

AKTIVITAS OSMOREGULASI, RESPONS PERTUMBUHAN, DAN ENERGETIC COST PADA IKAN YANG DIPELIHARA DALAM LINGKUNGAN BERSALINITAS

Wahyu Pamungkas

Balai Penelitian dan Pemuliaan Ikan
Jl. Raya Sukamandi No. 2, Subang 41256
E-mail: baginfo_lrptbpat@yahoo.com; yhoe_pamungkas@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salinitas di perairan menimbulkan tekanan-tekanan osmotik yang dapat berbeda dengan tekanan osmotik di dalam tubuh organisme perairan. Hal tersebut menyebabkan organisme harus melakukan mekanisme osmoregulasi di dalam tubuhnya sebagai upaya untuk menyeimbangkan tekanan osmotik di dalam dan di luar tubuh. Proses osmoregulasi merupakan salah satu proses fisiologi yang terjadi dalam tubuh ikan untuk mengontrol konsentrasi larutan dalam tubuh agar seimbang dengan lingkungannya. Ketidakmampuan ikan dalam mengontrol keseimbangan osmotik dalam tubuhnya akan menyebabkan ikan stres dan dapat berakibat pada kematian ikan. Perubahan kondisi lingkungan juga akan mengakibatkan perubahan alokasi energi yang ada di dalam badan ikan. Energi yang seharusnya untuk pertumbuhan akan digunakan untuk melakukan aktivitas metabolisme yang meningkat sebagai akibat dari perubahan kondisi lingkungan. Hal tersebut mengakibatkan terhambatnya proses pertumbuhan. *Review* yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui aktivitas osmoregulasi, respons pertumbuhan, dan energi yang digunakan pada ikan yang dipelihara dalam media bersalinitas. Beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan tingkat metabolisme dan pertumbuhan pada ikan yang dipelihara pada kondisi salinitas yang berbeda.

KATA KUNCI: salinitas, tekanan osmotik, osmoregulasi, toleransi

PENDAHULUAN

Salinitas adalah jumlah total material dalam gram, termasuk ion-ion inorganik (sodium dan klorid, fosfor organik, dan nitrogen) dan senyawa kimia (vitamin dan pigmen tanaman), yang terdapat dalam 1 kg air atau dapat juga didefinisikan sebagai konsentrasi total ion yang

terdapat di perairan yang dinyatakan dalam satuan g/kg atau promil (‰). Salinitas air tawar kurang dari 0,5 ppt; sedangkan salinitas rata-rata di laut terbuka sekitar 35 ppt dan berkisar antara 33-37 ppt. Salinitas dapat bervariasi secara luas di daerah teluk dan estuari yang dipengaruhi oleh aliran arus, aliran air tawar, dan evaporasi (Stickney, 2000).

Salinitas di perairan menimbulkan tekanan-tekanan osmotik yang bisa berbeda dari tekanan osmotik di dalam tubuh organisme perairan, sehingga menyebabkan organisme tersebut harus melakukan mekanisme osmoregulasi di dalam tubuhnya sebagai upaya menyeimbangkan tekanan osmotik tubuh dengan tekanan osmotik lingkungan di luar tubuh (Fujaya, 1999). Lebih lanjut dinyatakan bahwa kisaran salinitas yang efektif untuk reproduksi dan pertumbuhan tergantung dari spesies dan bervariasi untuk tiap tingkatan umur serta dipengaruhi oleh faktor lingkungan lainnya seperti suhu. Ikan yang berada pada kondisi lingkungan yang mempunyai tekanan osmosis berbeda dengan tekanan osmosis dalam tubuhnya akan mengatur tekanan osmosis dalam tubuh agar seimbang dengan lingkungannya. Peristiwa pengaturan osmosis dalam tubuh ikan disebut dengan osmoregulasi. Ikan yang tidak mampu mengontrol proses osmoregulasi yang terjadi dalam tubuhnya akan mengalami stres dan berakibat pada kematian. Hal ini terjadi karena tidak adanya keseimbangan konsentrasi larutan tubuh dengan lingkungan, terutama pada saat ikan dipelihara pada lingkungan yang berada di luar batas toleransinya.

Semua proses yang terjadi dalam tubuh hewan selalu menyertakan perubahan energi. Perubahan salinitas yang menyebabkan terjadinya proses osmoregulasi akan mengakibatkan pula terjadinya peningkatan kebutuhan energi. Hal tersebut terjadi karena osmoregulasi merupakan suatu proses metabolik yang menuntut adanya transpor aktif ion-ion untuk menjaga konsentrasi garam dalam tubuh. Ikan harus mengambil atau mensekresi garam dari lingkungan untuk menjaga keseimbangan

kandungan garam dalam tubuhnya. Proses tersebut membutuhkan energi yang cukup besar (Stickney, 2000). Lebih lanjut dinyatakan bahwa pada saat salinitas lingkungan tidak sesuai dengan konsentrasi garam fisiologis dalam tubuh ikan, maka energi di dalam tubuh yang seharusnya digunakan untuk pertumbuhan akan digunakan untuk penyesuaian konsentrasi dalam tubuh dengan lingkungannya sehingga mengakibatkan proses pertumbuhan terhambat.

Pada makalah ini akan dijelaskan tentang aktivitas osmoregulasi pada ikan yang dipelihara dalam media bersalinitas, faktor yang berpengaruh terhadap proses osmoregulasi dan pengaruhnya terhadap aktivitas metabolik, serta pertumbuhan ikan. *Review* yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui aktivitas osmoregulasi, respons pertumbuhan, dan energi yang digunakan pada ikan yang dipelihara dalam media bersalinitas.

Osmoregulasi pada Ikan

Osmoregulasi adalah proses pengaturan konsentrasi cairan dengan menyeimbangkan pemasukkan serta pengeluaran cairan tubuh oleh sel atau organisme hidup, atau pengaturan tekanan osmotik cairan tubuh yang layak bagi kehidupan sehingga proses-proses fisiologis dalam tubuh berjalan normal. Rahardjo (1980) menyatakan bahwa osmoregulasi adalah pengaturan tekanan osmotik cairan tubuh yang layak bagi kehidupan ikan sehingga proses-proses fisiologis tubuhnya berjalan normal. Menurut Stickney (1979), salinitas berhubungan erat dengan proses osmoregulasi dalam tubuh ikan yang merupakan fungsi fisiologis yang membutuhkan energi. Organ yang berperan dalam proses tersebut antara lain ginjal, insang, kulit, dan membran mulut dengan berbagai cara. Jika sebuah sel menerima terlalu banyak air maka ia akan meletus, begitu pula sebaliknya, jika terlalu sedikit air maka sel akan mengerut dan mati (Wikipedia, 2009). Osmoregulasi juga berfungsi ganda sebagai sarana untuk membuang zat-zat yang tidak diperlukan oleh sel atau organisme hidup.

Osmoregulasi sangat penting pada hewan air karena tubuh ikan bersifat permeabel terhadap lingkungan maupun larutan garam. Sifat fisik lingkungan yang berbeda menyebabkan terjadinya perbedaan proses osmoregulasi antara ikan air tawar dengan ikan air laut. Pada ikan air tawar, air secara terus-menerus masuk ke dalam tubuh ikan melalui insang. Ini secara pasif berlangsung melalui suatu proses osmosis yaitu, terjadi sebagai akibat dari kadar garam dalam tubuh ikan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungannya. Dalam keadaan normal proses ini berlangsung seimbang. Ikan air tawar

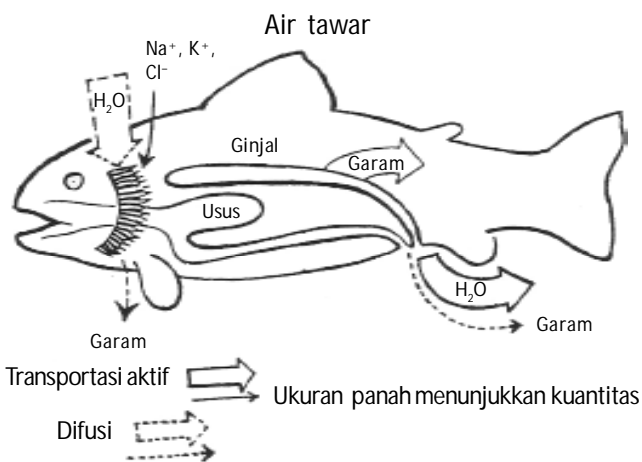
harus selalu menjaga dirinya agar garam tidak melarut dan lolos ke dalam air. Garam-garam dari lingkungan akan diserap oleh ikan menggunakan energi metaboliknya. Ikan mempertahankan keseimbangannya dengan tidak banyak minum air, kulitnya diliputi mucus, melakukan osmosis lewat insang, produksi urinnya encer, dan memompa garam melalui sel-sel khusus pada insang. Secara umum kulit ikan merupakan lapisan kedap, sehingga garam di dalam tubuhnya tidak mudah bocor ke dalam air. Satu-satunya bagian ikan yang berinteraksi dengan air adalah insang.

Cairan tubuh ikan air tawar mempunyai tekanan yang lebih besar dari lingkungan sehingga garam-garam cenderung keluar dari tubuh. Sedangkan ikan yang hidup di air laut memiliki tekanan osmotik lebih kecil dari lingkungan sehingga garam-garam cenderung masuk ke dalam tubuh dan air akan keluar. Agar proses fisiologis di dalam tubuh berjalan normal, maka diperlukan suatu tekanan osmotik yang konstan (Gambar 1).

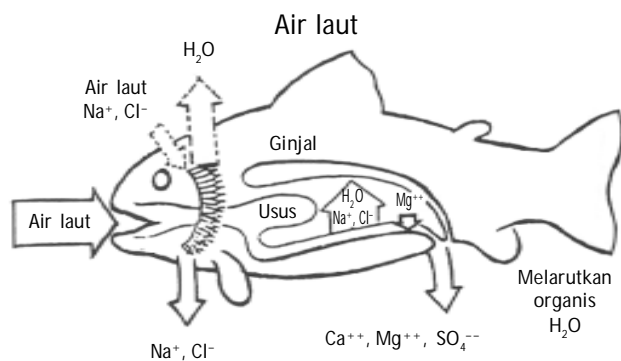
Pada ikan air laut terjadi kehilangan air dari dalam tubuh melalui kulit dan kemudian ikan akan mendapatkan garam-garam dari air laut yang masuk lewat mulutnya. Organ dalam tubuh ikan menyerap ion-ion garam seperti Na^+ , K^+ , dan Cl^- , serta air masuk ke dalam darah dan selanjutnya disirkulasi. Selanjutnya, insang ikan akan mengeluarkan kembali ion-ion tersebut dari darah ke lingkungan luar (Gambar 2).

Sifat osmotik air berasal dari seluruh elektrolit yang larut dalam air tersebut di mana semakin tinggi salinitas maka konsentrasi elektrolit makin besar sehingga tekanan osmotiknya makin tinggi (Mc Connaughey & Zottoli, 1983). Air laut mengandung 6 elemen terbesar, yaitu Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , dan SO_4^{2-} (lebih dari 90% dari garam terlarut) ditambah elemen yang jumlahnya kecil (unsur mikro) seperti Br^- , Sr^{2+} , dan B^+ . Ion-ion yang dominan dalam menentukan tekanan osmotik (osmolaritas) air laut adalah Na^+ (450 mM) dan Cl^- (560 mM) dengan porsi 3.061 dan 55,04% dari total konsentrasi ion-ion terlarut (Mc Connaughey & Zottoli, 1983; Nybakken, 1990; Boeuf & Payan, 2001; Mananes *et al.*, 2002).

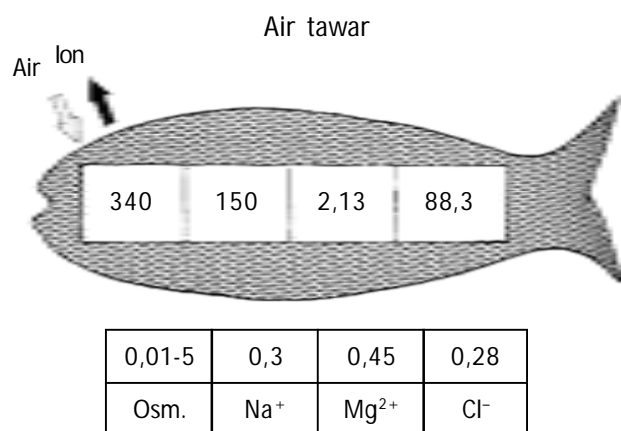
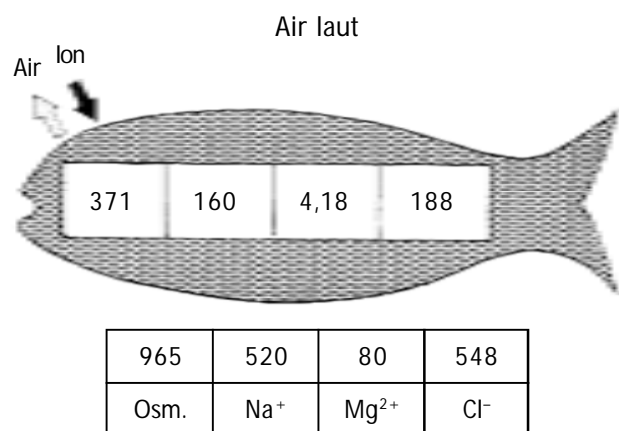
Pada saat ikan sakit, luka atau stres, proses osmosis akan terganggu sehingga air akan lebih banyak masuk ke dalam tubuh ikan dan garam lebih banyak keluar dari tubuh. Akibatnya beban kerja ginjal ikan untuk memompa air keluar dari dalam tubuhnya meningkat. Apabila hal tersebut terus berlangsung dapat menyebabkan ginjal menjadi rusak sehingga ikan mati. Pada keadaan normal ikan mampu memompa air kurang lebih 1/3 dari bobot total tubuhnya setiap hari. Penambahan garam ke dalam



Gambar 1. Osmoregulasi pada ikan air tawar (Sumber: Smith, 1982 dalam Fujaya, 1999)



Gambar 2. Osmoregulasi pada ikan air laut (Sumber: Smith, 1982 dalam Fujaya, 1999)



Gambar 3. Perbedaan osmolaritas dalam darah dan lingkungan pada ikan air laut dan air tawar (Sumber: Wikipedia, 2009)

air diharapkan dapat membantu menjaga ketidakseimbangan ini sehingga ikan tetap bertahan hidup dan mempunyai kesempatan untuk memulihkan dirinya dari luka atau penyakit. Tentunya dosis untuk ikan harus diatur sedemikian rupa sehingga kadar garamnya tidak lebih tinggi daripada kadar garam dalam darah ikan. Apabila kadar garam dalam air lebih tinggi dari kadar garam darah, efek sebaliknya akan terjadi, air akan keluar dari tubuh ikan dan garam masuk ke dalam darah, akibatnya ikan terdehidrasi dan akhirnya akan mati.

Modulator pada Proses Osmoregulasi

Sebagaimana fungsi tubuh yang lain, keterlibatan beberapa organ osmoregulasi diatur oleh hormon (Fujaya, 1999). Lebih lanjut dinyatakan bahwa kelenjar endokrin yang bertanggung jawab terhadap proses osmoregulasi antara lain pituitary, ginjal, dan urophysis melalui aksi beberapa hormonnya. Sejumlah penelitian juga telah melaporkan pentingnya sistem endokrin dalam mengon-

trol dan memodulasi permeabilitas dari insang dan transpor ion-ion.

Pada sebagian besar penelitian menyatakan bahwa terdapat dua hormon yang sangat penting dalam proses osmoregulasi yaitu hormon prolaktin dan kortisol. Prolaktin disekresikan oleh sel-sel yang berada di kelenjar pituitari ikan dan berperan penting dalam mencegah difusi Na⁺ keluar melalui membran permeable pada ikan-ikan air tawar. Hormon steroid yaitu kortisol, diproduksi dalam sel-sel internal di ginjal bagian atas (*head kidney*) dan berperan penting pada proses adaptasi ikan-ikan euryhaline pada perairan. Kortisol pada ikan teleostei euryhaline berperan dalam mengekskresikan ion melalui insang dengan menstimulasi sel-sel kloride untuk aktivitas proliferasi, diferensiasi, dan ekskresi karena *level* plasma kortisol meningkat selama periode migrasi atau transfer dari air tawar ke air laut. Oleh karena itu, kortisol dikenal sebagai "hormon air laut" (Morgan, 1997). Lebih lanjut dilaporkan pada beberapa penelitian terakhir menyatakan

bahwa kortisol juga berperan dalam osmoregulasi pada beberapa ikan air tawar. Hormon lain yang terlibat dalam osmoregulasi dan bekerja secara sinergis antara lain *growth hormone* dan *insulin-like growth factor*, *thyroxine*, dan *tri-iodothyrosine*, *catecholamines*, *glucagon*, *somastomastin*, *stanniocalcin*, *urotensin*, dan *natriuretic peptides*.

Faktor yang Berpengaruh Terhadap Proses Osmoregulasi

Osmoregulasi merupakan suatu fungsi fisiologis yang dikontrol oleh penyerapan selektif ion-ion melewati insang dan beberapa bagian tubuh lainnya dikontrol oleh pembuangan yang selektif terhadap garam-garam. Kemampuan osmoregulasi bergantung suhu, musim, umur, kondisi fisiologis, jenis kelamin, dan perbedaan genotip (Fujaya, 1999).

Pada udang, penurunan suhu menghasilkan penurunan kapasitas osmoregulasi (didefinisikan sebagai perbedaan antara osmolalitas haemolymph dan osmolalitas air laut) pada salinitas rendah atau *hyper-capacity osmotic* (hyper-CO) dan pada salinitas tinggi atau *Hypo-capacity osmotic* (hypo-CO), secara berurutan, di bawah dan di atas titik isoomotik (26,2 ppt). Pada udang dewasa, hyper-CO terpengaruh ketika suhu turun dari 26°C menjadi 22°C. Hypo-CO dipengaruhi oleh suhu hanya ketika suhu turun sampai 15°C. Selanjutnya, sensitivitas osmoregulasi terhadap perubahan suhu tergantung pada umur atau tingkat perkembangan udang di mana udang dewasa lebih sensitif dibandingkan yuwana. Nilai isoomotik, yang tidak tergantung pada tingkat perkembangan larva, meningkat ketika suhu turun sampai 17°C atau 15°C (Lemaire *et al.*, 2002).

Toleransi suhu dan pertumbuhan optimal ikan dipengaruhi oleh salinitas karena interaksi keduanya berpengaruh terhadap osmoregulasi. Pada ikan *red hybrid tilapia*, konsumsi pakan dan pertumbuhan pada 0 ppt meningkat maksimum pada suhu 27°C (80°F), sementara pada salinitas 18 dan 36 ppt, konsumsi dan pertumbuhan sangat tinggi pada suhu 32°C (90°F). Pada ikan air tawar, pemanasan air hingga suhu di atas 27°C (80°F) tidak dapat dibenarkan, sedangkan pada ikan air payau, pemanasan air hingga 32°C (90°F) dapat meningkatkan rata-rata pertumbuhan. Pada *Marsupenaeus japonicus*, toleransi salinitas yang lebih rendah adalah pada 5,4 ppt pada suhu 25°C (77°F), tetapi pada salinitas 19,3 ppt pada suhu 10°C (50°F). Di bawah suhu rendah, mortalitas terendah terjadi ketika salinitas air isoomotik dengan hemolimph udang (Stickney, 2000).

Menurut Stickney (2000), toleransi suhu rendah pada beberapa spesies ikan dipengaruhi oleh salinitas. Sebagai

contoh, pada ikan *red hybrid tilapia*, efisiensi pertumbuhan maksimum yang dipelihara di suhu 22°C, 28°C, dan 32°C (72°F, 82°F, dan 90°F) lebih tinggi pada salinitas 18 ppt dibandingkan pada salinitas 0 atau 36 ppt, meskipun perbedaan tersebut dapat dinyatakan pada suhu 22°C (72°F). Penelitian dengan sejumlah spesies tilapia, termasuk *O. aureus*, *Sarotherodon melanotheron*, *O. mossambicus*, dan *red hybrid tilapias*, menunjukkan bahwa ikan mempunyai toleransi lebih baik pada suhu lebih rendah ketika dipelihara pada salinitas air payau yang rendah (5-12 ppt) dibandingkan pada air tawar atau pada air laut, hal ini disebabkan stres karena osmoregulasi diminimumkan sampai mendekati salinitas isoomotik. Oleh karena itu, kegagalan osmoregulasi dicegah pada suhu yang lethal dalam kondisi media *hypo* atau *hyper* osmotik. Pada *red drum*, toleransi pada suhu dingin juga ditingkatkan dengan memelihara ikan pada salinitas 5-10 ppt.

Efek Perubahan Salinitas Terhadap Aktivitas Metabolik dan Respons Pertumbuhan pada Ikan

Salinitas merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap sintasan, metabolisme, dan distribusi larva ikan air laut (Olla & Davis, 1992). Perubahan salinitas berpengaruh terhadap larva antara lain terhadap konsentrasi total osmotik, konsentrasi partikel ion, dan ketersediaan oksigen karena terdapat korelasi antara ketiganya. Osmoregulasi merupakan proses metabolik yang membutuhkan transpor aktif untuk menjaga konsentrasi kadar garam dalam tubuh. Kadar garam yang lebih di dalam tubuh hewan akuatik harus digunakan atau diekskresikan dan dalam hal ini banyak energi yang dibutuhkan untuk proses tersebut sehingga energi untuk pertumbuhan tidak tercukupi sehingga menyebabkan pertumbuhan terhambat. Spesies ikan-ikan perairan tawar dan ikan-ikan perairan laut yang *stenohaline* beradaptasi secara fisiologis terhadap salinitas yang berbeda dengan konsentrasi di dalam tubuhnya. Spesies-spesies tersebut secara umum menunjukkan pertumbuhan optimal pada perairan dengan salinitas yang sama dan hal tersebut terjadi secara alami pada ikan (Stickney, 2000).

Menurut Woo & Kelly (1995), pertumbuhan yang optimum pada ikan akan dicapai pada kondisi salinitas isoomotik, hal tersebut terjadi karena pada kondisi isoomotik ikan atau organisme akuatik lainnya tidak memerlukan energi yang besar untuk proses osmoregulasi sehingga energi yang digunakan untuk pertumbuhan lebih banyak. Selain itu, faktor lain yang juga berpengaruh adalah konsumsi pakan di mana pakan berperan sebagai sumber energi bagi organisme akuatik

untuk melakukan aktivitas dan metabolisme. Beberapa fakta menunjukkan bahwa energi (protein) yang lebih tinggi dibutuhkan pada kondisi salinitas lingkungan yang lebih tinggi (De Silva & Perera, 1976), hal tersebut berkaitan dengan peningkatan energi metabolisme untuk aktivitas osmoregulasi pada salinitas yang lebih tinggi.

Spesies euryhaline dapat tumbuh baik pada salinitas dengan kisaran yang lebih tinggi atau lebih luas pada ikan tilapia yang euryhaline, respons pertumbuhan terhadap salinitas cukup bervariasi di antara spesies. Beberapa spesies (misalnya, *O. niloticus* dan *O. aureus*) mungkin dapat diadaptasikan pada kadar salinitas air laut, tetapi pertumbuhan lemah di bawah kondisi tersebut. Pada spesies yang lain (*O. mossambicus*, *O. hornorum* hybrid, *O. spilurus*, dan *red hybrid tilapia*), tumbuh lebih tinggi pada perairan payau dan air laut dibandingkan di air tawar. Hal ini mengindikasikan adanya keuntungan budidaya tilapia di air payau atau air laut. Pada *red hybrid tilapia*, dikaitkan dengan meningkatnya konsumsi pakan (nafsu makan) dan menurunnya tingkat konversi pakan dengan meningkatnya salinitas (Opstad, 2003).

Pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan ikan tidak hanya berkaitan dengan total konsentrasi padatan terlarut, tetapi juga dipengaruhi oleh konsentrasi ion divalent (Ca_2C and Mg_2C) karena pengaruhnya terhadap membran permeable dan osmoregulasi. Konsentrasi kalsium yang tinggi di lingkungan membantu mengurangi kehilangan garam melalui insang dan permukaan tubuh pada lingkungan perairan tawar, sehingga sedikit kerja ginjal untuk menjaga konsentrasi garam-garam dalam darah. Hal tersebut yang menyebabkan beberapa spesies ikan air laut mampu hidup di perairan tawar. Telur dan larva *red drum* membutuhkan salinitas di atas 25 ppt, sedangkan yuana dapat dipelihara di perairan tawar dengan alkalinitas 100 mg/L (Stickney, 2000). Pakan dapat menjadi sumber garam penting untuk ikan-ikan euryhaline. Pada ikan *red drum* laut euryhaline (*S. ocellatus*), faktor pembatas pertumbuhan yang berkaitan dengan defisiensi garam pada media hipotonik dapat diatasi dengan menambahkan garam (NaCl) ke dalam pakan. Pada Atlantik salmon (*S. salar*), ikan yang muda, penambahan garam dalam pakan tidak berarti pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan efisiensi pakan pada pemeliharaan ikan tersebut di perairan tawar.

Pertumbuhan relatif pada salinitas yang berbeda merefleksikan kebutuhan energi untuk osmoregulasi pada berbagai salinitas, yang tergantung pada besarnya pengaruh non osmoregulasi pada metabolisme. Pada *O. mossambicus*, *O. urolepis hornorum* hybrids, perbedaan yang berkaitan dengan salinitas pada tingkat metabolik total

tidak dapat dihubungkan dengan perubahan pada energi untuk osmoregulasi, yang mengindikasikan bahwa faktor non osmoregulasi yang lain (kebiasaan hidup) juga berpengaruh terhadap tingkat metabolisme. Opstad (2003) menyatakan bahwa keuntungan salinitas isoosmotik untuk larva ikan teleostei dapat mengurangi aktivitas metabolik (untuk mengatur cairan tubuh dalam rangka memperbaiki level tekanan osmotik mendekati normal) dan dengan demikian, meningkatkan tingkat pertumbuhan. Ikan *Cypinodon macularius* muda memperlihatkan perbedaan pada pengambilan makanan pada salinitas yang berbeda; sebagai contoh, pada suhu 30°C sebagian besar pakan dimakan pada salinitas 35 ppt, kurang dikonsumsi pada salinitas 15 ppt dan 55 ppt dan paling sedikit mengkonsumsi pakan pada perairan tawar.

Energetic Cost pada Proses Osmoregulasi

Bioenergetika merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang aliran energi dan transformasi energi pada makhluk hidup dan lingkungannya atau sejumlah pertukaran dan transformasi energi dan materi antara organisme hidup dengan lingkungannya (Lucas, 2002). Energi dibutuhkan oleh semua makhluk hidup untuk memelihara dan menjaga keseimbangan tubuhnya. Sebagian besar tumbuhan memperoleh energi secara langsung dari matahari dan menggunakan energi tersebut untuk mensintesis molekul kompleks yang menyusun struktur dan bagian dari tubuh tumbuhan. Sementara hewan tidak dapat menggunakan energi dari matahari. Hewan mendapatkan energi dari oksidasi molekul kompleks yang dimakan oleh hewan tersebut. Energi dalam pakan tidak tersedia hingga molekul kompleks dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana melalui proses pencernaan. Produk dari pencernaan kemudian diserap ke dalam tubuh oleh hewan di mana terjadi proses oksidasi yang melepaskan energi (Halver, 1989). Lebih lanjut dinyatakan bahwa energi yang masuk ke dalam tubuh hewan akan dipecah untuk berbagai proses yang membutuhkan banyak energi. Besarnya energi untuk tiap-tiap bagian tergantung pada jumlah energi yang masuk atau dikonsumsi dan kemampuan ikan dalam mencerna dan memanfaatkan energi tersebut. Besarnya energi yang hilang sebagai *fecal energy*, energi yang terdapat di urin dan ekskresi dari insang, serta produksi panas tergantung dari pakan dan tingkat pemberian pakan. Energi yang tersisa akan digunakan untuk pertumbuhan dan reproduksi.

Kebutuhan energi untuk pemeliharaan (*maintenance*) dan aktivitas harus terpenuhi sebelum nantinya pertumbuhan dapat terjadi. Tingkat pemberian pakan

harus mencukupi untuk menyediakan kebutuhan energi untuk pemeliharaan dan masih tersedia untuk pertumbuhan. Jika energi yang masuk atau dikonsumsi kurang memenuhi kebutuhan, maka energi yang tersimpan dalam tubuh akan digunakan dan mengakibatkan hewan akan kehilangan bobotnya.

Lucas (2002) menyatakan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme adalah faktor internal dan eksternal. Faktor internal yaitu hormon, parasit, infeksi penyakit, agen stress, dan status fisiologi dari hewan terkait dengan genetik, umur, reproduksi, dan sebagainya. Faktor eksternal yang penting antara lain pakan (untuk semua hewan), suhu, konsentrasi oksigen, salinitas, dan turbiditas.

Energi atau materi yang masuk atau dikonsumsi oleh ikan akan digunakan oleh ikan untuk berbagai proses dalam tubuhnya. Besarnya konsumsi akan berpengaruh terhadap pembagian energi dalam tubuh. Sesuai dengan hukum Termodinamika I bahwa energi atau materi yang masuk sama dengan energi atau materi yang keluar atau dihasilkan. Aliran atau transformasi energi yang terjadi dalam tubuh ikan akan berjalan secara normal pada saat kondisi lingkungan konstan atau optimal untuk kehidupan ikan (Gambar 4).

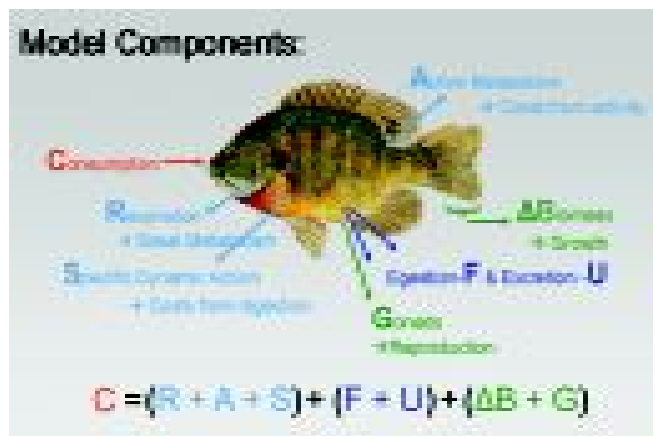
Perubahan kondisi lingkungan akan mengakibatkan perubahan alokasi energi yang ada di dalam tubuh ikan. Energi yang seharusnya untuk pertumbuhan akan digunakan untuk melakukan aktivitas metabolisme yang meningkat sebagai akibat dari perubahan kondisi lingkungan, hal ini disebabkan ikan harus melakukan pengaturan kondisi tubuhnya untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Perubahan salinitas lingkungan menyebabkan ikan membutuhkan banyak energi untuk melakukan proses osmoregulasi mengatur tekanan

osmotik tubuhnya agar seimbang dengan lingkungannya. Besarnya energi yang dibutuhkan tergantung dari kemampuan ikan dalam menyesuaikan diri dengan lingkungan dan besarnya konsumsi (energi) yang masuk dalam tubuh ikan. Kondisi tersebut menyebabkan terhambatnya pertumbuhan ikan atau menurunnya laju pertumbuhan karena kurangnya energi yang tersedia untuk pertumbuhan.

Morgan & Iwama (1991) menyatakan bahwa (1) tingkat metabolik minimum terjadi pada saat kondisi salinitas yang isotonik dan meningkat pada saat terjadi perbedaan salinitas, (2) terdapat hubungan yang linear antara tingkat metabolik dan perubahan salinitas, (3) tingkat metabolik meningkat pada kondisi perairan tawar dan berkurang pada kondisi salinitas isotonik, (4) tingkat metabolik tertinggi terjadi pada kondisi perairan laut. Lebih lanjut dinyatakan bahwa pada *Salmonids*, tingkat metabolik yang lebih tinggi pada saat berada di salinitas yang lebih tinggi menggambarkan *cost* energi yang signifikan disertai dengan penurunan tingkat pertumbuhan dan berkorelasi positif dengan perubahan konsumsi oksigen. Imsland *et al.* (2008) menyatakan bahwa pemeliharaan yuwana Atlantik halibut pada salinitas yang lebih rendah menghasilkan tingkat osmoregulasi dan aktivitas metabolik yang lebih rendah dan selanjutnya mengurangi besarnya energi yang digunakan/dibelanjakan sehingga menghasilkan tingkat pertumbuhan yang lebih tinggi pada salinitas yang lebih rendah dibandingkan pada salinitas tinggi.

Boef & Payan (2001) menyatakan bahwa 20%-68% dari total energi yang dialokasikan digunakan untuk osmoregulasi pada spesies yang berbeda. Pada ikan tilapia hybrid, tingkat konsumsi oksigen (*osmoregulation cost*) 16% lebih tinggi di perairan tawar dan 12% lebih tinggi di perairan laut dibandingkan dengan kondisi *isosalinity* atau isoosmotik (Febry & Lutz, 1987). Perbedaan konsentrasi antara lingkungan dan internal tubuh ikan berpengaruh terhadap total kerja osmotik dan persentase tingkat metabolik dalam tubuh. Ikan yang mempunyai konsentrasi dalam darahnya lebih tinggi dari lingkungan menunjukkan total kerja osmotik dan persentase tingkat metabolik yang lebih rendah daripada organisme akuatik yang konsentrasi dalam darahnya lebih rendah dari konsentrasi lingkungannya. Pada saat tekanan atau konsentrasi lingkungan lebih tinggi dibandingkan tekanan atau konsentrasi di dalam tubuh, maka akan terjadi kerja osmotik yang tinggi pada tubuh ikan sehingga energi yang dibebaskan untuk proses tersebut lebih besar.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan tingkat metabolisme dan pertumbuhan yang



Gambar 4. Model bioenergetika pada ikan (Sumber: Wikipedia, 2009)

berbeda pada hewan akuatik yang dipelihara pada kondisi salinitas yang berbeda. Penelitian Febry & Lutz (1987) terhadap ikan tilapia hybrid yang diaklimatisasi pada kondisi lingkungan tawar (0 ppt), isoosmotik (12 ppt), dan air laut (35 ppt) menunjukkan adanya perbedaan tingkat metabolisme yang ditunjukkan dengan perbedaan laju konsumsi oksigen (Tabel 1).

Hasil penelitian Febry & Lutz (1987) menunjukkan bahwa pada kondisi lingkungan yang isoosmotik tingkat metabolisme saat berenang pada ikan tilapia, yang ditunjukkan dari tingkat laju konsumsi oksigen, lebih kecil dibandingkan tingkat metabolisme ikan tilapia yang berada dalam kondisi lingkungan air tawar ataupun air laut. Konsentrasi lingkungan pada air tawar lebih rendah dari konsentrasi dalam darah ikan. Adapun pada kondisi lingkungan salinitas yang isotonik, konsentrasi lingkungan hampir sama dengan konsentrasi dalam darah,

dan pada air laut konsentrasi lingkungan lebih tinggi daripada konsentrasi dalam darah. Kondisi seperti ini berpengaruh terhadap jumlah energi yang digunakan untuk menyesuaikan konsentrasi di dalam tubuh dengan lingkungan dan energi yang digunakan untuk pertumbuhan. Hal tersebut terbukti berpengaruh terhadap karakter morfometrik ikan yang ditunjukkan dengan adanya perubahan dalam pertumbuhan sebagaimana yang disajikan pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kondisi salinitas yang isoosmotik menghasilkan bobot dan panjang tubuh ikan yang lebih tinggi dari kedua lingkungan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang isoosmotik menyebabkan tidak adanya kerja osmotik pada ikan sehingga tingkat metabolisme juga tidak meningkat dan energi yang ada dapat digunakan secara optimal untuk pertumbuhan.

Tabel 1. Tingkat konsumsi oksigen dan kebutuhan oksigen saat berenang pada ikan yang diaklimatisasi pada lingkungan air tawar (0 ppt), isoosmotik (12 ppt), dan air laut (35 ppt)

Kecepatan renang		Media aklimatisasi					
		Air tawar		Isoosmotik air laut		Air laut	
(Ls ⁻¹)	(cms ⁻¹)	Total laju metabolik (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Biaya bersih* (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Total laju metabolik (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Biaya bersih* (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Total laju metabolik (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Biaya bersih* (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)
0	0	89	0	98	0	102	0
0,6	10	116	27	121	23	129	27
1,2	20	151	62	149	51	163	61
1,8	30	197	108	183	85	206	104
2,4	40	257	168	225	127	261	159

L : Panjang badan

* Total tingkat metabolisme berenang dikurangi total tingkat metabolisme istirahat

Sumber: Febry & Lutz (1987)

Tabel 2. Rata-rata karakteristik morfometrik dari ikan uji

Parameter	Media			
	Air tawar	Isoosmotik air laut	Air laut	Keseluruhan
Massa (g)	57,65	72,68	61,94	63,02
Jarak	22,8-170,0	31,4-132,5	24,5-121,8	22,8-170,0
Panjang (cm)	15,5	17,2	16,4	16,2
Jarak	10,7-22,7	13,0-22,4	11,3-21,3	10,7-22,7
Faktor kondisi [*]	1,35	1,35	1,35	1,35
Jarak	1,14-1,86	1,15-1,67	1,25-1,70	1,14-1,86
N	16	10	10	36

* Faktor kondisi = (massa/panjang³) x 100

Sumber: Febry & Lutz (1987)

KESIMPULAN

Perubahan salinitas pada lingkungan budidaya sangat berpengaruh terhadap tingkat metabolisme dan pertumbuhan pada ikan. Lingkungan yang optimal akan meningkatkan sintasan dan pertumbuhan ikan, oleh karena itu, diperlukan lingkungan pemeliharaan yang dapat mendukung kebutuhan hidup ikan secara optimal dengan memperhatikan faktor lingkungan dan asupan energi yang dibutuhkan secara tepat.

DAFTAR ACUAN

- Boeuf, G. & Payan, P. 2001. How should salinity influence fish growth? *Comp. Biochem. Physiol.*, C 130: 411-423.
- De Silva, S.S. & Perera, P.A.B. 1976. Studies on the young grey mullet, *Mugil cephalus* L.I. Effects of salinity on food intake, growth and food conversion. *Aquaculture*, 7: 327-338.
- Febry, R. & Lutz, P. 1987. Energy partitioning in fish: The activity related cost of osmoregulation in a Euryhaline cichlid. *J. exp. Biol.*, 128: 63-85.
- Fujaya, Y. 1999. Fisiologi Ikan. Jurusan Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin Makasar, 217 hlm.
- Halver, J.E. 1989. Fish Nutrition. Academic Press, INC. San Diego. California, 798 pp.
- Imstrand, A.K., Gustavsson, A., Gunnarsson, S., Foss, A., Arnason, J., Arnarson, I., Jonsson, A.F., Smaradottir, H., & Thorarensen, H. 2008. Effects of reduced salinities on growth, feed conversion efficiency and blood physiology of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 274: 254-259.
- Opstad, I. 2003. Growth and survival of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae at different salinities. *The Big Fish Bang. Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference. 2003*, p. 63-69.
- Lucas, A. 2002. Bioenergetic of Aquatic Animals. Taylor & Francis e-Library, 169 pp.
- Mananes, A.A.L., Meligeni, C.D., & Goldemberg, A.L. 2002. Response to Environmental Salinity of Na⁺, K⁺, ATPase in Individual Gills of The Euryhaline Crab *Cyrtograpsus angulatus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 274: 75-85.
- Mc Connaughey, B.H. & Zottoli, R. 1983. Introduction to Marine Biology. Moscy Co, London.
- Nybakken, J.W. 1990. Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis. Terjemahan dari: Marine Biology and Ecological Approach By: Eidman, H.M., Koesoebiono, DG., Bengen, M., Hutomo, M., & Sukardjo, S. PT Gramedia, Jakarta.
- Morgan, J.D. & Iwama, G.K. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 48: 2,083-2,094.
- Morgan, J.D. 1997. *Energetic aspect of osmoregulation in fish*. Thesis. The University of British Columbia, 156 pp.
- Norman, Y., Woo, S., & Scott, P.K. 1995. Effects of salinity and nutritional status on growth and metabolism of *Sparus sarba* in a closed seawater system. *Aquaculture*, 135: 229-238.
- Olla, B.L. & Davis, M.W. 1992. Phototactic responses of unfed walleye pollock larvae comparisons with other measures of condition. *Environmental Biology of Fishes*, 35: 105-108.
- Lemairea, P., Bernarda, E., Martinez-Pazb, J.A., & Chima, L. 2002. *Aquaculture*, JUN, 209(1-4): 307-317.
- Rahadjo, M.F. 1980. Ikhtiologi. Sistem Urogenetal. Fakultas Perikanan, IPB. Bogor, hlm. 85-96.
- Stickney, R.R. 1979. Principles of Warmwater Aquaculture. John Willey and Sons. New York, 375 pp.
- Stickney, R.R. 2000. Encyclopedia of aquaculture. A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc. The United States of America, 1,063 pp.
- Wikipedia. 2009. Osmoregulasi. <http://id.wikipedia.org/wiki/Osmoregulasi>.
- Woo, N.Y.S. & Kelly, S.P. 1995. Effects of salinity and nutritional status on growth and metabolism of *Sparus sarba* in a closed seawater system. *Aquaculture*, 135: 229-238.