung panas yang ditimbulkan sebagai akibat aktivitas makan adalah lebih tinggi untuk makanan yang berprotein tinggi dibandingkan dengan makanan yang berprotein rendah, disebabkan adanya deaminase asam amino yang akan digunakan sebagai sumber energi dan kebutuhan untuk menawarkan daya racun amonia dengan cara membentuk urca atau asam urine. Energi yang dibelanjakan untuk mensintesa protein adalah 13 dan 10 KJ/g N masing-masing untuk urca dan asam uric (Martin dan Blaxter, *dalam* Cho *et al.*, 1982). Pada hewan darat urea dan sam uric diperkirakan untuk diekskresikan oleh ginjal, hal ini membutuhkan energi.

Pada ikan, amonia merupakan produk sisa utama dari katabolisme protein sehingga tidak dibutuhkan energi untuk menawarkan dan memekatkannya (Cowey *dalam* Cho *et al.*, 1982). Panas dihasilkan akibat aktivitas makan pada ikan adalah lebih rendah, berkisar dari 8 hingga 12% dari energi sebanyak 30% dari energi yang dikonsumsinya (Farrel *dalam* Cho *et al.*, 1982).

Pada ikan, yang dimaksud dengan aktivitas adalah aktivitas berenang. Energi yang dibelanjakan untuk aktivitas/berenang, dapat mengurangi porsi energi yang sebenarnya dapat digunakan untuk menyusun jaringan tubuh yang baru. Energi yang dibelanjakan untuk berenang ini dapat melebihi jumlah energi yang dikonsumsi dan untuk keseimbangan, energi dipasok dari hasil mobilisasi jaringan cadangan. Cadangan energi yang ditimbun dalam beberapa waktu dapat menurun ketika ikan bernyawa dan dalam ruaya tersebut sering ikan tidak melakukan aktivitas makan.

Seperti halnya pada metabolisme standar, energi yang dibelanjakan untuk aktivitas pada ikan relatif lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibelanjakan oleh hewan darat hal ini disebabkan energi untuk menopang tubuh sangat kecil dan juga walaupun ikan hidup pada media yang viskositasnya (kekentalan) relatif tinggi namun bentuk tubuhnya sudah diadaptasikan pada kondisi tersebut sehingga dapat bergerak secara efektif.

Secara praktis tingkat metabolisme aktif dihitung berdasarkan data hasil pengukuran pada tingkat metabolisme standar. Sebagai gambaran dapat terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor Pengganda dari Metabolisme Standar (Brett and Grovers, 1979)

No	Kondisi Fisiologis	Pengganda
1	Metabolisme Basal	
2	Rutin	01,6
3	Aktif / Berenang	10,5
4	Makan Maksimal	04,3
5	Makan Maintenance	04,3
6	Bergerak Secara Agresif	04,1
7	Migrasi / Ruaya	08,5

e. Energi untuk Pertumbuhan (E_g)

Protein dalam makanan dengan nilai biologis tinggi mengacu penimbunan protein tubuh lebih besar dibandingkan dengan protein yang bernilai biologi rendah. Peningkatan kelebihan energi dari yang dikonsumsi menyebabkan

jumlah total protein yang ditimbun meningkat, akan tetapi bagian energi yang diretensi sebagai lemak pun ikut meningkat. Pada kasus tertentu laju retensi lemak lebih cepat, hingga meningkatnya energi yang dikonsumsi menyebabkan terjadinya penimbunan lemak tubuh.

Tabel 7. Pengaruh suhu air terhadap penggunaan energi yang dapat dicerna oleh ikan trout untuk pertumbuhan, produksi panas dan maintenance (Cho dan Dslinger, 1980)

Suhu air	7,5	10	15	20
Energi yang diretensi (% dari Ed makanan yang dikonsumsi)	44	49	53	58
Produksi panas (3% dari Ed makanan yang dikonsumsi)	20	14	11	15
(kj.gN yang dikonsumsi)	50	34	27	38
Maintenance (kj/kg berat tubuh/hari)	18	37	61	56

Keterangan :

Makanan mengandung 38% protein dapat dicerna 9% lemak dapat dicerna dan 1 g oksigen = 13,6 Kj.

Suhu air mempengaruhi proporsi energi makanan yang dapat diretensi dan dibuang. Pengaruh suhu terhadap retensi energi ini dapat dilihat pada Tabel 7. Tabel tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan suhu air dari 7,5 hingga 20°C meningkatkan retensi energi dari 44% menjadi 58% dari energi yang dapat dicerna yang dikonsumsi. Di samping kandungan energi makanan yang dapat dimetabolisir, komposisi makanan juga berpengaruh terhadap retensi energi. Hubungan antara komposisi makanan dengan retensi energi dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Pengaruh kadar protein dan lemak yang dapat dicerna dalam makanan terhadap retensi energi (Cho et al., 1976 dalam Cho et al., 1982)

Protein yang dicerna	34	34	55
Lemak yang dicerna	13	22	13
Energi yang diretensi (% dari Ed makanan yang dikonsumsi)	53	63	54
Produksi panas (3% dari Ed makanan yang dikonsumsi)	11	8	13
(kj.gN yang dikonsumsi)	28	26	29
Maintenance (kj/kg berat tubuh/hari)			

Keterangan : Suhu air = 15°C; 1g oksigen = 13,6 Kj.

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa peningkatan kadar lemak dapat dicerna dari 13% menjadi 22% dengan kadar protein yang sama menghasilkan peningkatan retensi energi dari 53% menjadi 63% dari energi dapat dicerna yang dikonsumsi.

Watanabe *et al* dalam Cho *et al.*, (1982) menyatakan bahwa retensi protein maksimum diperoleh pada makanan yang mengandung 35% protein dan 15 - 20% lemak.

Hampir pada semua kasus bahwa adanya retensi energi dan penyusunan jaringan baru menghasilkan peningkatan berat tubuh. Peningkatan berat tubuh pada ikan muda merupakan indikator kecukupan nutrisi dan ketepatan ransum. Sayangnya peningkatan berat tubuh tidak selalu mencerminkan retensi energi secara kuantitatif, hal ini disebabkan karena 2 alasan :

Pertama, penumpukan lemak menurunkan kandungan air dalam tubuh sehingga mengubah nilai energi per unit berat tubuh ikan, dan

Kedua, kandungan energi per gram lemak dan per gram protein begitu berbeda. Lemak biasanya ditimbun dalam jaringan adipose dan mengikat sedikit air sehingga menghasilkan panas pembakaran sebesar 31 kJ/gram.

Sedangkan protein biasanya ditimbun dalam jaringan seperti visera dan otot dan mengikat air dalam jumlah banyak, sehingga menghasilkan panas pembakaran sebesar 6 kJ/gram. Masalah dalam menginterpretasikan data pertumbuhan ini adalah begitu kompleks oleh karena adanya proses metabolik yang berbeda, dalam hal mana energi makanan disimpan dalam bentuk lemak atau protein. Sintesa lemak yang relatif sederhana mempunyai tingkat efisiensi sebesar 74% sedangkan sintesa protein yang lebih kompleks mempunyai tingkat efisiensi sebesar 44%. Ini berarti, tidaklah mungkin untuk membandingkan antara peningkatan berat tubuh dengan retensi energi tanpa mengestimasi secara bersamaan mengenai komposisi kimiawi tubuh. Jadi membandingkan peningkatan berat tubuh per satuan berat makanan yang dikonsumsi hanya

berguna bila energi makanan dan nilai energi pada kenaikan berat tubuh diketahui.

Dalam arti luas, pertumbuhan selain mencakup pertumbuhan somatik juga mencakup pertumbuhan gonadik (pembentukan dan pematangan gonad). Dalam proses reproduksi berlangsung sintesa dan penimbunan sementara material baru. Proses sintesa dan penimbunan nutrien baru tersebut sering tanpa memperhatikan tingkat energi yang dikonsumsi. Kebutuhan energi diperoleh dari jaringan tubuh lain jika pasok makan tidak cukup. Konsekuensinya penyebaran kembali energi jaringan yang berlangsung dalam musim pemijahan dapat mempengaruhi pengukuran keseimbangan energi.

Pada ikan, terutama pada ikan yang dibudidayakan terdapat beberapa studi tentang retensi energi makanan. Membandingkan hasil studi pertumbuhan pada ikan jauh lebih sulit dibandingkan dengan yang lain dilakukan pada hewan lain (darat). Tidak hanya disebabkan adanya pengaruh besar dari suhu tetapi juga disebabkan adanya kesulitan dalam menentukan jumlah makanan yang dikonsumsi secara tepat. Untuk membandingkan data pertumbuhan pada spesies yang sama, perlu ditentukan terlebih dahulu kurva pertumbuhan yang normal untuk kondisi tertentu sebagai referensinya. Berdasarkan kurva retensi yaitu kurva pertumbuhan pada kondisi lingkungan yang dioptimalkan, maka pertumbuhan ikan dari jenis yang sama dengan referensi dapat dikaji.

Kurva pertumbuhan ikan trout lembayung di bawah kondisi laboratorium pada tiga tingkatan suhu yang berbeda, pada suhu 10°C berat ikan hanya mencapai 4 kg/100 ekor ikan, setelah dipelihara selama 20 minggu, sedangkan pada suhu 15°C berat yang sama dicapai setelah ikan dipelihara selama 12 minggu. Hasil yang hampir sama setelah diperoleh pada skala besar di bawah kondisi lapang. Bilamana kebutuhan energi untuk maintenance seekor ikan pada suhu tertentu adalah suatu pengeluaran tetap maka retensi energi atau pertumbuhan tergantung pada tingkat energi makanan yang dikonsumsi.

Contoh-contoh alokasi energi telah dikemukakan oleh beberapa peneliti. Berhett dalam Kapoor *et al.* (1976) mengemukakan alokasi energi pada ikan

sebelah stadia juvenil yang diberi makan dengan *Arenicola* dan *Mytilus*. Total energi yang dikonsumsi per harinya adalah 48 cal/g ikan/hari, jumlah energi ini dianggap 100%. Energi yang terbuang lewat feces adalah 8% sehingga energi yang diserap adalah 92%, dan terbuang lewat ekskresi sebesar 8%. Dengan demikian energi yang dapat dimetabolisir sebesar 84%. Total panas yang dikeluarkan (*output*) kira-kira 65% dan kira-kira 16% dari total energi yang dikonsumsi digunakan untuk pertumbuhan. Praksi energi yang terkandung dalam makanan yang digunakan untuk tumbuh, sangat bervariasi tergantung pada laju metabolisme dasar dan aktivitas. (Malver, dalam Kapoor *et al.*, 1976).

Rajainani dan Job (1976) dalam Goetz (1983) telah melakukan penelitian untuk mengetahui hubungan antara pemanfaatan makanan oleh *Tilapia mossambica* pada ukuran yang berbeda 0,9; 9 dan 37 gram. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan / absorpsi energi lebih tinggi pada ikan yang berukuran lebih besar. Hal ini diduga ikan yang berukuran besar dapat beradaptasi secara lebih baik terhadap tipe makanan baru dibandingkan ikan yang berukuran kecil, yang mana pada permulannya ikan tersebut bersifat plankton feeder. Laju pertumbuhan relatif terbesar didapatkan pada ikan yang berukuran kecil (ikan muda), dengan beberapa kekecualian pada prinsip tersebut yaitu pada stadia larva, ikan masih pada tahap belajar makan dan alat pencernaan belum sepenuhnya berdiferensiasi.

Berdasarkan data pada tabel tersebut di atas, secara umum persamaan bioenergetika untuk ikan karnivora adalah sebagai berikut :

$$100 I = (44 \pm 7) M + (29 \pm 6) G + (27 \pm 3) E$$

2. Aplikasi Bioenergetika Dalam Bidang Perikanan

Alokasi energi pada suatu organisme, termasuk ikan merupakan hal yang dinamis, hal ini karena pengalokasian energi tersebut merupakan resultante dari berbagai macam proses, dan proses itu sendiri tidak terlepas dari pengaruh faktor dalam (ikan) dan faktor luar/lingkungan. Ikan sebagai objek kajian dalam studi

bioenergetika, ukuran dan beratnya dapat berubah berdasarkan fungsi waktu, demikian pula lingkungan hidup ikan (petairan) memiliki karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang dapat berubah dari waktu ke waktu. Dengan demikian jelas bahwa perubahan lingkungan serta karakter ikan (jenis, ukuran dan sifat-sifat genetik lain) akan mempengaruhi alokasi energi pada ikan tersebut.

Terlepas dari adanya dinamika dalam hal alokasi energi, budidaya ikan bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan. Salah satu pendekatan untuk mencapai tujuan tersebut adalah melalui peningkatan efisiensi pakan. Semakin efisien penggunaan pakan oleh ikan maka peluang tercapainya keuntungan akan lebih besar, hal ini didasarkan atas kenyataan saat ini bahwa biaya pakan pada budidaya ikan dapat melebihi 50% dari biaya produksi.

Berdasarkan pada prinsip bioenergetika, beberapa manipulasi dapat dilakukan untuk memaksimalkan pertumbuhan. Dari persamaan bioenergetika yang telah diungkapkan sebelumnya. Pertumbuhan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$G = I - (F + U + R)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka jelaslah bahwa untuk meningkatkan efisiensi pakan pada tingkat energi yang dikonsumsi tertentu, maka pertumbuhan harus ditingkatkan sedangkan energi yang terbuang lewat feces dan buangan N serta energi yang digunakan untuk metabolisme harus diturunkan.

Secara praktis, upaya-upaya (manipulasi) yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan adalah berupa :

a. Meningkatkan energi yang dikonsumsi

Sebagaimana telah diungkapkan sebelumnya bahwa satu-satunya sumber energi untuk memenuhi kebutuhan ikan adalah makanan. Mulai dari level energi yang dikonsumsi untuk *maintenance*, peningkatan energi yang dikonsumsi akan meningkatkan pertumbuhan.

Dengan demikian langkah pertama untuk menyediakan energi yang cukup untuk kebutuhan hidup ikan sangat perlu dilakukan. Upaya yang dapat dilakukan agar ikan mengkonsumsi pakan secara optimal antara lain :

- 1) Menjaga kondisi ikan tetap sehat sehingga selera makannya selalu baik.
- 2) Mengupayakan agar kondisi lingkungan budidaya tetap optimal. Hal ini dapat dilakukan dengan memperbaiki sistem sirkulasi air, aerasi, pengaturan kedalaman air, pengaturan pH air dan sebagainya.
- 3) Pemberian pakan secara kumulatif (*feeding rate*) optimal.
- 4) Pemberian pakan dengan frekuensi yang tepat didasarkan atas kapasitas lambung dan laju pencernaannya (*digestin rate*)
- 5) Pemilihan pakan yang cocok baik ukuran, bentuk maupun warna.
- 6) Penambahan attractan apabila diperlukan

b. Memperkecil terbuangnya energi lewat feces

Semakin rendah nilai koefisien kecernaan suatu makanan maka semakin tinggi energi yang terbuang lewat feces dan sebaliknya. Dengan demikian upaya untuk memperkecil terbuangnya energi pakan lewat feces adalah melalui peningkatan nilai kecernaan makanan tersebut. Telah diungkapkan sebelumnya bahwa di luar teknik pengukuran kecernaan, faktor yang mempengaruhi kecernaan suatu bahan makanan atau makanan adalah ikan itu sendiri, makanan dan lingkungannya. Dengan demikian upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kecernaan suatu makanan atau dengan perkataan lain untuk memperkecil terbuangnya energi lewat feces adalah sebagai berikut :

- 1) Menjaga kondisi ikan agar berada dalam keadaan sehat.
- 2) Dalam penyusunan ransum hendaknya komposisi kimiawi dan kandungan energinya dikaitkan dengan stadia hidup ikan (umur) dan kategori ikan (karnivora, omnivora dan herbivora).
- 3) Dalam penyusunan ransum hendaknya dipilih bahan-bahan yang berkualitas baik, terbebas dari bahan-bahan toksik atau yang berbahaya.
- 4) Ukuran partikel bahan penyusun pakan hendaknya berukuran kecil sehingga mudah dihidrolisa.
- 5) Perlu melakukan *treatment-treatment* tertentu terhadap bahan yang akan digunakan dalam pembuatan pakan. Misalnya pengukuran terhadap karbohidrat agar mudah dicerna (koefisien kecernaannya meningkat)

- 6) Perlu mengupayakan optimasi kondisi lingkungan terutama suhu dan oksigen terlarut. Di samping itu juga perlu mengeliminir bahan-bahan toksik yang dikeluarkan oleh ikan itu sendiri.

c. Memperkecil terbuangnya energi t ekskresi nitrogen

Telah diungkapkan sebelumnya, proses katabolisasi protein (asam amino) menghasilkan buangan yang masih mengandung energi. Proses katabolisme (deaminasi asam amino) ini adalah dalam rangka pembebasan energi dari bahan tersebut. Dengan demikian upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi ekskresi nitrogen ini adalah melalui penetapan :

1. Tingkat protein pakan yang tidak berlebihan
2. Tingkat energi pakan yang memadai

Dengan perkataan lain dalam membuat formulasi pakan antara protein dengan energi yang tepat. Sehingga asam amino lebih banyak dimanfaatkan untuk sintesa protein baru dan bukan untuk dikatabolisasi guna menghasilkan energi.

d. Memperkecil pembelanjaan energi metabolisme

Energi yang dibelanjakan untuk metabolisme adalah total energi yang dikeluarkan untuk kegiatan metabolisme basal (*standart*), standart dynamic action (SDA) dan aktivitas dari ketiga komponen energi metabolisme ini, kebutuhan energi untuk metabolisme dasar ini tidak dapat diperkecil atau diturunkan. Energi yang dibelanjakan untuk SDA dapat dihemat dengan pemberian pakan yang berimbang. Energi yang dibelanjakan untuk aktivitas meliputi energi untuk aktivitas berenang terutama dalam mencari makan dan mungkin pula untuk mempertahankan posisi tubuh dari arus (melawan arus). Dengan demikian penghematan energi untuk metabolisme paling rasional adalah penghematan energi untuk aktivitas, yaitu meliputi :

1. Pembatasan ruang gerak ikan yang disertai dengan pemasukan oksigen dan pakan yang memadai.
2. Pengaturan arus air yang tepat, sehingga pembelanjaan energi untuk menentang arus relatif kecil. Dalam hal ini arus hanya berfungsi untuk mengeliminasi bahan yang diekskresikan oleh ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aas, G.H, T. Refstie and B. Gjerbe. 1991. Evaluation of Quality of Atlantic Salmon Aquaculture. 95:125-132.
- Aida, K., M. Kabayashi and T. Kanako. 1991. Endokrinologi (dalam bahasa Jepang). P.167-121. Dalam : Hazawa, M dan I. Hanyu (Eds.) Fisiologi Ikan. Koseisha Koseikaku, Tokyo.
- Bagarino, T. 1995. Biology of Milkfish Training Course on Marine Fish Hatchery 06 June – 25 July 1995. Aquaculture.
- Billard, R. 1982. On some patterns of reproductive physiology in male Teleost fish. In : C.J.J. Th. Goos (Eds.) Proceedings of the international symposium on reproductive physiology of fish, Wageningen, Netherlands.
- Cerda, J., B.G. Calman, G.J. Laffeur Jr., and S. Limesand. 1996. Pattern of vitellogenesis and follicle maturation competence during the ovarian follicular cycle of *fundulus heteroclitus*. General and comparative endocrinology, 103:24-25.
- Effendie, M. 1978. Biologi Perikanan I Studi Natural History. Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Goetz, F.W. 1983. Hormonal control of oocyte final maturation an ovulation in fishes. In : W. S. Hoar, D.J. Randall and E. M. Donaldson (Eds.), Fish Physiology. Vol IV B. Acad Press. New York.
- Hafez, E.S.E. 1980. Reproduction in farm animals Ath. Edition Lea and Febriger. Philadelphia.
- Kamler, E. 1992. Early life history of fish. An Energetic Approach Chapman and Hill, London.
- Lagler, K. F., 1972. Freshwater fishery biology. WMC. Brow Co. Publ. USA.
- Lovell, T. 1988. Nutrition and feeding of fish. An Ari Book. New York.
- Tang, U.M. dan R. Affandi. 2001. Biologi Reproduksi Ikan. P2KP2 Unri.