

NUTRISI DAN PAKAN IKAN

PROF. DR. IR. HADIJAH, M.SI | PROF. DR. IR. ZAINUDDIN, M.SI

Azkiya Publishing



NUTRISI DAN PAKAN IKAN

PROF. DR. IR. HADIJAH, M.SI | PROF. DR. IR. ZAINUDDIN, M.SI
SRI MULIANI WAHDANINGSIH, S.PI. | MULIATI SEHE, S.PI.
HASNAH, S.PI. | HADASIAH, S.PI. | FITRIA | IRIANI, S.PI.
MIFTAHUL JANNAH R, S.PI | AWALUDIN ARIF, S.PI.
RISYMA YANTI, S.PI. | ASRIATI, S.PI. | HESBERT SIAHAYA, S.PI.



Nutrisi merupakan ilmu peningkatan gizi suatu organisme. Secara spesifik, nutrisi mengkaji makanan dalam kaitannya dengan kesehatan suatu organisme. Nutrisi melibatkan berbagai reaksi kimiawi dan proses-proses fisiologis yang mengubah bentuk makanan menjadi jaringan tubuh dan aktivitas. Nutrisi ikan, keterlibatannya dalam budidaya perikanan, menggambarkan lebih dari sekedar memberi makan pada ikan. Nutrisi ikan menjadi suatu ilmu yang membahas tentang keterkaitan atau interaksi antara suatu nutrient dengan berbagai bagian dari organisme hidup, termasuk komposisi pakan, pemanfaatan pakan oleh tubuh, pelepasan energi yang diproduksi, sintesis untuk pertahanan dan perawatan, pertumbuhan, reproduksi, dan kontrol terhadap limbah yang dihasilkan.

AZKIYA PUBLISHING
Anggota KAP1
Perumahan Bukit Goh Arcadia
Housing E6 no 10
Lewiwadung Gunung Putri
Website: www.azkiyapublishing.com

Didistribusikan Oleh
PUSTAKA AQ
Nyitran MG II 14020 Yogyakarta
pustaka.aq@gmail.com



Karya Ilmiah Populer

NUTRISI DAN PAKAN IKAN

PROF. DR. IR. HADIJAH, M.SI.
PROF. DR. IR. ZAINUDDIN, M.SI.
SRI MULIANI WAHDANINGSIH, S.PI.
MULIATI SEHE, S.PI.
HASNAH, S.PI.
HADASIAH, S.PI.
FITRIA IRIANI, S.PI.
MIFTAHUL JANNAH R, S.PI
AWALUDIN ARIF, S.PI.
RISY MAYANTI, S.PI.
ASRIATI, S.PI.
HESBERT SIAHAYA, S.PI.

Azkiya Publishing 2024

Penulis : Prof. Dr. Ir. Hadijah, M.Si | Prof. Dr. Ir. Zainuddin, M.Si
Sri Muliiani Wahdaningsih, S.Pi | Muliati Sehe, S.Pi | Hasnah, S.Pi | Hadasiah, S.Pi
Fitria Iriani, S.Pi | Miftahul Jannah R, S.Pi | Awaludin Arif, S.Pi | Risymayanti, S.Pi
Asriati, S.Pi | Hesbert Siahaya, S.Pi.

Editor : Mas'ud Muhammadiyah
Abdul Kodir

Layout: Mahdi

Desain Cover : Bahtera Abk Art

Diterbitkan Oleh :

Azkiya Publishing

Anggota IKAPI

Prum Bukit Golp Arcadia Housing F6 No 10

Leuwinanggung Gunung Putri Bogor

Didistribusikan Oleh:

Pustaka AQ

Nyutran MG II 14020 Yogyakarta

pustaka.aq@gmail.com

HP 0895603733059

ISBN : 978-623-475-120-8

14.8x21 cm = vi+132 halaman

Cetakan Pertama Agustus 2024

Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-undang

Dilarang Mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit. Isi dilaur tanggung jawab percetakan.

Ketentuan Pidana Pasal 72 UU No 19 Tahun 2002

Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (2) dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah) atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/ atau denda paling banyak 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan buku yang berjudul "Nutrisi dan Pakan Ikan" ini. Buku ini disusun sebagai panduan komprehensif untuk memahami aspek-aspek penting dari nutrisi dan pakan dalam budidaya ikan, yang merupakan faktor krusial dalam menjamin pertumbuhan, kesehatan, dan produktivitas ikan.

Buku ini mengajak pembaca untuk memahami berbagai konsep dasar tentang nutrisi ikan, termasuk jenis-jenis nutrisi yang dibutuhkan, fungsi masing-masing nutrisi, dan bagaimana kebutuhan nutrisi tersebut dapat dipenuhi melalui pakan yang tepat. Kami juga menyajikan berbagai jenis pakan yang dapat digunakan dalam budidaya ikan, baik pakan alami maupun pakan buatan, serta teknik-teknik pemberian pakan yang efektif dan efisien. Selain itu, kami membahas faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan nutrisi ikan, seperti spesies, umur, kondisi lingkungan, dan tahap pertumbuhan, serta memberikan panduan praktis untuk mengoptimalkan pemberian pakan guna mencapai hasil budidaya yang maksimal.

Buku ini hadir berkat kerjasama semua penulis yang merupakan dosen dan mahasiswa program studi Budidaya Perairan Program Pasca sarjana Universitas Bosowa angkatan tahun 2023. Tentu saja diharapkan dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi para petani ikan, mahasiswa, peneliti, dan semua pihak yang tertarik pada bidang perikanan. Melalui pemahaman yang lebih baik tentang nutrisi dan pakan ikan, diharapkan para pelaku budidaya ikan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas usahanya, sehingga dapat memberikan kontribusi yang lebih besar bagi ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat.

Tak lupa, kami menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusinya dalam penyusunan buku ini. Terima kasih kepada rekan-rekan sejawat yang telah berbagi ilmu dan pengalaman, keluarga yang selalu memberikan dukungan moral, serta teman-teman yang terus memberikan motivasi dan semangat. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para reviewer dan editor yang telah memberikan masukan berharga untuk penyempurnaan buku ini.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang perikanan. Selamat membaca!

Makassar, Agustus 2024
Tim Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| KATA PENGANTAR | III |
| DAFTAR ISI | V |
| BAB I PERAN NUTRISI PADA BUDIDAYA IKAN | 1 |
| BAB II TERMINOLOGI IKAN DAN KLASIFIKASI PAKAN | 3 |
| 2.1. Terminologi Pakan | 3 |
| 2.2. Persyaratan Pakan | 5 |
| 2.3. Klasifikasi Pakan | 5 |
| BAB III PENCERNAAN IKAN | 12 |
| 3.1. Saluran Pencernaan | 12 |
| 3.2. Proses Penyerapan Makanan | 22 |
| 3.3. Tempat Penyerapan Makanan | 24 |
| BAB IV JENIS-JENIS ENZIM PENCERNAAN | 26 |
| 4.1. Pendahuluan | 26 |
| 4.2. Enzim | 28 |
| 4.3. Kelenjer Pencernaan | 36 |
| 4.4. Cara Kerja Enzim | 38 |
| 4.5. Faktor Yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim Pencernaan | 40 |
| 4.6. Konsentrasi Subrat | 46 |
| BAB V PROSES PENYERAPAN MAKANAN | 47 |
| 5.1. Pencernaan | 47 |
| 5.2. Protein | 48 |
| 5.3. Karbohidrat | 51 |
| 5.4. Lemak | 62 |

| | |
|--|------------|
| BAB VI BIOENERGETIKA PAKAN | 79 |
| 6.1. Latar Belakang | 79 |
| 6.2. Energi | 80 |
| 6.3. Persamaan Energi | 81 |
| 6.4. Aliran Energi | 83 |
| | |
| BAB VII KEBUTUHAN ENERGI | 99 |
| 7.1. Pengaruh Suhu Air Terhadap Kebutuhan Energi Ikan ... | 99 |
| 7.2. Strategi Adaptif dan Kebutuhan Energi | 101 |
| 7.3. Kebutuhan Energi dalam Akuakultur | 102 |
| 7.4. Ekskresi Limbah Nitrogen | 103 |
| 7.5. Mekanisme Ekskresi Limbah Nitrogen | 103 |
| 7.6. Proses Ekskresi | 104 |
| 7.7. Faktor yang Mempengaruhi Ekskresi Limbah Nitrogen | 104 |
| 7.8. Manajemen Ekskresi Limbah Nitrogen dalam Akuakultur | 106 |
| 7.9. Desain Sistem Akuakultur | 107 |
| 7.10. Faktor yang Mempengaruhi Kebutuhan Energi | 108 |
| 7.11. Pendukung dan Transportasi | 112 |
| | |
| BAB VIII BAHAN PENYUSUNAN PAKAN | 114 |
| | |
| BAB IX PERTUMBUHAN IKAN | 115 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 118 |
| | |
| TENTANG PENULIS | 124 |

BAB I

PERAN NUTRISI PADA BUDIDAYA IKAN

Tujuan utama pemeliharaan ikan adalah diperolehnya konversi yang efisien dari pakan menjadi daging yang dapat dikonsumsi manusia. Dibanding dengan hewan lain, ikan mampu mengubah pakan yang dikonsumsi menjadi makanan dalam bentuk daging ikan dengan sangat efisien. Pemahaman terhadap nutrisi, kebutuhan nutrisi, pakan ikan dan sistem pencernaan ikan merupakan konsep dasar yang sangat penting dalam keberhasilan pemeliharaan ikan.

Nutrisi merupakan ilmu peningkatan gizi suatu organisme. Secara spesifik, nutrisi mengkaji makanan dalam kaitannya dengan kesehatan suatu organisme. Nutrisi melibatkan berbagai reaksi kimiawi dan proses-proses fisiologis yang mengubah bentuk makanan menjadi jaringan tubuh dan aktivitas. Nutrisi ikan, keterlibatannya dalam budidaya perikanan, menggambarkan lebih dari sekedar memberi makan pada ikan. Nutrisi ikan menjadi suatu ilmu yang membahas tentang keterkaitan atau interaksi antara suatu nutrient dengan berbagai bagian dari organisme hidup, termasuk komposisi pakan, pemanfaatan pakan oleh tubuh, pelepasan energi yang diproduksi, sintesis untuk pertahanan dan perawatan, pertumbuhan, reproduksi, dan kontrol terhadap limbah yang dihasilkan.

Nutrisi merupakan ilmu peningkatan gizi suatu organisme. Secara spesifik, nutrisi mengkaji makanan dalam kaitannya dengan kesehatan suatu organisme. Nutrisi melibatkan berbagai reaksi kimiawi dan proses-proses fisiologis yang mengubah bentuk makanan menjadi jaringan tubuh dan aktivitas. Hal tersebut melibatkan pemangsa atau penelanan, pencernaan, dan absorpsi dari berbagai nutrient. Nutrisi ikan memberikan pengetahuan tentang konsep dasar berbagai komponen nutrisi dan

non nutrisi serta kebutuhannya oleh berbagai jenis ikan, baik ikan tawar, payau, maupun laut, serta berbagai faktor yang mempengaruhi kualitas pakan, baik langsung ataupun tidak langsung. Komponen nutrisi meliputi makro-nutrient dan mikro nutrient, sedangkan komponen non-nutrisi meliputi non nutrient Ikan dalam hal ini meliputi : finfish, crustacea, Bivalvia, maupun gastropoda.

Tujuan utama pemeliharaan ikan adalah diperolehnya konversi yang efisien dari pakan menjadi daging yang dapat dikonsumsi manusia. Dibanding dengan hewan lain, ikan mampu mengubah pakan yang dikonsumsi menjadi makanan dalam bentuk daging ikan dengan sangat efisien. Pemahaman terhadap nutrisi, kebutuhan nutrisi, dan sistem pencernaan ikan merupakan konsep dasar yang sangat penting dalam keberhasilan pemeliharaan ikan.

Pentingnya ilmu nutrisi ikan dipelajari karena pertumbuhan ikan berhubungan langsung dengan hal berikut pakan yang cukup dan gizi yang seimbang. Pada padat tebar tinggi diperlukan pengelolaan pakan, terutama pakan buatan. Penggunaan pakan buatan diharapkan dapat meningkatkan produksi. Pakan ikan harus ekonomis dan efisien, selain itu bahan baku pakan harus memenuhi syarat sesuai ketentuan.

BAB II

TERMINOLOGI DAN KLASIFIKASI PAKAN

2.1. Terminologi pakan

Dalam pengertian sehari-hari orang sering keliru dalam mengartikan istilah pakan dan pangan. Kata pakan berasal dari istilah *feed* dalam bahasa Inggris yang biasanya ditujukan untuk makanan hewan, sedangkan pangan berasal dari istilah *food* dalam bahasa Inggris yang biasanya ditujukan untuk makanan manusia. Jadi jelas pengertian pakan dan pangan tersebut berbeda sekali.

Pakan tersusun dari komponen-komponen kimiawi yang diketahui sebagai nutrisi dan dibutuhkan oleh tubuh untuk menyediakan atau mensuplai energi, membangun dan memperbaiki jaringan tubuh serta mengatur proses-proses tubuh. Nutrisi dapat diklasifikasikan menurut:

- Fungsi: berfungsi untuk tumbuh, menghasilkan energi dan mempertahankan proses-proses tubuh
- sebagai sumber organik dan sumber anorganik
- menurut esensinya sebagai sumber protein, sumber lemak, sumber karbohidrat, sumber vitamin dan sumber mineral
- menurut konsentrasinya sebagai makro nutrisi atau sebagai mikronutrisi
- Nutrisi organik mengandung komponen-komponen karbon, sedangkan mikronutrisi muncul dalam jumlah kecil seperti vitamin dan *trace* mineral

Dalam budidaya ikan, transformasi pakan menjadi daging harus dilakukan secara efisien dan ekonomis. Pada budidaya ikan atau udang, baik di dalam kolam, karamba atau kolam air deras, salah satu faktor terpenting

adalah nutrisi yang sesuai dan pemberian pakan yang cukup. Ikan yang kekurangan zat gizi tidak dapat mempertahankan kesehatannya maupun produktivitasnya. Pakan adalah makanan atau asupan yang diberikan kepada hewan budidaya yang merupakan sumber energi dan materi bagi pertumbuhan, reproduksi dan kehidupan makhluk hidup. Pakan dapat berpengaruh negatif terhadap kehidupan ikan dengan pemberian pakan yang kekurangan nutrient, tidak seimbang, atau beracun atau dengan memasukkan gen-gen yang terinfeksi. Pakan yang seimbang tidak hanya menghasilkan produksi yang lebih tinggi tetapi juga menyediakan nutrient-nutrien yang cukup untuk mempercepat penyembuhan dari penyakit atau dalam mengatasi pengaruh stress karena lingkungan. Pakan berkualitas baik, jika mampu memberikan seluruh kebutuhan nutrisi secara tepat, baik, jenis jumlah serta imbang nutrisi bagi ternak sehingga proses metabolisme yang terjadi didalam tubuh ternak akan berlangsung secara sempurna

Beberapa fungsi penting pakan ikan untuk menopang pertumbuhan dan perkembangan ikan antara lain:

1. Fungsi Pakan Ikan Sebagai Pengobatan
2. Fungsi Pakan Ikan Untuk Membentuk Warna Tubuh
3. Fungsi Pakan Ikan Untuk Meningkatkan Cita Rasa
4. Fungsi Pakan Ikan Untuk Mempercepat Reproduksi

Menurut Mudjiman (2004) ikan membutuhkan energi untuk pertumbuhan, aktivitas hidup dan perkembangan. Pakan berenergi adalah pakan yang mengandung energi yang tinggi. Energi yang tinggi dapat memperbaiki konversi pakan dan penambahan berat badan ikan. Ikan menggunakan protein sebagai sumber energi yang utama,

sumber energi kedua yang digunakan adalah lemak sedangkan karbohidrat menjadi sumber energi yang ketiga

2.2. Persyaratan pakan

Syarat pakan yang baik tergantung dari bahan pakan yang baik untuk diberikan kepada ikan. Adapun syarat pakan yang baik adalah sebagai berikut:

- memenuhi kandungan gizi (protein, lemak, karbohidrat, vitamin dan mineral) yang tinggi
- tidak beracun
- mudah diperoleh
- mudah diolah dan
- bukan sebagai makanan pokok manusia

Pemilihan bahan baku merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas pakan yang akan dihasilkan. Jenis ikan yang berbeda, berbeda pula jenis bahan baku yang digunakan (Akbar, 2000)

Bahan pakan buatan merupakan bahan hasil pertanian, perikanan, peternakan dan hasil industri yang mengandung zat gizi dan layak digunakan sebagai pakan.

Beberapa persyaratan dalam pemilihan bahan baku pakan:

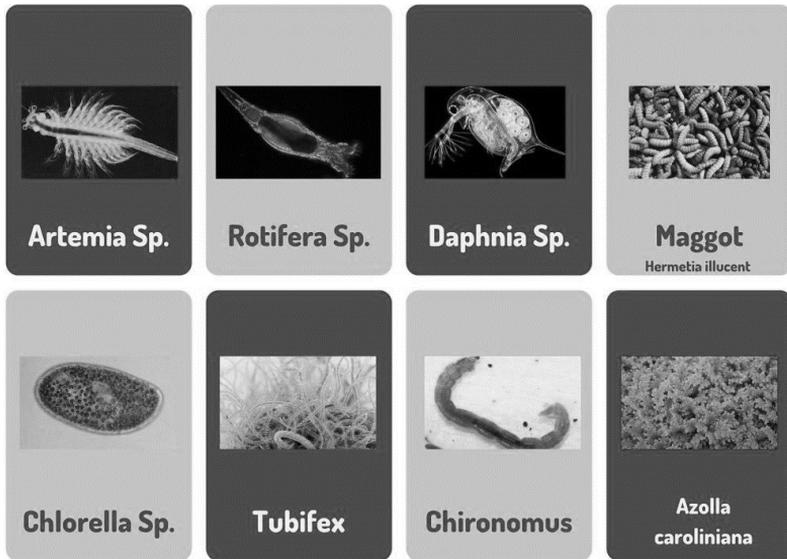
1. Nilai Gizi
2. Mudah di cerna
3. Tidak mengandung racun
4. Mudah di peroleh

2.3. Klasifikasi Pakan

Berdasarkan sumbernya, pakan ikan di bedakan antara lain : pakan alami dan pakan buatan.

2.3.1. Pakan alami adalah pakan yang berasal dari alam dan mengandung banyak protein dan vitamin sehingga sangat baik untuk pertumbuhan ikan. Jenis pakan alami yang

diberikan, seperti cacing sutra, keong, plankton, kutu air atau mikroorganisme lainnya (Gambar 1)



Gambar 1. Jenis-jenis pakan alami

Pakan alami adalah pakan yang berada di perairan, yaitu dari golongan hewan maupun tumbuhan. Pakan alami dari golongan hewan antara lain cacing oligacaeta, zooplankton, telur ikan dan larva serangga, mollusca, anak katak, kepiting, ikan kecil dan udang-udangan kecil (crustacea). Pakan alami dari golongan tumbuhan adalah fitoplankton, alga, *Hydrilla verticillata*, paku air, kiambang, lumut-lumutan, keladi, senthe, serta daun-daunan yang lunak.

Pada saat ikan masih berupa larva, pakan alami memegang peran penting karena sistem pencernaan ikan belum sempurna. Pada kegiatan pendederan bibit ikan, pakan alami diberikan dalam keadaan hidup sehingga tidak mengotori kolam. Jenis pakan alami yang sering dijumpai dan dibudidayakan antara lain, yaitu :

1. **Chlorella** Diameter 5 mikron, berbentuk bulat, berwarna hijau, kandungan protein 30 %, Lemak 15 %, abu 15 %.
2. **Brachionus** Diameter 60-80 mikron, bentuk piala, warna putih, kandungan air 7,88 %, protein 42,5 %, lemak 6,34 %, abu 2,18 %.
3. **Artemia** Stadia nauplius, panjang 100-200 mikron, bentuk berumbai, warna kuning, kandungan air 81,9 %, protein 55 %, lemak 18,9 %, abu 7,2 %. Stadia dewasa, panjang 300-500 mikron, bentuk berumbai, warna kuning, kandungan protein 62,78, lemak 18,9
4. **Cacing Rambut** Panjang 10-30 mm, bentuk benang bersegmen, warna merah darah, kandungan air 97,19 %, protein 56,6 %, lemak 2,89 %, abu 4,94 %.
5. **Moina** Panjang 0,9-1,8 mm, bentuk bulat, warna merah darah, kandungan air 90,5 %, protein 37,38 %, lemak 13,29 %, abu 11 %.
6. **Daphnia** Panjang 3-4 cm, bentuk lonjong, warna merah, kandungan air 94,78 %, protein 42,65 %, lemak 8 %, serat 2,58 %, abu 4 %.
7. **Larva Chironomus** Panjang 10-15 mm, bentuk panjang bersegmen, warna merah, kandungan air 87,06 %, protein 56,6 %, lemak 2,86%, abu 4,94 %.

2.3.2. Pakan Buatan

Pakan buatan adalah campuran dari berbagai sumber bahan baku disusun secara khusus berdasarkan komposisi yang dibutuhkan untuk digunakan sebagai pakan.

Berdasarkan tingkat kebutuhannya, pakan buatan dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu (Afrianto dkk, 2005):

- a. Pakan Utama

b. Pakan Tambahan

c. Pakan Suplemen

Pemilihan bahan baku merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas pakan yang akan dihasilkan. Jenis ikan yang berbeda, berbeda pula jenis bahan baku yang digunakan (Akbar, 2000)

Bahan pakan buatan merupakan bahan hasil pertanian, perikanan, peternakan dan hasil industri yang mengandung zat gizi dan layak digunakan sebagai pakan. Beberapa persyaratan dalam pemilihan bahan baku pakan (yaitu:

1. Nilai Gizi
2. Mudah di cerna
3. Tidak mengandung racun
4. Mudah di peroleh
5. Nilai Ekonomi

Berdasarkan sumbernya bahan baku pakan terbagi menjadi dua golongan yaitu :

1. Bahan baku pakan asal tumbuh-tumbuhan yang biasa disebut nabati merupakan penyumbang banyak energi karena kaya akan pati. Biji-bijian yang tua lebih banyak mengandung protein, kadar lemak yang tinggi, dan zat. Selain mengandung protein, biji-bijian juga mengandung zat mineral yang penting bagi kesehatan ikan. Misalnya kalsium (Ca), Fosfor (P), kalium, sulfur, ferum, dan magnesium.
2. Bahan pakan yang bersumber dari hewan disebut bahan hewani. Bahan baku hewani dapat berupa ikan rucah, silase ikan, siput, kerang, cacing, maggot, rebon, kepala udang dan kutu air. Pakan hewani mengandung karbohidrat yang relatif kecil. Dalam dunia pakan

penggunaan campuran dua macam bahan baku akan lebih baik karena saling mengisi dan menutupi kekurangan satu sama lain.

Jenis bahan pakan dan kandungan nutrisinya dapat dilihat pada Tabel 1 dan kandungan nutrisi pakan alami dapat dilihat pada Tabel 2. Kandungan nutrisi beberapa jenis ikan, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Jenis Bahan Pakan dan Kandungan Nutrisinya
Sumber : Yunaidi dan Wibowo (2019)

| NO | Nama Bahan | Protein % | Lemak % | Karbohidrat % | Serat % |
|----|-------------------|-----------|---------|---------------|---------|
| 1 | Tepung ikan lokal | 52 | 4.29 | 4.7 | 0.6 |
| 2 | Tepung ikan impor | 60 | 6.5 | 22.4 | 0.8 |
| 3 | Ikan asin | 42 | 1.5 | 26.3 | 0.9 |
| 4 | Ikan rucah | 16.8 | 5.0 | 28.6 | - |
| 5 | Kutu air | 42 | 8.0 | 14.0 | - |
| 6 | Daging keong | 12.2 | 0.4 | 6.6 | - |
| 7 | Dedak | 12 | 14.91 | 48.19 | 10.04 |
| 8 | Tepung kedelai | 42 | 1.57 | 40.13 | 5.39 |
| 9 | Bungkil sawit | 15.83 | 2.94 | 24.58 | 33.01 |
| 10 | Bungkil kelapa | 18.58 | 12.55 | 26.89 | 15.38 |
| 11 | Ampas tahu | 25.6 | 7.5 | 6.5 | 13.0 |

Tabel 2. Kandungan Nutrisi pakan Alami

| Jenis pakan alami | Kadar air | Kadar protein | Kadar lemak | Kadar serat kasar | Bahan Ekstra Tanpa Nitrogen | Abu |
|-------------------------------|-----------|---------------|-------------|-------------------|-----------------------------|------|
| <i>Acartia sp</i> | 7,8 | 71,2 | 8,3 | 5,4 | 9,9 | 5,2 |
| <i>Artemia</i> | 8,0 | 55,5 | 6,8 | 11,3 | 15,0 | 11,4 |
| <i>Azolla</i> | 8,0 | 27,2 | 3,4 | 12,9 | 36,5 | 20,0 |
| <i>Brachionus sp</i> | 8,1 | 51,9 | 10,4 | 3,5 | 15,3 | 18,9 |
| <i>Chaetoceros calcitrans</i> | 7,6 | 24,4 | 7,1 | 2,5 | 26,7 | 39,3 |
| <i>Chlorella</i> | 10,1 | 35,1 | 4,2 | 5,6 | 27,7 | 27,4 |
| <i>Chlorella air laut</i> | 10,4 | 33,6 | 18,1 | 4,4 | 23,0 | 20,9 |
| <i>Isochrysis galbana</i> | 8,5 | 57,8 | 7,6 | 8,4 | 17,2 | 9,0 |
| <i>Moina macrocopa</i> | 88,92 | 53,05 | 13,810 | 2,58 | 29,13 | 4,01 |
| <i>Daphnia sp</i> | 10,4 | 9,0 | 0,8 | 9,6 | 46,4 | 34,2 |
| <i>Gracilaria sp</i> | 10,4 | 24,7 | 2,6 | 0,7 | 20,2 | 51,8 |
| | 8,0 | 56,7 | 2,8 | 0,6 | 28,1 | 11,8 |
| | 5,5 | 49,1 | 10,7 | 2,1 | 19,0 | 19,1 |
| | 7,0 | 10,2 | 0,4 | 5,8 | 44,8 | 38,8 |

Sumber : Yunaidi dan Wibowo (2019)

Tabel 3. Kebutuhan nutrisi beberapa jenis ikan

| NO | Jenis Ikan | Protein % | Lemak % | Karbohidrat % |
|----|------------|-----------|---------|---------------|
| 1 | Lele | 30 - 35 | 5 - 15 | 30 - 40 |
| 2 | Mas | 25 - 27 | 5 - 15 | 30 - 40 |
| 3 | Nila | 20 - 25 | 8 - 17 | 25 - 35 |
| 4 | Patin | 20 - 25 | 8 - 17 | 25 - 35 |
| 5 | Gurame | 25 - 27 | 4 - 12 | 20 - 30 |

Sumber : Yunaidi dan Wibowo (2019)

BAB III

PENCERNAAN IKAN

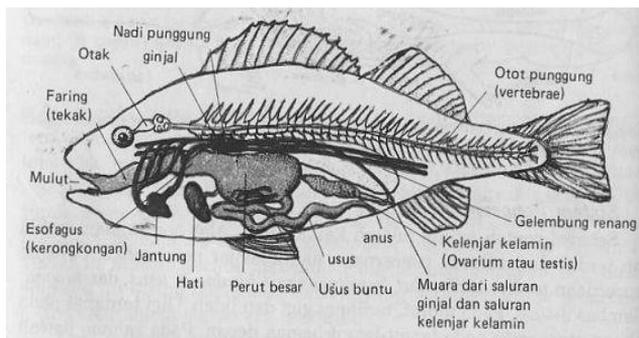
3.1. Saluran Pencernaan

Mekanisme pembentukan sistem pencernaan pada ikan dimulai ketika Larva ikan H-0 belum memiliki saluran cerna, mulut, dan mata belum terbuka. Pada H-1 saluran cerna mulai terbentuk, tetapi masih dalam bentuk tabung lurus. Mulut larva mulai terbuka pada H-2 (45 jam setelah menetas pada suhu pemeliharaan air 28°C). Kuning telur sudah diserap sepenuhnya pada H-3, saluran dan organ pencernaan seperti mulut, esofagus, lambung, ginjal, hati, pankreas, usus, rektum, dan anus sudah terbentuk. Pada H-5 mulai muncul mikrophilli pada usus untuk menyerap nutrisi. Sel-sel penyusun hati, jantung, pencernaan saluran sudah tumbuh dan berkembang menyerupai organ ikan dewasa, ditandai adanya pakan dalam usus. Saluran dan sistem pencernaan telah berdiferensiasi menjadi organ dalam seperti pada ikan dewasa pada hari ke-6 (H-6) dan akan sempurna pada H-20. Pada dasarnya sistem pencernaan makanan dalam tubuh dibagi menjadi 3 bagian, yaitu proses penghancuran makanan yang terjadi dalam mulut hingga lambung. Langkah selanjutnya dalam proses ini adalah kemampuan usus untuk menyerap sari-sari makanan. setelah itu sisa makanan akan dikeluarkan melalui anus.

Seperti kebanyakan hewan lainnya, ikan memiliki sistem pencernaan. Tetapi ada banyak jenis ikan yang berbeda, terutama berbeda dalam hal apa yang mereka makan. Bagian mulut, rongga mulut, tenggorokan, kerongkongan, lambung, pilorus, usus, rektum, dan anus merupakan bagian utama saluran pencernaan ikan.

Sedangkan, pankreas, hati, dan kantung empedu termasuk kelenjar pencernaan.

1) Mulut

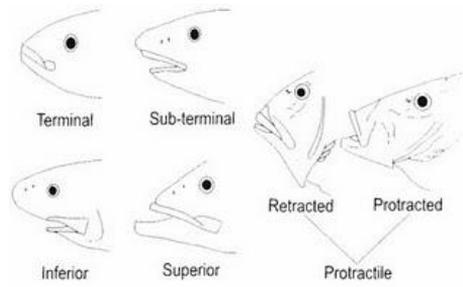


Gambar 2. Saluran pencernaan ikan

Mulut adalah bagian tubuh pertama yang berhubungan langsung dengan makanan. Makanan yang biasanya ditelan utuh dapat dicerna menggunakan mulut tanpa modifikasi apapun. Makanan akan bergabung dengan mukus yang dihasilkan oleh sel kelenjar pada epitel rongga mulut sehingga lebih mudah ditelan yang didukung oleh kontraksi otot pada dinding mulut.

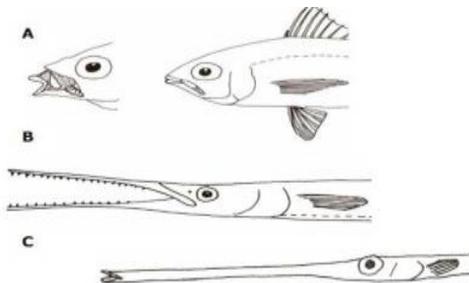
Mulut ikan biasanya ditemukan pada empat (4) tipe, yaitu :

- A. tipe terminal, yaitu ujung depan kepala
 - B. tipe subterminal, mulut dapat ditemukan di dekat ujung kepala,
 - C. tipe inferior di bagian bawah kepala
 - D. tipe superior yaitu mulut terletak di bagian atas kepala.
- Seiring dengan berbagai variasi letak, bentuk mulut pada ikan juga berbeda. Lokasi dan bentuk mulut terkait langsung dengan preferensi makan ikan. Jenis mulut yang lebih maju makan dari atas atau menunggu di dasar air untuk menangkap apa pun yang lewat di atas kepala



Gambar 3. Tipe-tipe mulut Ikan: Terminal; B. Sub-terminal; C. Inferior; D. Superior

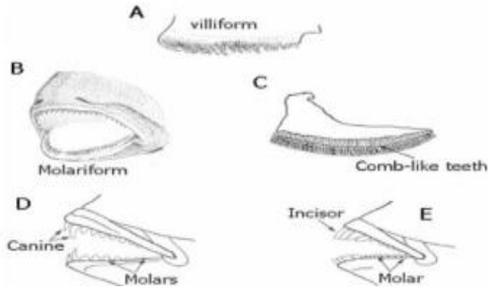
Secara khusus, ukuran dan lokasi gigi pada mulut ikan dapat memberi petunjuk tentang apa yang dimakannya. Hiu adalah predator hewan yang relatif besar yang dapat menelan utuh mangsanya, terbukti dari mulutnya yang besar dan giginya yang tajam. Bibir ikan yang mengonsumsi sedikit makanan seringkali berukuran cukup kecil. Ikan ini memiliki mulut yang lebih lemah dan bibir yang lebih tebal serta berdaging dari pada ikan yang makan melalui isapan. Bibir tipe pengisap pada ikan yang berenang bebas, seperti *Glyptosternum*, *Gyrinocheilus*, dan beberapa anggota famili *Loricariidae*, berfungsi sebagai mekanisme menggenggam kerikil atau benda lain di sungai yang bergerak cepat. Bibir ikan umumnya tidak memiliki sisik, tetapi pengecualian pada ikan hiu yang bibirnya ditutupi oleh sisik placoid



Gambar 4. Berbagai bentuk mulut Ikan A). Mulut dapat yang dapat disembulkan; B). Mulut gergaji; C).Mulut tabung

Mulut seringkali dilengkapi dengan sungut yang bentuk dan jumlahnya sangat bervariasi. Sungut ini berfungsi sebagai alat peraba ketika ikan tersebut mencari makan. Sungut dilengkapi dengan saraf, untuk menemukan makanan di antara material yang ada. Adaptasi terhadap makanan juga terjadi pada gigi. Pada cyclostomata dan ostracodermata tidak mempunyai gigi sebenarnya, sebab hewan ini mempunyai gigi tanduk yang dihasilkan oleh epidermis. Gigi sebenarnya homolog dengan sisik placoid, yang mungkin timbul dari sisik yang menutupi bibir seperti pada ikan hiu muda (*Squaliformes*) dimana sisik placoid menjadi gigi pada rahang. Osteichtheys mempunyai tiga jenis gigi berdasarkan tempat tumbuhnya: rahang, rongga mulut, dan pharyngeal.

Gigi ikan juga beradaptasi dengan makanan yang mereka makan. Ikan memiliki variasi letak dan bentuk gigi yang sangat beragam. Berdasarkan bentuknya, gigi rahang dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu: *Cardiform*, *villiform*, *canine*, *incisor*, *comb-like teeth*, dan *molariform*. Keluarga Serranidae memiliki gigi pendek, runcing, dan tajam yang disebut *cardiform*. Gigi *villiform* mirip dengan gigi *cardiform*, kecuali lebih panjang dan membuat penampilan seperti pinggiran, misalnya pada Pterois. Gigi *canine* sering menyerupai bentuk gigi taring, berbentuk panjang dan berbentuk kerucut, lurus atau melengkung, dan beradaptasi untuk mencengkeram. Hiu memiliki gigi yang menyerupai jenis *canine*. Misalnya pada *Blennius sp.*, pemotongan dilakukan dengan bantuan ujung gigi seri yang tajam. Jenis gigi *molariform* yang ada pada ikan anggota dari famili Raja, *Holocephalii*, dan *Sciaenidae*, digunakan untuk pengunyahan dan penghancur makanan



Gambar 5. Tipe gigi pada Ikan A). Villiform, B). Molariform, C). Comb-like teeth, D). Canine, E).Incisors

Selain membantu pencernaan mekanis, rongga mulut pada banyak spesies ikan juga membantu proses mengawetkan telur. Inkubasi telur yang telah dibuahi dan penyimpanan larva yang baru menetas terjadi di rongga mulut. Setelah kantung kuning telur habis dimakan, telur ikan yang baru menetas akan dikeluarkan dari mulut ikan, namun tetap dirawat dan dilindungi oleh induknya untuk sementara waktu

2) Rongga Mulut

Dibagian belakang mulut terdapat ruang yang disebut rongga mulut. Rongga mulut ini berhubungan langsung dengan segmen faring. Secara anatomis organ yang terdapat pada rongga mulut adalah gigi, lidah dan organ palatin. Permukaan rongga mulut diselaputi oleh lapisan sel permukaan (epitelium) yang berlapis. Pada lapisan permukaan terdapat sel-sel penghasil lendir (mukosit) untuk mempermudah masuknya makanan. Disamping mukosit, di bagian mulut juga terdapat organ pengecap (organ penerima rasa) yang berfungsi menyeleksi makanan.

3) Tekak

Tekak terletak antara mulut bagian belakang dan insang bagian belakang. Pada sisi kanan dan kiri tekak terdapat insang. Pada dinding atas dan bawah tekak, biasanya terdapat gigi tekak

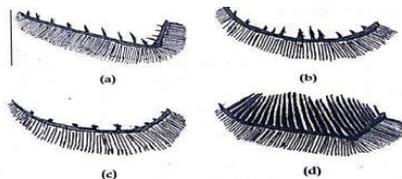
4) Faring

Lapisan permukaan faring hampir sama dengan rongga mulut, masih ditemukan organ pengecap, Sebagai tempat proses penyaringan makanan.

Pangkal leher, atau dikenal dengan sebutan faring, terletak diantara insang dan bagian belakang mulut. Faring memiliki insang di sisi kiri dan kanannya. Biasanya, gigi faring hadir di sisi atas dan bawah faring. Berdasarkan jenis makanan yang dikonsumsi, bentuk gigi faring dapat berubah. Gigi faring pada ikan dari famili Labridae berbentuk geraham, dan berfungsi untuk menghancurkan cangkang moluska yang mereka konsumsi. Meskipun anggota famili Cyprinidae tidak memiliki gigi di rahang, ikan ini memiliki gigi berbentuk geraham pada faring yang digunakan untuk menggiling makanan. Gigi faring belut memiliki bentuk yang meruncing dan digunakan untuk mencabik-cabik makanan

5) Insang

Tepat di belakang rongga mulut terdapat insang. Ikan bertulang sejati biasanya memiliki empat pasang lengkungan insang, sedangkan ikan bertulang rawan biasanya memiliki lima hingga tujuh pasang. Layar insang dan filamen insang masing-masing terletak di bagian depan dan belakang lengkungan insang. Layar insang melindungi filamen insang yang rapuh agar tidak tergores oleh benda luar dan mencegah makanan melewati insang setelah dikonsumsi. Ikan seperti *Epinephelus areolatus* dan *Lethrinus malisena*, yang makan dalam jumlah besar, memiliki penyapu insang yang banyak dan massif



Gambar 6. Variasi bentuk tapis insang ikan (a) *Aprion virescens*, (b) *Epinephelus areolatus*, (c) *Lethrinusmahsena*, (d) *Rastreliiger kanagurta*

Terlihat dari Gambar 6 bahwa bentuk dan jumlah jari saringan insang sangat dipengaruhi oleh jenis pakan ikan. Variasi jumlah tapis insang sangat dipengaruhi oleh jenis makanan ikan. Ikan-ikan yang memakan mangsa besar, memiliki tapis insang yang berukuran besar dengan jumlah yang sedikit. Namun sebaliknya, ikan-ikan yang makanannya mangsa yang kecil, memiliki tapis insang yang berukuran kecil tetapi dengan jumlah yang banyak. Hal ini berarti bahwa dengan mempelajari layar insang, ahli ekologi dapat memperkirakan secara kasar pengelompokan ikan berdasarkan jenis makanannya

6) Esofagus

Kerongkongan terletak tepat di bawah faring, memanjang ke belakang dan membesar bersama lambung. Kerongkongan memiliki penampang melingkar dan merupakan saluran. Kerongkongan bisa mengembang karena sangat elastis. Ikan predator yang bisa menelan makanan berukuran agak besar jelas mampu menggembungkan kerongkongannya. Ikan yang memakan tubuh kecil tidak dapat berkembang sebanyak ikan yang memburu ikan yang lebih besar. Pinggiran esophagus terdiri dari epithelium yang berlapis-lapis dan columnar, dengan sejumlah sel atau kelenjar lendir. Dinding esophageal dilengkapi secara khusus dengan lapisan otot yang berhubungan dengan esophagus. Kantung esophageal berfungsi sebagai penghasil lendir, gudang makanan, dan penggilingan makanan. Pada ikan belut, *Monopterus albus*, esophageal dimodifikasi menjadi alat pernapasan tambahan.

Permulaan dari saluran pencernaan yang berbentuk seperti pipa, mengandung lendir untuk membantu penelanan makanan. Pada ikan laut, esofagus berperan dalam penyerapan garam melalui difusi pasif menyebabkan konsentrasi garam air laut yang diminum akan menurun ketika berada di lambung dan usus sehingga memudahkan penyerapan air oleh usus belakang dan retum (proses osmoregulasi)

7) Lambung

Lambung merupakan segmen pencernaan yang diameternya relatif lebih besar bila dibandingkan dengan organ pencernaan yang lain. Besarnya ukuran lambung berkaitan dengan fungsinya sebagai penampung makanan. Seluruh permukaan lambung ditutupi oleh sel mukus yang mengandung mukopolisakarida yang agak asamberfungsi sebagai pelindung dinding lambung dari kerja asam klorida. Sebagai penampung makanan dan mencerna makanan secara kimiawi. Pada ikan-ikan herbivora terdapat gizzard (lambung khusus) berfungsi untuk menggerus makanan (pencernaan secara fisik).

Bentuk lambung bermacam-macam, antara lain tabung (*Synbranchus*), lengkung (*Limanda*), kantong (*Clarias*), huruf U (*Salmo* dan *Clupea*), dan huruf V (*Anguilla* dan *Alosa*). Lambung terletak di antara kerongkongan dan pilorus. Banyak spesies ikan, termasuk bandeng dan belanak, memiliki dinding usus yang lebih tebal dan berotot yang membentuk tempat persembunyian. Tujuan utama lambung adalah untuk menerima dan menyimpan makanan dan berfungsi sebagai lokasi pencernaan makanan. Kapasitasnya berfluktuasi dalam kaitannya dengan fungsi lambung sebagai wadah makanan. Ikan dalam keluarga Saccopharyngidae dan Eupharyngidae dapat melebarkan perutnya, memungkinkan mereka menelan mangsa yang jauh lebih besar. Pada beberapa spesies tertentu, pada akhir ventrikulus terdapat tonjolan-tonjolan sebagai kantong buntu disebut *appendices pyloricae*, yang berguna untuk memperluas permukaan dinding ventriculus agar pencernaan dan penyerapan makanan dapat lebih sempurna.

Lambung digunakan untuk pencernaan, sehingga memiliki struktur yang unik dibandingkan dengan organ tubuh lainnya. Lapisan lambung dan kerongkongan sebanding. Sel mukus seluruhnya menutupi lapisan mukosa (permukaan). Pangkal lapisan lendir adalah tempat kelenjar lambung berada. Enzim

pencernaan pepsin dan HCl disekresikan oleh kelenjar ini. *Stratum compactum* dapat ditemukan di lapisan submukosa sejumlah spesies ikan karnivora. *Stratum compactum* berfungsi sebagai struktur penopang dan pendukung bagi lapisan di atasnya. Otot melingkar ditemukan di bagian dalam lapisan perut dan otot longitudinal ditemukan di bagian luar. Otot ini memiliki dua lapisan otot polos. Ketebalan otot polos melingkar lambung adalah dua sampai tiga kali lipat dari otot polos longitudinalnya

8) Pylorus

Pylorus merupakan segmen yang terletak antara lambung dan usus depan. Segmen ini sangat mencolok karena ukurannya yang mengecil/menyempit.

Pylorus, penyempitan saluran pencernaan, terletak di antara lambung dan usus. Lapisan otot polos melingkar telah menebal di daerah ini. Pergerakan makanan keluar dari lambung dan masuk ke usus dikendalikan oleh fungsi pylorus. Kaeka pylorus, atau kantong jari, ditemukan di dekat bagian depan usus pada beberapa spesies ikan, termasuk Mugilidae. Organ ini memiliki struktur histologis yang sama dengan usus. Kaeka pylorus berfungsi sebagai tempat pencernaan dan penyerapan makanan, terutama lemak. Sumber lipase, yang mengubah lipid menjadi asam lemak dan gliserin, adalah kaeka piroplasma. Caeka pylorus datang dalam berbagai jumlah dan bentuk. Kaeka pylorus pada ikan mas hanya memiliki satu buah, meskipun mungkin memiliki ratusan buah pada ikan salmonid

9) Usus

Merupakan segmen yang terpanjang dari saluran pencernaan. Intestinum berakhir dan bermuara keluar sebagai anus. Merupakan tempat terjadinya proses penyerapan zat makanan

Diantara rektum dan pylorus terdapat usus. Usus terdiri dari beberapa lapisan, termasuk lapisan mukosa, submukosa, otot, dan serosa, seperti kerongkongan dan lambung. Sel goblet

(*mucocytes*) dengan mikrovili pada permukaannya ditemukan pada lapisan mukosa.

Selain sebagai organ pencernaan makanan, usus juga berfungsi sebagai tempat penyerapan makanan. Dengan area penyerapan yang lebih besar, penyerapan akan menjadi lebih efektif. Panjang usus, jumlah lipatan usus, jumlah mikrovili, dan keberadaan rongga pilorus semuanya mempengaruhi penyerapan nutrisi di usus besar. Makanan dan panjang usus sering dihubungkan. Ikan-ikan herbivora umumnya mempunyai panjang usus beberapa kali lebih besar daripada panjang tubuhnya, sedangkan ikan karnivora umumnya mempunyai panjang usus yang lebih pendek daripada panjang tubuhnya karena daging lebih mudah tercerna daripada serat tumbuhan. Selain panjang. Sebenarnya, luas permukaan interior mukosa usus adalah yang terpenting. Karena ikan karnivora memiliki vili yang tinggi, makanannya diserap di wilayah yang luas. Permukaan sel utama tercakup dalam mikrovili (enterositas mengacu pada perluasan area penyerapan). Meskipun memiliki usus pendek, elasmobranchii telah meningkatkan penyerapan dacrak karena usus berubah bentuk menjadi spiral

10) Rektum

Rektum merupakan segmen saluran pencernaan yang terujung. Secara anatomis sulit dibedakan batas antara usus dengan rektum. Namun secara histologis batas antara kedua segmen tersebut dapat dibedakan dengan adanya katup rektum.

Katup rektal, penyempitan sistem pencernaan yang disebabkan oleh penebalan otot polos melingkar, mengontrol pergerakan makanan yang tidak tercerna dari usus ke rektum. Rektum berbagi struktur histologis dengan usus kecil, tetapi lapisan otot di bawah anus terutama terdiri dari otot lurik dan lapisan lendir padat dengan sel lendir. Pekerjaan utama rektum adalah untuk menyerap air dan mineral dan menghasilkan lendir untuk memudahkan makanan yang tidak tercerna (feses)

melewatinya. Selain tujuan tersebut, rektum pada larva berfungsi untuk menyerap protein makromolekul

11) Kloaka

Kloaka adalah ruang tempat bermuaranya saluran pencernaan dan saluran urogenital. Ikan bertulang sejati tidak memiliki kloaka, sedangkan ikan bertulang rawan memiliki organ tersebut

12) Anus

Anus, bagian terakhir dari sistem pencernaan, memiliki tugas membuang limbah. Areal ini terletak tepat di depan sirip dubur dan di belakang sirip perut. Pada ikan bertulang sejati anus terletak di sebelah depan saluran genital. Pada ikan yang bentuk tubuhnya memanjang, anus terletak jauh dibelakang kepala bedekatan dengan pangkal ekor. Sedangkan ikan yang tubuhnya membundar, posisi anus terletak jauh di depan pangkal ekor mendekati sirip dada.

3.2. Proses Penyerapan Makanan

Sebelum makanan disambar dan ditelan, terlebih dahulu telah timbul rangsangan berupa nafsu untuk makan. Nafsu untuk makan ini dapat dirangsang melalui penglihatan, bau, dan rabaan. Begitu ada nafsu untuk makan, maka alat-alat pencernaannya segera bersiap-siap untuk menerima makanan dan selanjutnya mencerna makanan tersebut. Setelah makanan digigit, untuk menelannya diperlukan bahan pelicin yaitu air liur. Selain sebagai pelicin, air liur juga mengandung enzim ptialin yang merupakan enzim pemecah karbohidrat menjadi maltosa yang kemudian dilanjutkan menjadi glukosa. Tapi karena ikan tidak mengunyah makanan, padahal pemecahan karbohidrat membutuhkan waktu yang lama, maka ptialinnya baru dapat bekerja aktif setelah makanan sampai di lambung. Selain mengandung enzim ptialin, air liur juga mengandung senyawa penyangga derajat keasaman

(*bufer*) yang berguna untuk memecah terjadinya penurunan pH agar proses pencernaan dapat berjalan normal.

Apabila makanan telah masuk ke dalam saluran pencernaan, maka dinding saluran pencernaannya akan terangsang untuk menghasilkan hormon gastrin. Hormon ini akan memacu pengeluaran asam klorida (HCl) dan pepsinogen. HCl akan mengubah pepsinogen menjadi pepsin yang merupakan enzim pencernaan aktif, yaitu sebagai pemecah protein menjadi pepton (polipeptida). Apabila makanannya banyak mengandung lemak, maka akan dihasilkan juga hormon enterogastron.

Di dalam usus, makanan itu sendiri akan merangsang keluarnya hormon kolsistokinin. Hormon ini kemudian akan memacu keluarnya getah empedu dari hati. Getah empedu itu sebenarnya dibuat dari sel-sel darah merah yang telah rusak di dalam hati. Pengeluaran getah empedu tersebut melalui pembuluh hepaticus yang kemudian ditampung di dalam kantong empedu. Fungsi getah empedu tersebut adalah memeperhalus butiran-butiran lemak menjadi emulsi sehingga mudah larut dalam air dan diserap oleh usus.

Dinding usus juga mengeluarkan hormon sekretin dan pankreozinin. Sekretin akan memacu pengeluaran getah empedu dan 16 pankreas. Getah penkreas ini mengandung enzim amilase, lipase dan protase. Sedangkan hormon pankreozinin menyebabkan rangsangan untuk mempertinggi produksi getah pankreas.

Enzim amilase akan memecah karbohidrat menjadi glukosa. Enzim lipase memecah lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Sedangkan protase memecah protein menjadi asam amino. Ketiga enzim tersebut dapat mencapai puncak keaktifan apabila kadar protein dalam makanan antara 40-60%. Apabila kadar proteinnya berubah maka untuk mencapai puncak keaktifan, enzim-enzim tersebut membutuhkan waktu untuk menyesuaikan diri.

3.3. Tempat Penyerapan Makanan

Makanan yang sudah dicerna halus sekali kemudian sari-sarinya akan diserap oleh dinding usus. Sebenarnya di dalam lambung juga sudah mulai penyerapan, tapi jumlahnya masih sangat sedikit. Penyerapan yang utama terjadi di dalam usus. Untuk menyerap sari makanan tersebut, dinding usus mempunyai jonjot-jonjot agar permukaannya lebih luas. Melalui pembuluh darah rambut pada jonjot usus tersebut, sari makanan akan diserap ke dalam darah.

Karbohidrat diserap dalam bentuk monosakarida, yaitu glukosa, galaktosa, fruktosa dan lain-lain. Proses penyerapannya dipengaruhi oleh hormon insulin. Hormon tersebut dihasilkan oleh kelenjar pankreas. Lemak diserap dalam bentuk asam lemak dan gliserol. Di dalam lapisan lendir dinding usus, asam lemak dan gliserol bersatu lagi, untuk kemudian diedarkan ke seluruh tubuh melalui limfe (70%) dan melalui pembuluh darah (30%). Sedangkan protein diserap dalam bentuk asam amino yang dibawa ke hati dulu untuk diubah menjadi protein lagi, akan tetapi yang telah disesuaikan dengan kebutuhan tubuh ikan yang bersangkutan.

Zat-zat makanan yang telah diserap oleh darah kemudian diedarkan ke seluruh tubuh untuk keperluan metabolisme, yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme adalah pembentukan zat-zat yang lebih kompleks dari zat-zat yang lebih sederhana, misalnya pembentukan 17 protein dan asam-asam amino. Sedangkan katabolisme adalah pemecahan zat-zat yang merupakan bahan bakar untuk menghasilkan tenaga, misalnya pemecahan karbohidrat menjadi tenaga, air, dan karbondioksida.

Pada hewan-hewan darat, yang digunakan sebagai sumber tenaga pertama-tama adalah karbohidrat kemudian disusul oleh lemak sebagai sumber nomor dua dan terakhir

protein. Sedangkan pada ikan adalah kebalikan dari hewan darat, yaitu protein, lemak dan karbohidrat.

BAB IV

JENIS-JENIS ENZIM PENCERNAAN

4.1. PENDAHULUAN

Ikan merupakan salah satu jenis hewan vertebrata yang bersifat poikilotermis (berdarah dingin), memiliki ciri khas pada tulang belakang, insang dan siripnya serta tergantung pada air sebagai medium untuk kehidupannya. Ikan memiliki kemampuan di dalam air untuk bergerak dengan menggunakan sirip untuk menjaga keseimbangan tubuhnya sehingga tidak tergantung pada arus atau gerakan air yang disebabkan oleh arah angin. Dari keseluruhan vertebrata, sekitar 50,000 jenis hewan, ikan merupakan kelompok terbanyak di antara vertebrata lain memiliki jenis atau spesies yang terbesar sekitar 25,988 jenis yang terdiri dari 483 famili dan 57 ordo.

Dalam bahasa Indonesia, Pisces disebut sebagai "ikan", yang mencakup semua jenis ikan, baik yang tidak berahang (termasuk dalam kelas super: Agnatha) maupun ikan berahang (termasuk dalam kelas super: Gnathostomata) yang terdiri dari ikan bertulang rawan (kelas *chondrichthyes*) dan ikan bertulang sejati (kelas *osteichthyes*). Ikan merupakan salah satu jenis hewan vertebrata yang berdarah dingin (poikiloterm). Ikan memiliki kemampuan bergerak didalam air menggunakan sirip untuk menjaga keseimbangan tubuhnya sehingga pergerakannya tidak tergantung pada arus air. Dari keseluruhan vertebrata yang ada di bumi, ikan menempati urutan pertama terbanyak yaitu sekitar 25.988 jenis (terdiri dari 483 famili dan 57 ordo) dari 50.000 jenis vertebrata

Suatu organisme hidup adalah rakitan menakjubkan dari reaksi kimia. Masing-masing reaksi seolah berjalan sendiri tapi memberi sumbangan untuk kehidupannya organisme sebagai suatu kesatuan. Sel dalam tubuh tumbuhan mampu mengatur lintasan-lintasan metabolik yang dikendalikannya agar terjadi dan dapat mengatur kecepatan reaksi tersebut dengan cara memproduksi suatu katalisator dalam jumlah yang sesuai dan tepat pada saat dibutuhkan. Katalisator inilah yang disebut dengan enzim.

Ikan membutuhkan nutrisi dan energi dalam tubuhnya untuk dapat melakukan aktivitas. Mencari makanan bagi ikan merupakan kegiatan rutin, bahkan kebanyakan ikan menghabiskan banyak waktu untuk mencari makan. Sistem organ yang disebut sistem pencernaan (*digestive system*) meliputi saluran pencernaan dan organ-organ lain yang membantu proses pemecahan dan penyerapan makanan. Makanan yang dikonsumsi oleh ikan akan mengalami proses pencernaan di dalam sistem pencernaan sebelum nutrisi makanan dimanfaatkan untuk keperluan biologis ikan. Proses pencernaan dalam sistem pencernaan akan melibatkan peran enzim-enzim pencernaan. Laju pencernaan makanan umumnya berkorelasi dengan laju metabolisme ikan. Tingkat metabolisme ikan akan meningkat ketika suhu air berada pada keadaan optimal. Percepatan metabolisme ikan ini harus diimbangi dengan makanan yang diperoleh dari lingkungan. Peningkatan laju metabolisme ikan yang dipengaruhi oleh peningkatan suhu media pada batas tertentu juga dapat meningkatkan laju konsumsi makanan sehingga mempercepat pertumbuhan ikan. Berdasarkan fungsinya, organ-organ pencernaan pada ikan dibedakan menjadi dua bagian, yaitu saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan.

Saluran pencernaan merupakan kumpulan dari organ pencernaan yang bekerja langsung dalam proses pencernaan dan penyerapan makanan. Sedangkan kelenjar pencernaan adalah organorgan yang berperan dalam menghasilkan enzim-enzim yang digunakan dalam proses pencernaan makanan. Selain berfungsi dalam pencernaan dan penyerapan makanan, organ pencernaan pada beberapa ikan tertentu juga berperan dalam proses osmoregulasi, pernapasan dan penggelembungan tubuh

4.2 Enzim

Enzim atau ferment (dalam bahasa Yunani, *en* = di dalam dan *zyme* = ragi) adalah senyawa organik yang tersusun atas protein, dihasilkan oleh sel, dan berperan sebagai biokatalisator dalam reaksi kimia. Enzim adalah biomolekul berupa protein berbentuk bulat (globular), yang terdiri atas satu rantai polipeptida atau lebih dari satu rantai polipeptida (Wirahadikusumah, 1989). Enzim berfungsi sebagai katalis atau senyawa yang dapat mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi. Dengan adanya enzim, molekul awal yang disebut substrat akan dipercepat perubahannya menjadi molekul lain yang disebut produk (Smith, 1997; Grisham et al., 1999). Keunggulan enzim sebagai biokatalisator antara lain memiliki spesifitas tinggi, mempercepat reaksi kimia tanpa membentuk produk samping, produktivitas tinggi dan dapat menghasilkan produk akhir yang tidak terkontaminasi sehingga mengurangi biaya purifikasi dan efek kerusakan lingkungan (Chaplin and Bucke, 1990).

Klasifikasi Enzim

- a. Berdasarkan tempat bekerjanya enzim dibedakan menjadi dua, yaitu:

- Endoenzim, disebut juga enzim intraseluler, yaitu enzim yang bekerja di dalam sel. Umumnya merupakan enzim yang digunakan untuk proses sintesis di dalam sel dan untuk pembentukan energi (ATP) yang berguna untuk proses kehidupan sel, misal dalam proses respirasi.
 - Eksoenzim, disebut juga enzim ekstraseluler, yaitu enzim yang bekerja di luar sel. Umumnya berfungsi untuk “mencernakan” substrat secara hidrolisis, untuk dijadikan molekul yang lebih sederhana dengan BM lebih rendah sehingga dapat masuk melewati membran sel. Energi yang dibebaskan pada reaksi pemecahan substrat di luar sel tidak digunakan dalam proses kehidupan sel.
- b. Berdasarkan cara terbentuknya dibedakan menjadi dua, yaitu:
- Enzim konstitutif, yaitu enzim yang jumlahnya dipengaruhi kadar substratnya, misalnya enzim amilase. Di dalam sel terdapat enzim yang merupakan bagian dari susunan sel normal, sehingga enzim tersebut selalu ada umumnya dalam jumlah tetap pada sel hidup. Walaupun demikian ada enzim yang jumlahnya dipengaruhi kadar substratnya, misalnya enzim amilase. Sedangkan enzim-enzim yang berperan dalam proses respirasi jumlahnya tidak dipengaruhi oleh kadar substratnya
 - Enzim adaptif, yaitu enzim yang pembentukannya dirangsang oleh adanya substrat, contohnya enzim β -galaktosidase yang dihasilkan oleh bakteri *E.coli* yang ditumbuhkan di dalam medium yang mengandung laktosa (Lehninger, 1982). Perubahan lingkungan mikroba dapat menginduksi terbentuknya enzim tertentu. Induksi menyebabkan

kecepatan sintesis suatu enzim dapat dirangsang sampai beberapa ribu kali. Enzim adaptif adalah enzim yang pembentukannya dirangsang oleh adanya substrat. Sebagai contoh adalah enzim beta galaktosidase yang dihasilkan oleh bakteri E.coli yang ditumbuhkan di dalam medium yang mengandung laktosa. Mulamula E. coli tidak dapat menggunakan laktosa sehingga awalnya tidak nampak adanya pertumbuhan (fase lag/fase adaptasi panjang) setelah beberapa waktu baru menampakkan pertumbuhan. Selama fase lag tersebut E. coli membentuk enzim beta galaktosidase yang digunakan untuk merombak laktosa.

c. Penggolongan enzim berdasarkan daya katalisis

- Oksidoreduktase, Enzim ini mengkatalisis reaksi oksidasi-reduksi, yang merupakan pemindahan elektron, hidrogen atau oksigen. Sebagai contoh adalah enzim elektron transfer oksidase dan hidrogen peroksidase (katalase). Ada beberapa macam enzim electron transfer oksidase, yaitu enzim oksidase, oksigenase, hidrosilase dan dehidrogenase.
- Transferase, Transferase mengkatalisis pemindahan gugusan molekul dari suatu molekul ke molekul yang lain. Sebagai contoh adalah beberapa enzim sebagai berikut:
 - Transaminase adalah transferase yang memindahkan gugusan amina.
 - Transfosforilase adalah transferase yang memindahkan gugusan fosfat.
 - Transasilase adalah transferase yang memindahkan gugusan asil.

- Hidrolase, Enzim ini mengkatalisis reaksi-reaksi hidrolisis, dengan contoh enzim adalah:
 - Karboksilesterase adalah hidrolase yang menghidrolisis gugusan ester karboksil.
 - Lipase adalah hidrolase yang menghidrolisis lemak (ester lipida).
 - Peptidase adalah hidrolase yang menghidrolisis protein dan polipeptida.
- Liase, Enzim ini berfungsi untuk mengkatalisis pengambilan atau penambahan gugusan dari suatu molekul tanpa melalui proses hidrolisis, sebagai contoh adalah:
 - L malat hidrolase (fumarase) yaitu enzim yang mengkatalisis reaksi pengambilan air dari malat sehingga dihasilkan fumarat.
 - Dekarboksilase (dekarboksilase) yaitu enzim yang mengkatalisis reaksi pengambilan gugus karboksil.
- Isomerase, Isomerase meliputi enzim-enzim yang mengkatalisis reaksi isomerisasi, yaitu:
 - Rasemase, merubah l-alanin D-alanin
 - Epimerase, merubah D-ribulosa-5-fosfat D-xylulosa-5-fosfat
 - Cis-trans isomerase, merubah transmetinal cisrentolal
 - Intramolekul ketol isomerase, merubah D-gliseraldehid-3-fosfat dihidroksi aseton fosfat
 - Intramolekul transferase atau mutase, merubah metilmalonil-CoA suksinil-CoA
- Ligase, Enzim ini mengkatalisis reaksi penggabungan 2 molekul dengan dibebaskannya 2 molekul pirofosfat dari nukleosida trifosfat, sebagai

contoh adalah enzim asetat=CoASH ligase yang mengkatalisis reaksi sebagai berikut:



Enzim diklasifikasikan berdasarkan tipe reaksi dan mekanisme reaksi yang dikatalisis. Pada awalnya hanya ada beberapa enzim yang dikenal, dan kebanyakan mengkatalisis reaksi hidrolisis ikatan kovalen. Semua enzim ini diidentifikasi dengan menambahkan akhiran -ase pada nama substansi atau substrat yang dihidrolisis. Contoh: lipase menghidrolisis lipid, amilase menghidrolisis amilum, protease menghidrolisis protein. Pemakaian penamaan tersebut terbukti tidak memadai karena banyak enzim mengkatalisis substrat yang sama tetapi dengan reaksi yang berbeda. Contohnya ada enzim yang mengkatalisis reaksi reduksi terhadap fungsi alkohol gula dan ada pula yang mengkatalisis reaksi oksidasi pada substrat yang sama.

Sistem penamaan enzim sekarang tetap menggunakan -ase, namun ditambahkan pada jenis reaksi yang dikatalisisnya. Contoh: enzim dehidrogenase mengkatalisis reaksi pengeluaran hidrogen, enzim transferase mengkatalisis pemindahan gugus tertentu. Untuk menghindari kesulitan penamaan karena semakin banyak ditemukan enzim yang baru, maka International Union of Biochemistry (IUB) telah mengadopsi sistem penamaan yang kompleks tetapi tidak meragukan berdasarkan mekanisme reaksi. Namun sampai sekarang masih banyak buku-buku yang masih menggunakan sistem penamaan lama yang lebih pendek

Struktur Enzim

Enzim yang strukturnya sempurna dan aktif mengkatalisis bersama-sama dengan koenzim atau gugus logamnya disebut holoenzim

a. Apoenzim

Adalah bagian enzim yang berupa senyawa protein yang mengandung binding site:

- Sisi Aktif adalah sisi yang berikatan dengan substrat. Substrat adalah zat yang akan dijadikan produk
- Sisi Alosterik adalah sisi yang berikatan dengan kofaktor (aktivator) enzim.

b. Kofaktor

Adalah bagian enzim berupa senyawa non-protein. Kofaktor dapat mengubah-ubah bentuk sisi aktif sehingga dapat ditemplei substrat tertentu. Macam-macam kofaktor enzim :

- Koenzim Adalah kofaktor berupa senyawa organik (vitamin) yang berikatan secara non-kovalen dengan enzim. Contoh: koenzim NAD⁺. Sisi alosterik dapat diganggu oleh inhibitor non- kompetitif yang ber-struktur sama dengan kofaktor. Inhibitor akan mencegah enzim untuk mengubah-ubah bentuk sisi aktif (kaku).
- Gugus prostetik Adalah kofaktor berupa senyawa anorganik (mineral) yang berikatan secara kovalen dengan enzim. Contoh: Cl⁻ dan Ca²⁺ pada enzim amilase, Fe pada hemoglobin, dan Mg pada klorofil.

Sifat Enzim

- a. Enzim sebagai protein, Sebagai protein enzim memiliki sifat seperti protein, yaitu sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu, pH, konsentrasi substrat). Jika lingkungannya tidak sesuai, maka enzim akan rusak atau tidak dapat bekerja dengan baik.

- b. Setiap enzim memiliki sisi aktif yang sesuai hanya dengan satu jenis substrat, artinya setiap enzim hanya dapat bekerja pada satu substrat yang cocok dengan sisi aktifnya. Misalnya enzim katalase hanya digunakan untuk menguraikan H_2O_2 , amylase hanya untuk mengkatalisis amilum sebagai substratnya.
- c. Berfungsi sebagai katalis, meningkatkan kecepatan reaksi kimia tanpa merubah produk yang diharapkan tanpa ikut bereaksi dengan substratnya, dengan demikian energi yang dibutuhkan untuk menguraikan suatu substrat menjadi lebih sedikit.
- d. Diperlukan dalam jumlah sedikit, Reaksi enzimatik dalam metabolisme hanya membutuhkan sedikit sekali enzim untuk setiap kali reaksi.
- e. Bekerja bolak-balik, Enzim tidak mempengaruhi arah reaksi, sehingga dapat bekerja dua arah (bolak-balik). Artinya enzim dapat menguraikan substrat menjadi senyawa sederhana, dan sebaliknya enzim juga dapat menyusun senyawa-senyawa menjadi senyawa tertentu.

Fungsi enzim

Fungsi suatu enzim ialah sebagai katalis untuk suatu proses biokimia yang terjadi dalam sel maupun di luar sel. Suatu enzim dapat mempercepat reaksi 10⁸ sampai 10¹¹ kali lebih cepat daripada suatu reaksi tersebut dilakukan tanpa katalis. Jadi enzim dapat berfungsi sebagai katalis yang sangat efisien, di samping mempunyai derajat kekhasan yang tinggi. Oleh karena itu, enzim mempunyai peranan yang sangat penting dalam reaksi metabolisme. Peranan enzim dalam reaksi metabolisme adalah sebagai berikut:

- a. Biokatalisator yaitu meningkatkan kecepatan reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasinya tetapi tidak ikut bereaksi.
- b. Modulator yaitu mengatur reaksi yang bersifat acak menjadi berpola. Misalnya glukosa yang terbentuk selama proses fotosintesis. Jika konsentrasi glukosa telah melebihi keseimbangan, maka akan terurai menjadi CO_2 dan H_2O . Dengan adanya enzim, glukosa dapat diubah menjadi sukrosa atau amilum. Dalam bentuk sukrosa dapat didarkan ke seluruh jaringan melalui floem dan disimpan dalam bentuk amilum. Dengan mengubah glukosa menjadi molekul lain, maka proses fotosintesis dapat terus berlangsung tidak terhambat oleh akumulasi hasilnya.

Jenis-jenis enzim pencernaan

- a. Enzim amilase untuk mencerna karbohidrat kompleks (pati) menjadi karbohidrat sederhana (glukosa) maltosa
- b. Enzim maltase untuk mencerna maltose menjadi glukosa
- c. Enzim sukrase untuk mencerna sukrosa menjadi glukosan dan fruktosa
- d. Enzim laktase untuk mencerna laktosa menjadi glukosa dan galaktosa
- e. Enzim selulose untuk mengurai polisakarida menjadi disakarida
- f. Enzim pectinase untuk mengurai petin menjadi asam pektin
- g. Enzim lipase untuk memecah lemak mejadi asam lemak dan gliserol
- h. Enzim protease untuk memecah protein menjadi asam amino

4.3 Kelenjar Pencernaan

Secara anatomis, struktur alat pencernaan ikan berkaitan dengan bentuk tubuh, kebiasaan makanan, tingkah laku ikan dan umur ikan. Sistem atau alat pencernaan pada ikan terdiri dari dua bagian, yaitu saluran pencernaan (*Tractus digestivus*) dan kelenjar pencernaan (*Glandula digestoria*). Kelenjar pencernaan terdiri dari hati dan pankreas yang berguna untuk menghasilkan enzim pencernaan yang nantinya akan bertugas membantu proses penghancuran makanan.

Kelenjar pencernaan berguna untuk menghasilkan enzim pencernaan yang nantinya akan bertugas membantu proses penghancuran makanan. Enzim pencernaan yang dihasilkan oleh ikan buas juga berbeda dengan ikan vegetarian. Ikan buas pada umumnya menghasilkan enzim-enzim pemecah protein, sedangkan ikan vegetarian menghasilkan enzim-enzim pemecah karbohidrat. Kelenjar pencernaan terdiri dari hati dan pankreas. Disamping itu, saluran pencernaannya (lambung dan usus) juga berfungsi sebagai kelenjar pencernaan.

Hati merupakan organ penting yang mensekresikan bahan untuk proses pencernaan. Organ ini umumnya merupakan suatu kelenjar yang kompak, berwarna merah kecokelatan. Posisi hati terletak pada rongga tubuh bagian bawah, di belakang jantung dan disekitar usus depan. Di sekitar hati terdapat organ berbentuk kantong kecil, bulat, oval atau memanjang dan berwarna hijau kebiruan, organ ini dinamakan kantong empedu yang fungsinya untuk menampung cairan empedu yang disekresikan oleh organ hati.

Secara umum hati berfungsi sebagai tempat metabolisme karbohidrat, lemak dan protein serta tempat memproduksi cairan empedu. Pankreas merupakan organ yang mensekresikan bahan (enzim) yang berperan dalam proses pencernaan. Pankreas ada yang berbentuk kompak dan ada yang diffus (menyebarkan) di antara

sel hati. Letak pankreas berdekatan dengan usus depan sebab saluran pankreatik bermuara ke usus depan. Saluran pankreatik yaitu saluran-saluran kecil yang bergabung satu sama lain dan pada akhirnya akan terbentuk saluran yang keluar dari pankreas menuju usus depan.

Hati

Salah satu kelenjar pencernaan adalah hati. Letak hati ada di bagian depan lambung, di bawah kerongkongan, dan memanjang hingga ke bagian belakang usus depan. Area di sekitarnya yang tidak ditempati oleh organ lain memiliki kaitan langsung dengan bentuknya yang bervariasi. Bahkan pada beberapa jenis ikan hati bisa mencapai 20% dari berat badan. Jumlah lobus bervariasi antara satu buah (*Anguilla* sp.), dua buah (*Teleostei* pada umumnya), dan tiga buah (*Euthystus* sp.). Peran hati termasuk sekresi empedu dan penyimpanan glikogen

Kantung Empedu

Cairan empedu ditampung di dalam kantung khusus empedu. Kantung ini terletak di bagian bawah hati dan memiliki berbagai bentuk di antaranya berbentuk (bulat, lonjong, memanjang, dan bentuk lainnya). Cairan empedu mengandung pigmen empedu (biliverdin dan bilirubin) yang dihasilkan dari perombakan sel darah. Selain itu, empedu juga mengandung garam empedu yang membantu kestabilan emulsi lemak sehingga mempermudah proses pembuatan keasaman lambung menjadi netral di dalam usus. Setelah itu, empedu akan berpindah ke usus di dasar pilorik

Pankreas

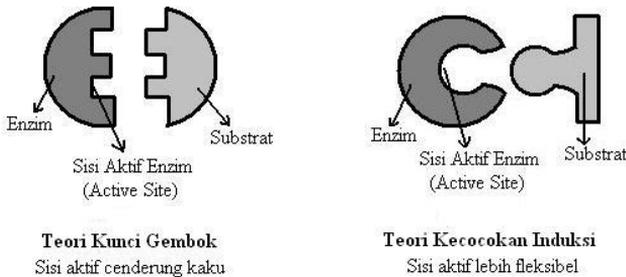
Pankreas merupakan organ penting dalam sistem pencernaan. Protease (tripsin),serta karbohidrase (amilase dan lipase), adalah contoh enzim yang dihasilkan oleh

pankreas. Pada umumnya, ikan pemakan serangga akan menghasilkan enzim kitinase di dalam pancreas. Ikan bertulang sejati memiliki kelenjar pancreas, kecuali Scaridae (parrotfishes). Ikan hiu dan pari sama-sama memiliki pankreas yang biasanya memiliki dua lobus sebagai targetnya

Pankreas adalah organ alami dengan fungsi ganda yaitu sebagai organ eksokrin dan endokrin. Sebagai organ endokrin, pankreas memiliki kelompok sel yang mengeluarkan hormon insulin, sedangkan pancreas sebagai organ eksokrin akan menghasilkan enzim pencernaan.

4.4 Cara Kerja Enzim

Ada dua teori mengenai mekanisme kerja enzim, yaitu *lock and key theory* (teori gembok dan kunci) dan *induced fit theory*.



Gambar 7. Mekanisme kerja enzim
(Sumber :<https://id.quora.com>)

Teori gembok dan kunci

Teori ini dikemukakan oleh Fischer (1988). Menurutnya, enzim diumpamakan sebagai gembok karena memiliki sebuah bagian kecil yang dapat berikatan dengan substrat yang disebut dengan sisi aktif, sedangkan substrat sebagai kunci karena dapat berikatan secara pas dengan sisi aktif enzim. Substrat tersebut kemudian diubah menjadi

produk tertentu. Produk inilah yang kemudian dilepaskan dari sisi aktif enzim untuk kemudian enzim siap menerima substrat baru. Substrat dapat berikatan dengan enzim jika sesuai dengan sisi aktif enzim. Sisi aktif enzim mempunyai bentuk tertentu yang hanya sesuai untuk satu jenis substrat saja, hal itu menyebabkan enzim bekerja secara spesifik. Substrat yang mempunyai bentuk ruang yang sesuai dengan sisi aktif enzim akan berikatan dan membentuk kompleks transisi enzim-substrat. Senyawa transisi ini tidak stabil sehingga pembentukan produk berlangsung dengan sendirinya. Jika enzim mengalami denaturasi (rusak) karena panas, bentuk sisi aktif akan berubah sehingga substrat tidak sesuai lagi. Perubahan pH juga mempunyai pengaruh yang sama.

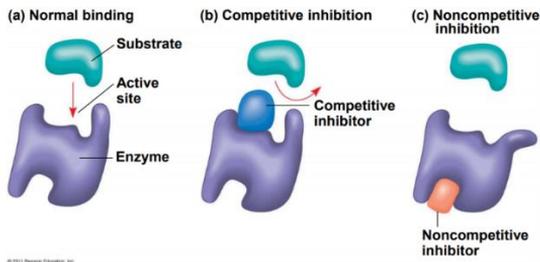
Teori Ketepatan Induksi

Teori ini dikemukakan oleh Daniel Koshland. Menurut teori ini, sisi aktif enzim bersifat fleksibel. Akibatnya, sisi aktif enzim dapat berubah bentuk menyesuaikan bentuk substrat. Teori ini sesuai dengan mekanisme kerja enzim yang sesungguhnya. Reaksi antara substrat dengan enzim berlangsung karena adanya induksi molekul substrat terhadap molekul enzim. Menurut teori ini, sisi aktif enzim bersifat fleksibel dalam menyesuaikan struktur sesuai dengan struktur substrat. Ketika substrat memasuki sisi aktif enzim, maka enzim akan terinduksi dan kemudian mengubah bentuknya sedikit sehingga mengakibatkan perubahan sisi aktif yang semula tidak cocok menjadi cocok (fit). Kemudian terjadi pengikatan substrat oleh enzim yang selanjutnya substrat diubah menjadi produk. Produk kemudian dilepaskan dan enzim kembali pada keadaan semula dan siap untuk mengikat substrat baru.

4.5 Faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim pencernaan

Penghambatan aktifitas enzim ada dua tipe:

1. Kompetitif, zat penghambat mempunyai struktur yang mirip dengan substrat sehingga dapat bergabung dengan sisi aktif enzim. Terjadi kompetisi antara substrat dengan inhibitor untuk bergabung dengan sisi aktif enzim (misal feed back effect)
2. Non kompetitif, zat penghambat menyebabkan struktur enzim rusak sehingga sisi aktifnya tidak cocok lagi dengan substrat



Gambar 8. Penghambat aktifitas enzim

(Sumber :<https://id.quora.com>)

Aktivitas enzim di pengaruhi beberapa faktor yaitu:

Suhu

Kerja suatu enzim sangat dipengaruhi suhu lingkungannya. Setiap kenaikan suhu 10o C, kecepatan enzim akan menjadi dua kali lipat, sampai batas suhu tertentu. Enzim dan protein pada umumnya dinonaktifkan oleh suhu tinggi. Enzim berdarah panas dan manusia bekerja paling efisien pada suhu 37o C, sedangkan enzim hewan berdarah dingin pada suhu 25o C.

Suhu berpengaruh terhadap kerja enzim, yaitu:

- Semakin tinggi suhu, maka energi kinetik substrat dan enzim meningkat, sehingga mempermudah keduanya saling berikatan.

- Aktivitas enzim meningkat pada suhu optimum sampai suatu suhu maksimum (sekitar 40°C).
- Suhu yang terlalu tinggi ($>40^{\circ}\text{C}$) menyebabkan enzim tidak bekerja karena struktur enzim rusak akibat mengalami denaturasi protein. Enzim yang mengalami denaturasi tidak dapat digunakan kembali.
- Suhu yang terlalu rendah ($<30^{\circ}\text{C}$) menyebabkan enzim tidak bekerja karena enzim mengalami inaktivasi. Enzim yang mengalami inaktivasi masih dapat digunakan jika suhu kembali normal.

pH

Semua enzim peka terhadap perubahan pH, dan nonaktif pada lingkungan pH sangat rendah (asam kuat) dan pH tinggi (basa kuat). Enzim bekerja pada pH tertentu, umumnya pada netral, kecuali beberapa jenis enzim yang bekerja pada suasana asam atau suasana basa. Jika enzim yang bekerja optimum pada suasana netral ditempatkan pada suasana basa ataupun asam, enzim tersebut tidak akan bekerja atau bahkan rusak. Begitu juga sebaliknya, jika suatu enzim bekerja optimal pada suasana basa atau asam tetapi ditempatkan pada keadaan asam atau bas, enzim tersebut akan rusak.

Sebagai contohnya, enzim pepsin yang terdapat di dalam lambung, efektif bekerja pada pH rendah.

- Setiap enzim bertindak paling cepat pada nilai pH tertentu yang disebut sebagai pH optimum.
- pH optimum bagi kebanyakan enzim ialah pH 7.
- Terdapat beberapa pengecualian, misalnya enzim pepsin di dalam perut bertindak paling cepat pada pH 2, sementara enzim tripsin di dalam usus kecil bertindak paling cepat pada pH 8.

Contoh, enzim pepsin memiliki pH optimum 2, sedangkan enzim tripsin memiliki pH optimum 8,5.

Konsentrasi Enzim, substrat dan kofaktor

Jika pH dan suhu suatu sistem enzim adalah konstan, dan jumlah substrat berlebihan, maka laju reaksi adalah sebanding dengan jumlah enzim yang ada. Sebaliknya jika pH, suhu dan konsentrasi enzim konstan, maka laju reaksi adalah sebanding dengan jumlah substrat.

Inhibitor

Aktivitas suatu enzim dapat dihambat oleh suatu senyawa yang dikenal sebagai inhibitor. Inhibitor digolongkan menjadi 2 jenis utama, yaitu:

- a. yang bekerja secara tidak dapat balik (irreversible),
- b. yang bekerja secara dapat balik (reversible).

Penghambat yang irreversible adalah golongan yang bereaksi dengan, atau merusakkan suatu gugus fungsional pada molekul enzim yang penting bagi aktivitas katalitiknya. Sebagai contoh, adalah senyawa *diisopropil fluoro fosfat* (DFP), yang menghambat enzim asetilkolinesterase, yaitu enzim yang penting di dalam transmisi impuls syaraf. *Asetilkolinesterase* mengkatalisis hidrolisis asetilkolin, suatu senyawa neurotransmitter yang berfungsi di dalam bagian sinaps yang dihasilkan oleh ujung syaraf (akson) yang telah menerima impuls. Asetilkolin yang dihasilkan diteruskan ke sel syaraf lainnya atau ke efektor (misalnya otot) untuk meneruskan impuls syaraf. Akan tetapi, sebelum impuls kedua dapat dipancarkan melalui sinaps, asetilkolin yang dihasilkan setelah impuls pertama harus dihidrolisis oleh asetilkolinesterase pada sambungan sel syaraf. Produk penguraian asetilkolin oleh asetilkolinesterase adalah asetat dan kolin, dan tidak memiliki aktivitas transmitter.

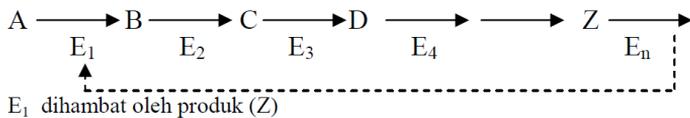
Penghambat DFP sangat reaktif, dan bereaksi dengan bagian sisi aktif dari enzim asetilkolinesterase, yaitu gugus hidroksil dari residu serin esensial, sehingga enzim tidak aktif untuk mengkatalisis asetilkolin. DFP merupakan gas syaraf yang pertama kali ditemukan, jika diberikan pada hewan, hewan tersebut menjadi lemah, tidak dapat lagi melaksanakan fungsi bagian-bagian tertentu, karena impuls syaraf tidak lagi dapat ditransmisikan secara normal. Tetapi, terdapat manfaat lain dari DFP. Senyawa ini menyebabkan berkembangnya malation dan insektisida lain yang relative tidak beracun bagi manusia. Malation diubah oleh enzim pada insekta, menjadi penghambat aktif asetilkolinesterase insekta tersebut. DFP telah ditemukan menghambat semua jenis enzim, banyak diantaranya yang mampu mengkatalisis hidrolisis ikatan peptida atau ester. Golongan ini tidak hanya mencakup asetilkolinesterase, tetapi juga tripsin, khimotripsin, elastase, fosfoglukomutase, dan kokoonase, suatu enzim yang dihasilkan oleh larva ulat sutra untuk menghidrolisis serat-serat sutra kepompong, dan menyebabkan larva dapat dibebaskan. Semua enzim yang dihambat oleh DFP memiliki residu serin esensial pada sisi aktifnya, yang berpartisipasi dalam aktivitas katalitiknya.

Jenis kedua adalah, penghambat enzim yang dapat balik, yang dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu: zat penghambat yang bersaing (kompetitif), dan zat penghambat yang tidak bersaing (non-kompetitif). Zat penghambat yang bersaing itu mempunyai struktur mirip dengan struktur molekul substrat. Suatu penghambat kompetitif berlomba dengan substrat untuk berikatan dengan sisi aktif enzim, tetapi, sekali terikat tidak dapat diubah oleh enzim tersebut. Ciri penghambat kompetitif adalah penghambatan ini dapat dihilangkan dengan

meningkatkan konsentrasi substrat. Contoh jenis penghambatan kompetitif adalah penghambatan kompetitif dehidrogenase suksinat oleh anion malonat dan oksaloasetat. Dehidrogenase suksinat adalah anggota golongan enzim yang mengkalatisis siklus asam sitrat yang dapat membebaskan 2 atom hidrogen dari suksinat. Dehidrogenase suksinat dihambat oleh malonat yang struktur molekulnya mirip suksinat. Sedangkan zat penghambat yang tidak bersaing (non kompetitif) dapat menempel pada enzim, pada sisi regulasi enzim, sehingga mengubah konformasi molekul enzim, sehingga menyebabkan inaktivasi enzim.

Kontrol terhadap kerja enzim

Dalam sistem biologis, kecepatan kerja enzim dapat dipengaruhi oleh kehadiran suatu molekul lain yang dapat berperan sebagai pemicu (activator) atau penghambat (inhibitor), keduanya biasanya disebut secara bersamaan sebagai efektor. Pola umum pengontrolan jalur metabolisme biasanya terjadi ketika enzim pertama pada jalur metabolisme tersebut dihambat kerjanya oleh hasil akhir dari jalur metabolisme tersebut. Penghambatan ini biasanya dinamakan *feedback inhibition* (Gambar 9)



Gambar 9. Penghambatan enzim

Pengontrolan model *feedback inhibition*, dimana enzim yang bekerja pada tahap awal (E1) dihambat kerjanya oleh produk akhir (Z), memberikan keuntungan pada sel, yaitu organisme tersebut dapat mengatur supply

energi, dan mencegah menumpuknya senyawa intermediet (B-C-D ...) selama proses metabolisme terjadi. Banyak jalur metabolisme dalam tubuh organisme berbentuk cabang, sehingga proses feedback inhibition yang terjadi dapat berlangsung di beberapa lokasi. Mekanisme penghambatan ini dinamakan sequential feedback inhibition.

Pada beberapa jenis jalur metabolisme, produk akhir dapat berikatan dengan enzim bukan pada sisi aktif enzim tetapi pada titik control lainnya. Jenis enzim demikian dinamakan enzim alosterik. Enzim alosterik sering berbentuk protein yang memiliki beberapa subunit protein dan memiliki satu atau lebih sisi aktif pada masing-masing subunitnya. Terikatnya substrat pada sisi aktif enzim akan menginduksi perubahan konformasi protein pada enzim tersebut yang memungkinkan sisi aktif lainnya memiliki afinitas untuk berikatan dengan molekul substrat. Enzim alosterik dikontrol oleh molekul efektor (activator dan inhibitor) yang berikatan pada enzim pada bagian tertentu dari enzim tersebut di luar sisi aktif enzim, dan selanjutnya dapat menyebabkan perubahan konformasi sisi aktif enzim yang dapat mempengaruhi kecepatan enzim tersebut. Molekul activator alosterik dapat meningkatkan laju kerja enzim, sedangkan molekul inhibitor alosterik dapat menurunkan kerja enzim. Kontrol kerja enzim lainnya dapat berbentuk pengaturan pada proses terjadinya enzim yang aktif yang berasal dari enzim yang belum aktif (proenzim atau zymogen). Contoh, beberapa jenis enzim diproduksi oleh kelenjar tertentu dalam tubuh masih berupa proenzim atau zymogen yang belum aktif. Aktivasi zymogen menjadi enzim aktif bisa dilakukan oleh enzim lainnya yang sudah aktif. Sebagai contoh, enzim tripsin, pertama kali diproduksi oleh pankreas masih berupa

tripsinogen. Tripsinogen dibawa ke usus halus dan diaktivasi oleh enzim enteropeptidase yang dihasilkan oleh usus halus membentuk enzim tripsin yang aktif.

Selanjutnya enzim tripsin dapat mengaktivasi balik tripsinogen atau zymogen lainnya misalnya chymotrypsinogen dan proelastase menjadi chymotripsin dan elastase.

4.6 Konsentrasi Substrat

Mekanisme kerja enzim juga ditentukan oleh jumlah atau konsentrasi substrat yang tersedia. Jika jumlah substratnya sedikit, kecepatan kerja enzim juga rendah. Sebaliknya, jika jumlah substrat yang tersedia banyak, kerja enzim juga cepat. Pada keadaan substrat berlebih, kerja enzim tidak sampai menurun tetapi konstan. Pada kepekatan substrat rendah, bilangan molekul enzim melebihi bilangan molekul substrat. Oleh itu, cuma sebilangan kecil molekul enzim bertindak balas dengan molekul substrat. Apabila kepekatan substrat bertambah, lebih molekul enzim dapat bertindak balas dengan molekul substrat sehingga ke satu kadar maksimum. Penambahan kepekatan substrat selanjutnya tidak akan menambahkan kadar tindak balas kerana kepekatan enzim menjadi faktor penghambat.

BAB V

PROSES PENYERAPAN MAKANAN

5.1 Pencernaan

Setiap makhluk hidup di bumi pasti tersusun atas sel-sel yang berperan aktif dalam proses metabolisme. Dalam proses metabolisme ini tentunya membutuhkan zat-zat seperti protein, karbohidrat, vitamin, dan bahan lainnya untuk membantu proses metabolisme itu sendiri. Ikan membutuhkan materi (nutrien) dan energi untuk aktifitas kehidupannya. Nutrien yang dibutuhkan dalam hal ini berupa protein, lemak, dan karbohidrat. Selain itu, ikan juga membutuhkan vitamin dan mineral dalam jumlah yang memadai. Sumber protein, lemak, karbohidrat, vitamin, dan mineral diperoleh ikan dari luar, yaitu dengan mengkonsumsi makanan (pakan). Untuk mengkonsumsi makanan maka ikan memerlukan sistem pencernaan agar bahan tersebut dapat diproses. Layaknya hewan pada umumnya ikan juga mempunyai sistem pencernaan sesuai dengan makanan dan lingkungannya. Ikan membutuhkan materi (nutrien) dan energi untuk aktifitas kehidupannya. Nutrien yang dibutuhkan dalam hal ini berupa protein, lemak, dan karbohidrat. Selain itu, ikan juga memerlukan vitamin dan mineral dalam jumlah yang memadai. Sebagai organisme heterotrof, ikan membutuhkan semua itu yang berasal dari makanan. Mencari makanan bagi ikan merupakan kegiatan rutin keseharian, bahkan sebagian ikan menghabiskan waktu untuk kegiatan ini. Sebagian besar ikan mengembangkan organ agar dapat menemukan dan mendapatkan makanan. Pencernaan adalah suatu proses penyederhanaan makanan melalui mekanisme fisik dan

kimiawi sehingga menjadi bahan yang mudah diserap dan disebarkan ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah. Sistem pencernaan meliputi organ yang berhubungan dengan pengambilan makanan, mekanismenya, dan penyediaan bahan-bahan kimia, serta pengeluaran sisa-sisa makanan yang tidak tercernakan keluar dari tubuh.

5.2 Protein

Sekitar 50 % dari kebutuhan kalori yang diperlukan oleh ikan berasal dari protein. Bahan ini berfungsi untuk membangun otot, sel-sel, dan jaringan tubuh, terutama bagi ikan-ikan muda. Kebutuhan protein sendiri bervariasi tergantung pada jenis ikannya. Meskipun demikian, protein adalah unsur kunci yang diperlukan untuk pertumbuhan dan kesehatan pada seluruh jenis ikan. Pada umumnya kebutuhan ikan terhadap protein dapat digolongkan secara garis besar sebagai berikut : 15 – 30 % dari total pakan bagi ikan-ikan herbivora, dan 45% bagi ikan karnivora. Sedangkan untuk ikan-ikan muda diperlukan diet dengan kandungan protein 50 %.

Protein adalah molekul makro yang mempunyai berat molekul antara lima ribu hingga beberapa juta. Protein terdiri atas rantai-rantai panjang asam amino yang terikat satu sama lain dalam ikatan peptida. Asam amino terdiri atas unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Beberapa asam amino di samping itu mengandung unsur-unsur fosfor, besi, sulfur, idiom, dan kobalt. Unsur nitrogen adalah unsur utama protein, karena terdapat di dalam semua protein akan tetapi tidak terdapat di dalam karbohidrat dan lemak. Unsur nitrogen merupakan 16% dari berat protein.

Molekul protein lebih kompleks dari pada karbohidrat dan lemak dalam hal berat molekul dan keanekaragaman unit-unit asam amino yang

membentuknya. Berat molekul protein bisa mencapai 40 juta. Bandingkan dengan berat glukosa yang besarnya 180. Ada dua puluh jenis asam amino yang diketahui sampai sekarang yang terdiri atas sembilan asam amino esensial (asam amino yang tidak dapat dibuat tubuh dan harus didatangkan dari makanan) dan sebelas asam amino non esensial.

Protein merupakan suatu polimer heterogen yang tersusun atas monomer asam amino dalam jumlah banyak, mencapai ribuan bahkan ratusan, saling berhubungan satu sama lain melalui ikatan peptida dan ikatan silang antara ikatan hidrogen, ikatan sulfhidril, dan ikatan van der waal. Protein merupakan penyusun utama makhluk hidup, molekul protein ini mengandung unsur oksigen, nitrogen, hidrogen, karbon, sulfur, serta fosfor yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup. Pada makhluk hidup, protein memegang peranan penting, baik sebagai antibodi (sistem kekebalan tubuh), sistem kendali (hormon), sumber asam amino bagi organisme heterotof (tidak mampu membentuk asam amino), sumber gizi, maupun dalam fungsi struktural atau mekanis (pembentuk batang dan sendi sitoskeleton). Pada ikan, protein memegang peranan penting karena material organik utama dalam jaringan maupun organ tubuh ikan tersusun oleh protein berkisar antara 18-30 %. Bahkan bersama dengan komponen nitrogen lain, protein berperan membentuk vitamin, enzim, asam nukleat, hormon, dll

Fungsi protein sebagai senyawa organik kompleks yang berbobot molekul tinggi, protein sangat dibutuhkan oleh ikan terutama sebagai sumber energi. Karena nilai energi produktif yang diberikan oleh protein kepada ikan lebih besar jika dibandingkan dengan hewan lainnya, dimana peningkatan panas akibat pemberian protein pada

ikan lebih rendah. Selain itu, Sebagian besar energi yang dapat dicerna (*digestible energy*) dalam protein juga dapat dimetabolisme dengan lebih baik oleh tubuh ikan. Selain sebagai sumber energi, protein pada ikan juga berfungsi memperbaiki jaringan rusak, serta membantu pertumbuhan ikan. Protein ini dibutuhkan oleh tubuh ikan secara kontinue karena asam amino dalam protein dibutuhkan secara terus menerus terutama untuk mengganti protein rusak selama masa pemeliharaan dan membentuk protein baru selama masa pertumbuhan dan masa reproduksi

Protein mengandung karbon (50-55%), oksigen (22-26%), nitrogen (12-19% dengan asumsi rata-rata 16%), hidrogen (6-8%), dan sulfur (0-2%). Protein bervariasi dalam komposisi kimianya, ukuran, bentuk, sifat-sifat fisiknya, dan fungsi biologisnya. Namun demikian, bilamana terhidrolisis, semua protein menghasilkan satu grup komponen organik yang sederhana yang dinamai dengan asam amino. Dengan demikian, asam amino disebut juga sebagai dinding pembangun atau building blocks dari protein. Terdapat berbagai asam amino di alam namun hanya 18 L-asam amino yang umumnya dijumpai dalam kebanyakan protein. Adapun fungsi protein pada tubuh ikan:

- Sebagai zat pembangun yang membentuk jaringan baru untuk pertumbuhan, mengganti jaringan yang rusak maupun untuk reproduksi.
- Sebagai zat pengatur yang berperan untuk pembentukan enzim dan hormon penjaga dan pengatur berbagai proses metabolisme di dalam tubuh.
- sebagai zat pembakar karena unsur karbon yang terkandung di dalamnya dapat difungsikan sebagai sumber energi pada saat kebutuhan energi tidak

terpenuhi oleh karbohidrat dan lemak. Molekul protein tersusun dari sejumlah asam amino sebagai bahan dasar. Mutu protein sangat ditentukan oleh komposisi asam amino penyusunannya komposisi ini akan berbeda antara satu bahan dengan bahan lainnya.

Protein yang dicerna oleh ikan digunakan sebagai sumber energi untuk pembaruan/mengganti jaringan yang rusak dan pertumbuhan ikan. Oleh karena pemakaian protein pakan akan sangat berguna jika semua protein tersebut digunakan untuk pertumbuhan atau perbaikan jaringan dan dapat dikatabolisme sebagai energi. Beberapa bahan baku yang dapat digunakan sebagai sumber protein adalah: Tepung darah, Tepung kopra, Tepung Kedelai bebas lemak, Tepung ikan, Tepung daging dan tulang, Tepung kepala udang, Tepung udang, Tepung cumi-cumi, Ikan rucah dan Ragi

5.3. Karbohidrat

Pada ikan, karbohidrat diperlukan untuk pertumbuhan dan energi. Meskipun demikian, ikan tidak memerlukan karbohidrat dalam jumlah besar pada makanannya. Kebanyakan karbohidrat diketahui malah dapat menghambat pertumbuhan ikan. Hal ini tampaknya berkaitan dengan kenyataan bahwa kandungan kadar karbohidrat yang tinggi pada makanan ikan sering berkaitan dengan rendahnya kadar nutrisi esensial lainnya.

Secara umum definisi karbohidrat adalah senyawa organik yang mengandung atom Karbon, Hidrogen dan Oksigen, dan pada umumnya unsur Hidrogen dan oksigen dalam komposisi menghasilkan H₂O. Di dalam tubuh karbohidrat dapat dibentuk dari beberapa asam amino dan sebagian dari gliserol lemak. Akan tetapi sebagian besar

karbohidrat diperoleh dari bahan makanan yang dikonsumsi sehari-hari, terutama sumber bahan makan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (Hutahalung, 2004).

Sumber karbohidrat nabati dalam glikogen bentuk glikogen, hanya dijumpai pada otot dan hati dan karbohidrat dalam bentuk laktosa hanya dijumpai di dalam susu. Pada tumbuh-tumbuhan, karbohidrat di bentuk dari hasil reaksi CO_2 dan H_2O melalui proses fotosintesis di dalam sel-sel tumbuh-tumbuhan yang mengandung hijau daun (klorofil). Matahari merupakan sumber dari seluruh kehidupan, tanpa matahari tanda-tanda dari kehidupan tidak akan dijumpai (Hutagalung, 2004).

Karbohidrat atau Hidrat Arang adalah suatu zat gizi yang fungsi utamanya sebagai penghasil energi, dimana setiap gramnya menghasilkan 4 kalori. Walaupun lemak menghasilkan energi lebih besar, namun karbohidrat lebih banyak di konsumsi sehari-hari sebagai bahan makanan pokok, terutama pada negara sedang berkembang. Di negara sedang berkembang karbohidrat dikonsumsi sekitar 70-80% dari total kalori, bahkan pada daerah-daerah miskin bisa mencapai 90%. Sedangkan pada negara maju karbohidrat dikonsumsi hanya sekitar 40-60%. Hal ini disebabkan sumber bahan makanan yang mengandung karbohidrat lebih murah harganya dibandingkan sumber bahan makanan kaya lemak maupun protein.

1) Penyerapan Karbohidrat

Semua jenis karbohidrat diserap dalam bentuk monosakarida, proses penyerapan ini terjadi di usus halus. Glukosa dan galaktosa memasuki aliran darah dengan jalan transfer aktif, sedangkan fruktosa dengan jalan difusi. Para ahli sepakat bahwa karbohidrat hanya dapat diserap dalam bentuk disakarida. Hal ini dibuktikan dengan dijumpainya

maltosa, sukrosa dan laktosa dalam urine apabila mengkonsumsi gula dalam jumlah banyak. Akhirnya berbagai jenis karbohidrat diubah menjadi glukosa sebelum diikut sertakan dalam proses metabolisme. Proses metabolisme karbohidrat yaitu sebagai berikut:

- a. Glikolisis adalah rangkaian reaksi kimia penguraian glukosa (yang memiliki 6 atom C) menjadi asam piruvat (senyawa yang memiliki 3 atom C), NADH, dan ATP. NADH (Nikotinamida Adenina Dinukleotida Hidrogen) adalah koenzim yang mengikat elektron (H), sehingga disebut sumber elektron berenergi tinggi. ATP (adenosin trifosfat) merupakan senyawa berenergi tinggi. Setiap pelepasan gugus fosfatnya menghasilkan energi. Pada proses glikolisis, setiap 1 molekul glukosa diubah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH, dan 2 ATP (Rochimah, 2009). Glikolisis memiliki sifat-sifat, antara lain: glikolisis dapat berlangsung secara aerob maupun anaerob, glikolisis melibatkan enzim ATP dan ADP, serta peranan ATP dan ADP pada glikolisis adalah memindahkan (mentransfer) fosfat dari molekul yang satu ke molekul yang lain. Pada sel eukariotik, glikolisis terjadi di sitoplasma (sitosol). Glikolisis terjadi melalui 10 tahapan yang terdiri dari 5 tahapan penggunaan energi dan 5 tahapan pelepasan energi. Berikut ini reaksi glikolisis secara lengkap: Dari skema tahapan glikolisis menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan pada tahap penggunaan

energi adalah 2 ATP. Sementara itu, energy yang dihasilkan pada tahap pelepasan energi adalah 4 ATP dan 2 NADH. Dengan demikian, selisih energi atau hasil akhir glikolisis adalah 2 ATP + 2 NADH (Rochimah, 2009). Proses pembentukan ATP inilah yang disebut fosforilasi. Pada tahapan glikolisis tersebut, enzim mentransfer gugus fosfat dari substrat (molekul organik dalam glikolisis) ke ADP sehingga prosesnya disebut fosforilasi tingkat substrat (Rochimah, 2009)

- b. Tahapan dekarboksilasi oksidatif, yaitu tahapan pembentukan CO₂ melalui reaksi oksidasi reduksi (redoks) dengan O₂ sebagai penerima elektronnya. Dekarboksilasi oksidatif ini terjadi di dalam mitokondria sebelum masuk ke tahapan siklus Krebs. Oleh karena itu, tahapan ini disebut sebagai tahapan sambungan (junction) antara glikolisis dengan siklus Krebs. Pada tahapan ini, asam piruvat (3 atom C) hasil glikolisis dari sitosol diubah menjadi asetil koenzim A (2 atom C) di dalam mitokondria. Pada tahap 1, molekul piruvat (3 atom C) melepaskan elektron (oksidasi) membentuk CO₂ (piruvat dipecah menjadi CO₂ dan molekul berkarbon 2). Pada tahap 2, NAD⁺ direduksi (menerima elektron) menjadi NADH + H⁺. Pada tahap 3, molekul berkarbon 2 dioksidasi dan mengikat Ko-A (koenzim A) sehingga terbentuk asetil Ko-A. Hasil akhir tahapan ini adalah asetil koenzim A, CO₂, dan 2NADH (Rochimah, 2009).

Berikut gambar di bawah ini reaksi dekarboksilasi oksidatif dan reaksinya.

- c. Siklus Krebs terjadi di matriks mitokondria dan disebut juga siklus asamtrikarboksilat. Hal ini disebabkan siklus Krebs tersebut menghasilkan senyawa yang mempunyai gugus karboksil, seperti asam sitrat dan asam isositrat. Asetil koenzim A hasil dekarboksilasi oksidatif memasuki matriks mitokondria untuk bergabung dengan asam oksaloasetat dalam siklus Krebs, membentuk asam sitrat. Demikian seterusnya, asam sitrat membentuk bermacam-macam zat dan akhirnya membentuk asam oksaloasetat lagi (Rochimah, 2009).

Berikut ini tahapan-tahapan dari 1 kali siklus

Krebs:

- Asetil Ko-A (2 atom C) menambahkan atom C pada oksaloasetat (4 atom C) sehingga dihasilkan asam sitrat (6 atom C).
- Sitrat menjadi isositrat (6 atom C) dengan melepas H_2O dan menerima H_2O kembali.
- Isositrat melepaskan CO_2 sehingga terbentuk - ketoglutarat (5 atom C).
- - ketoglutarat melepaskan CO_2 . NAD^+ sebagai akseptor atau penerima elektron) untuk membentuk NADH dan menghasilkan suksinil Ko-A (4 atom C).
- Terjadi fosforilasi tingkat substrat pada pembentukan GTP (guanosin trifosfat) dan terbentuk suksinat (4 atom C).

- Pembentukan fumarat (4 atom C) melalui pelepasan FADH₂.
- Fumarat terhidrolisis (mengikat 1 molekul H₂O) sehingga membentuk malat (4 atom C).
- Pembentukan oksaloasetat (4 atom C) melalui pelepasan NADH. satu siklus Krebs tersebut hanya untuk satu molekul piruvat saja.

Sementara itu, hasil glikolisis menghasilkan 2 molekul piruvat (untuk 1 molekul glukosa). Oleh karena itu, hasil akhir total dari siklus Krebs tersebut adalah 2 kalinya. Dengan demikian, diperoleh hasil sebanyak 6 NADH, 2FADH₂ dan 2ATP (ingat: jumlah ini untuk katabolisme setiap 1 molekul glukosa)

2) Fungsi karbohidrat

Karbohidrat mempunyai peranan penting dalam menentukan karakteristik bahan makanan, seperti rasa, warna dan tekstur (Hutagalung, 2004).

- a. Fungsi utamanya sebagai sumber enersi (1 gram karbohidrat menghasilkan 4 kalori) bagi kebutuhan sel-sel jaringan tubuh. Sebagian dari karbohidrat diubah langsung menjadi enersi untuk aktifitas tubuh, dan sebagian lagi disimpan dalam bentuk glikogen di hati dan di otot. Ada beberapa jaringan tubuh seperti sistem syaraf dan eritrosit, hanya dapat menggunakan enersi yang berasal dari karbohidrat saja.
- b. Melindungi protein agar tidak dibakar sebagai penghasil enersi. Kebutuhan tubuh akan enersi merupakan prioritas pertama; bila

karbohidrat yang di konsumsi tidak mencukupi untuk kebutuhan enersi tubuh dan jika tidak cukup terdapat lemak di dalam makanan atau cadangan lemak yang disimpan di dalam tubuh, maka protein akan menggantikan fungsi karbohidrat sebagai penghasil enersi. Dengan demikian protein akan meninggalkan fungsi utamanya sebagai zat pembangun. Apabila keadaan ini berlangsung terus menerus, maka keadaan kekurangan enersi dan protein (KEP) tidak dapat dihindari lagi.

- c. Membantu metabolisme lemak dan protein dengan demikian dapat mencegah terjadinya ketosis dan pemecahan protein yang berlebihan.
- d. Di dalam hepar berfungsi untuk detoksifikasi zat-zat toksik tertentu.
- e. Beberapa jenis karbohidrat mempunyai fungsi khusus di dalam tubuh. Laktosa misalnya berfungsi membantu penyerapan kalsium. Ribosa merupakan merupakan komponen yang penting dalam asam nukleat.
- f. Selain itu beberapa golongan karbohidrat yang tidak dapat dicerna, mengandung serat (dietary fiber) berguna untuk pencernaan, memperlancar defekasi.

Metabolisme Karbohidrat adalah proses metabolisme yang dimulain dengan pencernaan Amilum dalam usus halus. Hasil pencernaan berupa monosakarida yang diserap oleh usus halus. Di dalam tubuh ikan, karbohidrat dapat dibentuk dari beberapa asam amino dan sebagian dari gliserol lemak. Akan

tetapi sebagian besar karbohidrat diperoleh dari bahan makanan yang dikonsumsi sehari-hari, terutama sumber bahan makan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Pada proses fotosintesis, klorofil pada tumbuh-tumbuhan akan menyerap dan menggunakan energi matahari untuk membentuk karbohidrat dengan bahan utama CO₂ dari udara dan air (H₂O) yang berasal dari tanah. Energi kimia yang terbentuk akan disimpan di dalam daun, batang, umbi, buah dan biji-bijian.

Pencernaan karbohidrat dalam tubuh ikan, dimulai sejak makanan masuk ke dalam mulut; makanan dikunyah agar dipecah menjadi bagian-bagian kecil, sehingga jumlah permukaan makanan lebih luas kontak dengan enzim-enzim pencernaan. Di dalam mulut makanan bercampur dengan air ludah yang mengandung enzim amilase (ptyalin). Enzim amilase bekerja memecah karbohidrat rantai panjang seperti amilum dan dekstrin, akan diurai menjadi molekul yang lebih sederhana maltosa. Sedangkan air ludah berguna untuk melicinkan makanan agar lebih mudah ditelan. Hanya sebagian kecil amilum yang dapat dicerna di dalam mulut, oleh karena makanan sebentar saja berada di dalam rongga mulut. Oleh karena itu sebaiknya makanan dikunyah lebih lama, agar memberi kesempatan lebih banyak pemecahan amilum di rongga mulut. Dengan proses mekanik, makanan ditelan melalui kerongkongan dan selanjutnya akan memasuki lambung.

- Pencernaan dalam lambung, Proses pemecahan amilum diteruskan di dalam lambung, selama

makanan belum bereaksi dengan asam lambung.

- Pencernaan dalam usus, Di usus halus, maltosa, sukrosa dan laktosa yang berasal dari makanan maupun dari hasil penguraian karbohidrat karbohidrat kompleks akan diubah menjadi mono sakarida dengan bantuan enzim-enzim yang terdapat di usus halus.
- Absorpsi, Semua jenis karbohidrat diserap dalam bentuk monosakarida, proses penyerapan ini terjadi di usus halus. Glukosa dan galaktosa memasuki aliran darah dengan jalan transfer aktif, sedangkan fruktosa dengan jalan difusi. Para ahli sepakat bahwa karbohidrat hanya dapat diserap dalam bentuk disakarida. Hal ini dibuktikan dengan ditemukannya maltosa, sukrosa dan laktosa dalam urine apabila mengkonsumsi gula dalam jumlah banyak. Akhirnya berbagai jenis karbohidrat diubah menjadi glukosa sebelum diikut sertakan dalam proses metabolisme

Proses metabolisme karbohidrat di mulai dari dinding usus halus, glukosa akan menuju ke hepar melalui vena portae. Sebahagian karbohidrat ini diikat di dalam hati dan disimpan sebagai glikogen, sehingga kadar gula darah dapat dipertahankan dalam batas-batas normal (80-120 mg%). Karbohidrat yang terdapat dalam darah, praktis dalam bentuk glukosa, oleh karena fruktosa dan galaktosa akan diubah terlebih dahulu sebelum memasuki pembuluh darah. Apabila jumlah karbohidrat yang dimakan melebihi kebutuhan tubuh, sebagian besar (2/3) akan disimpan di dalam otot dan selebihnya di dalam hati sebagai

glikogen. Kapasitas pembentukan glikogen ini sangat terbatas (maksimum 350 gram), dan jika penimbunan dalam bentuk glikogen ini telah mencapai batasnya, kelebihan karbohidrat akan diubah menjadi lemak dan disimpan di jaringan lemak. Bila tubuh memerlukan kembali energi tersebut, simpanan glikogen akan dipergunakan terlebih dahulu, disusul oleh mobilisasi lemak.

Sel-sel tubuh ikan yang sangat aktif dan memerlukan banyak energi, mendapatkan energi dari hasil pembakaran glukosa yang di ambil dari aliran darah. Kadar gula darah akan diisi kembali dari cadangan glikogen yang ada di dalam hati. Kalau enersi yang diperlukan lebih banyak lagi, timbunan lemak dari jaringan lemak mulai dipergunakan. Dalam jaringan lemak diubah ke dalam zat antara yang dialirkan ke hati. Di sini zat antara itu diubah menjadi glikogen, mengisi kembali cadangan glikogen yang telah dipergunakan untuk meningkatkan kadar gula darah. Peristiwa oksidasi glukosa di dalam jaringan-jaringan terjadi secara bertahap dan pada tahap- tahap itulah enersi dilepaskan sedikit demi sedikit, untuk dapat digunakan selanjutnya.

Melalui suatu deretan proses-proses kimiawi, glukosa dan glikogen diubah menjadi asam piruvat. Asam piruvat ini merupakan zat antara yang sangat penting dalam metabolisme karbohidrat. Asam piruvat dapat segera diolah lebih lanjut dalam suatu proses pada "lingkaran Krebs". Dalam proses siklis ini dihasilkan CO₂ dan H₂O dan terlepas enersi dalam bentuk persenyawaan yang mengandung tenaga kimia yang besar yaitu ATP (*Adenosin*

Triphosphate). ATP ini mudah sekali melepaskan enersinya sambi} berubah menjadi ADP (*Adenosin Diphos phate*). Sebagian dari asam piruvat dapat diubah menjadi "asam laktat". Asam laktat ini dapat keluar dari sel-sel jaringan dan memasuki aliran darah menuju ke heper.

Di dalam hepar asam laktat diubah kembali menjadi asam pyruvat dan selanjutnya menjadi glikogen, dengan demikian akan menghasilkan enersi. Hal ini hanya terdapat di dalam hepar, tidak dapat berlangsung di dalam otot, meskipun di dalam otot terdapat juga glikogen. Sumber glikogen hanya berasal dari glukosa dalam darah. Metabolisme karbohidrat selain di pengaruhi oleh enzim-enzim, juga diatur oleh hormon-hormon tertentu misalnya hormon Insulin. Insulin akan mempercepat oksidasi glukosa di dalam jaringan, merangsang perubahan glukosa menjadi glikogen di dalam sel-sel hepar maupun otot. Hal ini terjadi apabila kadar glukosa di dalam darah meninggi.

Apabila kadar glukosa darah menurun, glikogen hati dimobilisasikan sehingga kadar glukosa darah akan menaik kembali. Insulin juga merangsang glukoneogenesis, yaitu mengubah lemak atau protein menjadi glukosa. Juga beberapa hormon yang dihasilkan oleh hypophysis dan kelenjar suprarenal merupakan pengatur-pengatur penting dari metabolisme karbohidrat. Enzim sangat diperlukan pada proses-proses kimiawi metabolisme zat-zat makanan. vitamin-vitamin sebagian dari enzim, secara tidak langsung berpengaruh pada metabolisme karbohidrat ini. Tiamin (vitamin B1) diperlukan dalam proses dekarboksilase karbohidrat.

Kekurangan vitamin B1 akan menyebabkan terhambatnya enzimenzim dekarboksilase, sehingga asam piruvat dan asam laktat tertimbun di dalam tubuh.

Kebutuhan karbohidrat pada ikan dipengaruhi oleh kebiasaan makannya. Ikan herbivor membutuhkan pakan buatan dengan kandungan karbohidrat berkisar antara 20-30%. Pada ikan karnivor membutuhkan karbohidrat hanya 10-20 % karena kemampuan mencernanya relatif rendah. Meskipun tampaknya karbohidrat tidak dibutuhkan oleh ikan, namun sebaiknya pakan buatan dilengkapi dengan karbohidrat sebagai sumber energi dan untuk menghemat penggunaan protein. Tidak sedianya karbohidrat dan lemak dalam pakan buatan akan menyebabkan proses metabolisme dan penggunaan protein tidak efisien. Contohnya udang membutuhkan karbohidrat dalam jumlah relatif besar karena diperlukan dalam pembentukan kitin dan pengaturan osmoregulasi.

5.4. Lemak

Lemak merupakan sumber utama energi pada ikan. Lemak tersimpan dalam jaringan dan berfungsi untuk menjaga stamina yang prima pada ikan yang bersangkutan. Selain itu, juga sebagai media penyimpan vitaminvitamin yang larut dalam lemak, seperti vitamin A, D, E, dan K. Pada makanan ikan, lemak direkomendasikan supaya tidak terlalu tinggi kandungannya. Bahkan ikan-ikan pemakan daging pun (karnivora) kebutuhan akan lemaknya tidak lebih dari 8 %, sedangkan ikan-ikan herbivora kebutuhannya tidak lebih dari 3%. Kelebihan lemak pada ikan diketahui dapat menyebabkan kerusakan² Nutrisi dan Pakan Ikan hati, menyebabkan timbulnya beberapa

penyakit dan sering menimbulkan kematian dini. Ikan sering mengalami kesulitan untuk mencerna lemaklemak keras, seperti yang terdapat pada daging sapi misalnya. Lemak jenuh bisa membahayakan ikan, oleh karena perlu dihindarkan. Sedangkan lemaklemak jamak tak jenuh, seperti terdapat pada artemia sangat mudah dicerna dan diketahui dapat memicu pemijahan.

Lemak, disebut juga lipid, adalah suatu zat yang kaya akan energi, berfungsi sebagai sumber energi yang utama untuk proses metabolisme tubuh. Lemak yang beredar di dalam tubuh diperoleh dari dua sumber yaitu dari makanan dan hasil produksi organ hati, yang bisa disimpan di dalam sel-sel lemak sebagai cadangan energy (Tika, 2011).

1) Pencernaan Lemak

Metabolisme Lemak Ada 3 fase:

- â oksidasi: proses merubah asam lemak menjadi asetil Co-A
- Siklus Krebs: proses merubah asetil Co-A menjadi H
- Fosforilasi Oksidatif: proses mereaksikan H + O menjadi H₂O + ATP

Metabolisme Lemak:

- a. Di mulut, lemak mulai mengalami tahapan pencernaan, terjadi penyesuaian suhu tertentu pada saat lemak dikunyah di mulut.
- b. Pada lambung, lemak mengalami proses pencernaan dengan bantuan asam dan enzim menjadi bentuk yang lebih sederhana.
- c. Selanjutnya lemak akan memasuki hati, empedu, dan masuk ke dalam usus kecil.
- d. Dari kantung empedu lemak akan bergabung dengan bile yang merupakan senyawa yang penting untuk proses pencernaan pada usus

kecil. Selanjutnya hasil pemecahan tersebut akan diubah oleh enzim lipase pankreas menjadi asam lemak dan gliserol

- e. Kelebihan lemak kemudian disimpan dalam tubuh, dan sebagai akan bergabung dengan senyawa lain seperti fiber yang akan di keluarkan melewati usus besar.

2) Fungsi umum lemak

Lemak mempunyai 2 fungsi, yaitu sebagai sumber energi metabolik dan sebagai sumber dari berbagai komponen asam lemaknya. Lemak menyediakan energi yang dapat dimetabolisme dan asam lemak esensial sebagaimana juga berbagai nutrisi esensial seperti sterol dan fosfolipid. Fungsi lemak yaitu:

- a. Sebagai sumber energi metabolik yaitu adenosin trifosfat, ATP. Lemak mengandung hampir dua kali lipat energi protein dan karbohidrat. Nilai energi kotor untuk lemak adalah sebesar 9,5 kkal/gr, protein 5,6 kkal/gr, karbohidrat 4,1 kkal/gr
- b. Sebagai sumber dari asam lemak esensial yang penting untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup. EFA tidak dapat disintesis oleh hewan itu sendiri, dan karena itu harus disediakan dalam pakan.
- c. Merupakan komponen esensial dari membran seluler dan sub seluler. Hal tersebut termasuk fosfolipid dan asam lemak tak jenuh rantai panjang
- d. Sebagai sumber steroid yang berperan dalam fungsi biologis penting, seperti mempertahankan

sistem membran, transport lemak, dan prekursor berbagai hormon steroid

Lemak pakan mempunyai berbagai peran penting dalam nutrisi ikan perairan tropis seperti sebagai sumber energi, fosfolipid, dan komponen-komponen steroid berbagai organ vital, serta pada saat ikan mempertahankan keseimbangan dalam air. Lemak dalam jaringan ikan terdapat dalam jumlah yang besar. Hal ini karena lemak merupakan energi cadangan yang lebih disukai sebagian besar ikan dari pada karbohidrat. Karakteristik lemak jaringan ikan, yang dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan dan pakan adalah penting dalam hal rasa dan sifat-sifat penyimpanan dari produk perikanan.

- 3) Komponen lemak dan fungsinya
 - a. Triglisirida yang merupakan ester asam lemak dari gliserol dan merupakan cara utama dimana hewan menyimpan energi
 - b. Fosfolipid yang merupakan ester dari asam lemak dan asam fosfatidat serta merupakan komponen utama dari membran seluler
 - c. Wax yang merupakan ester lemak dari alkohol monohidrat berat molekul tinggi, dan sebagaimana triglisirida merupakan komponen simpanan energi dalam tanaman maupun hewan
 - d. Steroid yang penting secara biologis dalam berbagai proses reproduksi. Lemak jenis ini biasanya alkohol polisiklik rantai panjang dan merupakan prekursor dari hormon sex atau lainnya pada ikan serta udang
 - e. Spingomielin merupakan ester asam lemak dari spingosin dan merupakan komponen-komponen lemak dari otak serta jaringan syaraf

Dalam saluran pencernaan, lemak dan minyak akan lebih lama berada di dalam lambung dibandingkan dengan karbohidrat dan protein, demikian juga proses penyerapan lemak yang lebih lambat dibandingkan unsur lainnya. Oleh karena itu, pakan yang mengandung lemak mampu memberikan rasa kenyang yang lebih lama dibandingkan pakan yang kurang atau tidak mengandung lemak. Salah satu fungsi lemak memang untuk mensuplai sejumlah energi, dimana satu gram lemak mengandung 9 kalori, sedangkan 1 gram karbohidrat hanya mengandung 4 kalori. Fungsi lain dari lemak adalah untuk membantu absorpsi vitamin yang larut dalam lemak. Selain itu, lemak juga merupakan sumber asam-asam lemak essensial yang tidak dapat dihasilkan tubuh dan harus disuplai dari pakan. Fungsi lemak sebagai bahan baku hormon juga sangat berpengaruh terhadap proses fisiologis di dalam tubuh, contohnya yaitu pembuatan hormon seks. Lemak tubuh dalam jaringan lemak (jaringan adipose) mempunyai fungsi sebagai insulator untuk membantu tubuh mempertahankan temperaturnya, sedangkan pada wanita dapat memberikan kontur khas feminim seperti jaringan lemak di bagian bokong dan dada. Selain itu, lemak

4) Kecernaan lemak

Kecernaan lemak bervariasi tergantung pada

- a) Jumlahnya dalam pakan
- b) Tipe dari lemak
- c) Suhu air
- d) Derajat kejenuhan lemak
- e) Panjang rantai karbonnya

5) Asam lemak

Asam lemak merupakan bagian penting dari lemak. Lebih dari 40 asam lemak telah diketahui. Asam lemak dapat dinyatakan dengan formula umum sebagai berikut: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$; dimana 'n' bervariasi dari 0 hingga 24 dan biasanya angka genap. Sebagian besar asam lemak yang terjadi secara alamiah mengandung grup COOH tunggal dan rantai C lurus tidak bercabang, yang pada akhirnya mungkin tidak mengandung ikatan ganda atau jenuh (saturated), satu ikatan ganda (monounsaturated) atau lebih dari satu ikatan ganda (poly-unsaturated fatty acids, PUFA). PUFA pada umumnya mempunyai suatu sistem ikatan ganda yang disela metilena, Sedangkan yang mengandung ikatan ganda tidak kurang dari empat dikategorikan sebagai asam lemak sangat tidak jenuh (highly unsaturated fatty acids, HUFA).

Asam lemak dari ikan jauh lebih tidak jenuh dibandingkan dengan asam lemak hewan darat. Komposisi asam lemak pada ikan dan udang dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan, terutama salinitas, suhu, dan pakan. Salinitas. Ikan hidup dalam lingkungan salinitas yang berbeda. Perbandingan antara komposisi asam lemak ikan air laut dan air tawar disajikan pada Tabel E.3. Perbedaan-perbedaan dalam komposisi asam lemak juga dicerminkan dalam ikan yang bermigrasi dari lingkungan air tawar ke air laut; dan hasil observasi secara umum yang menunjukkan bahwa perbandingan 0-3/0-6 untuk ikan air laut lebih tinggi daripada ikan air tawar.

Makanan yang sudah dicerna halus sekali kemudian sari-sarinya akan diserap oleh dinding usus. Sebenarnya di

dalam lambung juga sudah mulai penyerapan, tapi jumlahnya masih sangat sedikit. Penyerapan yang utama terjadi di dalam usus. Untuk menyerap sari makanan tersebut, dinding usus mempunyai jonjot-jonjot agar permukaannya lebih luas. Melalui pembuluh darah rambut pada jonjot usus tersebut, sari makanan akan diserap ke dalam darah. Karbohidrat diserap dalam bentuk monosakarida, yaitu glukosa, galaktosa, fruktosa dan lain-lain. Proses penyerapannya dipengaruhi oleh hormon insulin. Hormon tersebut dihasilkan oleh kelenjar pankreas. Lemak diserap dalam bentuk asam lemak dan gliserol. Di dalam lapisan lendir dinding usus, asam lemak dan gliserol bersatu lagi, untuk kemudian diedarkan keseluruh tubuh melalui limfe (70%) dan melalui pembuluh darah (30%). Sedangkan protein diserap dalam bentuk asam amino yang dibawa ke hati dulu untuk diubah menjadi protein lagi, akan tetapi yang telah disesuaikan dengan kebutuhan tubuh ikan yang bersangkutan. Zat-zat makanan yang telah diserap oleh darah kemudian diedarkan ke seluruh tubuh untuk keperluan metabolisme, yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme adalah pembentukan zat-zat yang lebih kompleks dari zat-zat yang lebih sederhana, misalnya pembentukan protein dan asam-asam amino. Sedangkan katabolisme adalah pemecahan zat-zat yang merupakan bahan bakar untuk menghasilkan tenaga, misalnya pemecahan karbohidrat menjadi tenaga, air, dan karbondioksida. Pada hewan-hewan darat, yang digunakan sebagai sumber tenaga pertama-tama adalah karbohidrat kemudian disusul oleh lemak sebagai sumber nomor dua dan terakhir protein. Sedangkan pada ikan adalah kebalikan dari hewan darat, yaitu protein, lemak dan karbohidrat (Supriatna, 2020c).

A. Mekanisme penyerapan makanan

Mekanisme penyerapan makan pada ikan adalah sebagai berikut:

- Dinding sel.
Sel yang berperan dalam penyerapan nutrisi adalah enterosit. Sel tersebut memiliki ciri khas yaitu adanya mikrovilli pada bagian permukaan yang dengan rongga usus.
- Difusi adalah pergerakan molekul dari wilayah yang berkonsentrasi tinggi ke wilayah yang berkonsentrasi rendah. Difusi dapat juga melalui bantuan media transpor. Mediator transport tersebut berperan dalam pengangkutan gula, asam amino, vitamin dan bahan lain dari luar sel ke dalam sel.
- Osmose adalah proses pergerakan air dari media yang berkonsentrasi tinggi melalui membran semipermeable.
- Transpor aktif adalah pengangkutan nutrisi yang mengandung energi. Energi ini diperlukan untuk mempertahankan konsentrasi ion jauh dari keadaan seimbang. Dalam proses aktif terjadi peningkatan energi bebas yang kemudian energi tersebut digunakan untuk proses tersebut. Ion $-ion$ yang ditransformasikan secara aktif antara lain Na, H, Ca dan sebagainya.
- Endositosis adalah proses masuknya suatu bahan ke dalam sel melalui membran sel. Proses endositosis dicirikan dengan terbentuknya lekukan pada permukaan sel kemudian diikuti dengan pembentukan semacam kantung yang di dalamnya terdapat bahan yang akan diangkut. Isi kantung tersebut tetap terpisah dari hialoplasma dan kantung-kantung kecil tersebut dinamakan vakuola (Supriatna, 2020d).

B. Pencernaan Secara Fisik Mekanik Dan Kimiawi

Pencernaan secara fisik dan mekanik dimulai di bagian rongga mulut yaitu dengan berperannya gigi pada proses pemotongan dan penggerusan makanan. Pencernaan secara mekanik ini juga berlangsung di segmen lambung dan usus yaitu melalui gerakan-gerakan (kontraksi) otot pada segmen tersebut. Pencernaan secara mekanik di segmen lambung dan usus terjadi lebih efektif oleh karena adanya peran cairan digestif. Mekanismenya adalah sebagai berikut: suatu makanan yang berpartikel besar akan dihidrolisis pada bagian permukaannya oleh aktifitas enzim, kemudian dengan adanya gerakan pada saluran pencernaan, maka bagian yang tercerna tersebut akan luluh. Bagian yang tersisa dari partikel tersebut akan dicerna kembali oleh enzim hidrolisis dan selanjutnya akan meleleh lagi pada bagian permukaannya ketika terjadi gerakan pada saluran pencernaan, dan begitu seterusnya hingga semua partikel tersebut melarut (Supriatna, 2020d).

Pada ikan, pencernaan secara kimiawi dimulai di bagian lambung, hal ini dikarenakan cairan digestif yang berperan dalam proses pencernaan secara kimiawi mulai dihasilkan di segmen tersebut yaitu disekresikan oleh kelenjar lambung. Pencernaan ini selanjutnya disempurnakan di segmen usus. Cairan digestif yang berperan pada proses pencernaan di segmen usus berasal dari hati, pankreas dan dinding usus itu sendiri. Kombinasi antara aksi fisik dan kimiawi inilah yang menyebabkan perubahan makanan dari yang asalnya bersifat kompleks menjadi senyawa sederhana atau yang asalnya berpartikel makro menjadi partikel mikro. Bentuk partikel mikro inilah makanan menjadi zat terlarut yang memungkinkan dapat diserap oleh dinding usus yang selanjutnya diedarkan ke seluruh tubuh (Sambas, 2010).

C. Metode Analisis Proksimat Tubuh Ikan dan Pakan

Analisa proksimat merupakan uji analisa suatu bahan pakan yang telah lama ada dan dapat digunakan untuk menduga nilai nutrien dan nilai energi dari bahan atau campuran pakan yang berasal dari bagian komponen bahan pakan tersebut. Analisa proksimat dibagi ke dalam enam fraksi zat makanan yaitu kadar air, abu, protein kasar, lemak, serat kasar dan bahan ekstrak tanpa nitrogen.

Analisis proksimat memiliki beberapa keunggulan yakni merupakan metode umum yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia suatu bahan pangan, tidak membutuhkan teknologi yang canggih dalam pengujiannya, menghasilkan hasil analisis secara garis besar, dapat menghitung nilai *total digestible nutrient* (TDN) dan dapat memberikan penilaian secara umum pemanfaatan dari suatu bahan pangan. Analisis proksimat juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya tidak dapat menghasilkan kadar dari suatu komposisi kimia secara tepat, tidak dapat menjelaskan tentang daya cerna serta tekstur dari suatu bahan pangan.

Berikut adalah langkah-langkah dalam analisis proximat

- Pengambilan sampel : Sampel ikan yang representatif diambil untuk analisis. Sampel ini harus mencakup berbagai bagian tubuh ikan untuk mendapatkan hasil yang akurat.
- Pengeringan: Sampel dikeringkan pada suhu sekitar 60-105°C hingga mencapai berat konstan. Pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air sehingga analisis bisa dilakukan pada bahan kering.
- Analisis kadar air: Sampel yang sudah dikeringkan ditimbang, kemudian dipanaskan

dalam oven pada suhu sekitar 105°C selama 24 jam atau sampai berat konstan tercapai. Kadar air dihitung sebagai perbedaan berat sebelum dan setelah pengeringan, dinyatakan sebagai persentase dari berat asli sampel.

- Analisis Kadar Protein : Sampel kering ditempatkan dalam cawan porselen dan dibakar dalam tanur pada suhu sekitar 500-600°C selama 4-6 jam sampai semua bahan organik terbakar habis, menyisakan abu. Kadar abu dihitung sebagai berat residu abu yang tersisa, dinyatakan sebagai persentase dari berat kering sampel.
- Analisis kadar protein : Metode (Kjeldhal) ini mengukur kandungan nitrogen total dalam sampel, yang kemudian dikonversi menjadi kandungan protein menggunakan factor konversi (biasanya 6,25 untuk ikan). Sampel dicerna dengan asam sulfat pekat dan katalis untuk mengubah semua nitrogen organik menjadi amonium sulfat. Larutan kemudian didestilasi dengan natrium hidroksida untuk melepaskan amonia, yang kemudian ditangkap oleh asam borat. Amonia dalam asam borat kemudian dititrasi dengan asam standar. Cara perhitungannya adalah kandungan nitrogen dikonversi menjadi protein dengan menggunakan faktor konversi. Kadar protein (%) = kadar nitrogen X 6.25
- Analisis kadar karbohidrat : Kadar karbohidrat dihitung sebagai persentase dari

berat kering sampel setelah mengurangi kandungan air, abu, protein, dan lemak.

Kadar Karbohidrat (%) = $100\% - (\text{Kadar Air} + \text{Kadar Abu} + \text{Kadar Protein} + \text{Kadar Lemak})$

D. Analisa Protein

Analisis protein dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara langsung menggunakan zat kimia yang spesifik terhadap protein dan secara tidak langsung dengan menghitung jumlah nitrogen yang terkandung di dalam bahan.

a. Metode Kjeldahl

Sejak abad ke-19, metode kjeldahl telah dikenal dan diterima secara universal sebagai metode untuk analisis protein dalam berbagai variasi produk makanan dan produk jadi. Penetapan kadar protein dengan metode kjeldahl merupakan metode tidak langsung yaitu melalui penetapan kadar N dalam bahan yang disebut protein kasar.

b. Metode Spektrofotometri

Penentuan kadar protein dengan menggunakan instrumen dibagi menjadi dua yaitu: metode pengukuran langsung pada panjang gelombang 205 nm dan 280 nm dan metode pembentukan warna dengan pereaksi tertentu. Metode pengukuran langsung pada panjang gelombang 205 nm dan 280 nm Absorbansi pada panjang gelombang 205 nm dan 280 nm digunakan untuk menghitung konsentrasi protein dengan terlebih dahulu distandarisasi dengan protein standar. Metode ini dapat dengan mudah diaplikasikan dan sederhana, cocok untuk larutan protein yang telah dimurnikan. Penetapannya berdasarkan absorbansi

sinar ultraviolet oleh asam amino triptopan, tirosin dan ikatan disulfida sistein yang menyerap kuat pada panjang gelombang tersebut, terutama panjang gelombang 280 nm.

Keuntungan metode ini adalah waktu yang diperlukan untuk analisis cepat, memiliki sensitifitas yang baik, tidak ada gangguan dari ion ammonium dan 18 garam-garam buffer, larutan sampel masih dapat digunakan untuk analisis lain selain analisis protein. Kerugian metode ini adalah asam nukleat juga memiliki absorbansi yang kuat pada panjang gelombang 280 nm, susunan asam amino aromatis dapat bervariasi untuk setiap sampel protein, larutan protein harus benarbenar jernih dan tidak berwarna ataupun keruh.

c. Metode Pembentukan Warna dengan pereaksi tertentu

Yaitu dengan metode Pereaksi Biuret. Prinsip penetapan protein metode Biuret adalah pada kondisi basa, Cu^{2+} membentuk kompleks dengan ikatan peptida ($-\text{CO}\cdot\text{NH}-$) suatu protein menghasilkan warna ungu, sehingga kadar protein sampel dapat ditetapkan dengan spektrofotometer. Pemilihan protein standar dapat menyebabkan kesalahan fatal dalam analisis, standar yang digunakan harus memiliki tingkat kemurnian yang tinggi. Untuk analisis protein secara umum, standar *Bovine Serum Albumin* (BSA).

d. Metode Titrasi Formol

Larutan protein dinetralkan dengan basa (NaOH), kemudian ditambahkan formalin akan membentuk dimethylol. Dengan terbentuknya dimethylol ini berarti gugus aminonya sudah terikat dan tidak akan mempengaruhi reaksi antara asam (gugus karboksil)

dengan basa NaOH sehingga akhir titrasi dapat diakhiri dengan tepat. Indikator yang digunakan adalah fenolftalein, akhir titrasi bila tepat terjadi perubahan warna menjadi merah muda yang tidak hilang dalam 30 detik. Titrasi formol ini hanya tepat untuk menentukan suatu proses terjadinya pemecahan protein dan kurang tepat untuk penentuan protein.

E. Metode Dumas

Pada metode ini sampel dioksidasi pada suhu sangat tinggi (700-900°C). Hasil oksidasi menghasilkan gas O₂, N₂ dan CO₂. Gas nitrogen yang dilepaskan dikuantitasi menggunakan kromatografi gas dengan detektor konduktivitas termal (*Thermal Detector Conductivity/TDC*) kemudian jumlah nitrogen yang diperoleh dikonversi. Jumlah nitrogen dalam sampel sebanding dengan kadar proteinnya. Keuntungan metode ini adalah tidak memerlukan zat kimia berbahaya, analisis dapat diselesaikan dalam waktu 3 menit, instrumen otomatis terbaru dapat menganalisis 150 sampel secara bersamaan. Adapun kekurangan metode ini adalah membutuhkan instrumen analisis yang mahal, mengukur total nitrogen, bukan hanya mengukur nitrogen yang berasal dari protein.

F. Analisa Lemak

Penentuan kadar minyak atau lemak suatu bahan dapat dilakukan dengan alat ekstraktor Soxhlet. Ekstraksi dengan alat Soxhlet merupakan cara ekstraksi yang efisien, karena pelarut yang digunakan dapat diperoleh kembali. Dalam penentuan kadar minyak atau lemak, bahan yang diuji harus cukup kering, karena jika masih basah selain memperlambat proses ekstraksi, air dapat

turun ke dalam labu dan akan mempengaruhi dalam perhitungan.

G. Analisa Karbohidrat

Kadar karbohidrat ditentukan dengan metode *by difference* yaitu dengan perhitungan melibatkan kadar air, kadar abu, kadar protein dan kadar lemak. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam menghitung kadar karbohidrat dengan metode *by difference*.

$$\text{Kadar karbohidrat (\%)} = 100\% - (\% \text{ kadar air} + \% \text{ kadar abu} + \% \text{ kadar protein} + \% \text{ kadar lemak}).$$

H. Analisa Kadar Air

Prinsip metode penetapan kadar air dengan oven biasa atau Thermogravimetri yaitu menguapkan air yang ada dalam bahan dengan jalan pemanasan pada suhu 105°C. Penimbangan bahan dengan berat konstan yang berarti semua air sudah diuapkan dan cara ini relatif mudah dan murah. Percepatan penguapan air serta menghindari terjadinya reaksi yang lain karena pemanasan maka dapat dilakukan pemanasan dengan suhu rendah dan tekanan vakum. Bahan yang telah mempunyai kadar gula tinggi, pemanasan dengan suhu kurang lebih 105°C dapat mengakibatkan terjadinya pergerakan pada permukaan bahan. Suatu bahan yang telah mengalami pengeringan lebih bersifat hidroskopis dari pada bahan asalnya. Oleh karena itu selama pendinginan sebelum penimbangan, bahan telah ditempatkan dalam ruangan tertutup yang kering misalnya dalam eksikator atau desikator yang telah diberizatkan penyerapan air. Penyerapan air atau uap ini dapat

menggunakan kapur aktif, asam sulfat, silika gel, kalium klorida, kalium hidroksida, kalium sulfat atau bariumoksida. Silika gel yang digunakan sering diberi warna guna memudahkan bahan tersebut sudah jenuh dengan air atau belum, jika sudah jenuh akan berwarna merah muda, dan bila dipanaskan menjadi kering berwarna biru.

Penentuan kadar air dengan menggunakan metode oven menurut Sudarmadji (2007) memiliki beberapa kelemahan yaitu, bahan lain disamping air juga ikut menguap dan ikut hilang bersama dengan uap air misalnya alkohol, asam asetat, minyak atsiri dan lain-lain. Dapat terjadi reaksi selama pemanasan yang menghasilkan air atau zat mudah menguap. Contohnya gula mengalami dekomposisi atau karamelisasi, lemak mengalami oksidasi. Bahan yang dapat mengikat air secara kuat sulit melepaskan airnya meskipun sudah dipanaskan.

I. Analisa Kadar Abu

Kadar abu merupakan campuran dari komponen anorganik atau mineral yang terdapat pada suatu bahan pangan. Abu adalah zat anorganik sisa hasil pembakaran suatu bahan organik. Kandungan abu dan komposisinya tergantung pada macam bahan. Kadar abu ada hubungannya dengan mineral. Mineral yang terdapat dalam suatu bahan dapat berupa dua macam garam yaitu garam organik dan anorganik. Garam organik misalnya garam-garam asam mallat, 28 oksalat, asetat, pektat. Sedangkan garam anorganik antara lain dalam bentuk garam fosfat, karbonat, klorida, sulfat dan nitrat. Penentuan kadar abu dimaksudkan untuk mengetahui kandungan komponen yang tidak mudah menguap

(komponen anorganik atau garam mineral) yang tetap tinggal pada pembakaran dan pemijaran senyawa organik. Semakin rendah kadar abu suatu bahan, maka semakin tinggi kemurniannya. Tinggi rendahnya kadar abu suatu bahan antara lain disebabkan oleh kandungan mineral yang berbeda pada sumber bahan baku dan juga dapat dipengaruhi oleh proses demineralisasi pada saat pembuatan.

BAB VI

BIOENERGETIKA PAKAN

6.1 Latar Belakang

Bioenergetika adalah cabang ilmu biokimia yang mempelajari transformasi dan pemanfaatan energi oleh sel-sel hidup. Ilmu ini mengkaji bagaimana energi dihasilkan, ditransfer, disimpan, dan digunakan oleh sel-sel dalam tubuh untuk menjalankan berbagai fungsi biologis. Semua reaksi kimia dalam organisme hanya dapat terjadi jika ada cukup energi yang tersedia. Sumber energi kimia dalam kehidupan adalah senyawa organik berenergi tinggi yang disebut ATP (*Adenosin Trifosfat*). ATP berfungsi sebagai sumber energi langsung untuk semua aktivitas metabolisme dalam sel. Oleh karena itu, bioenergetika merupakan dasar bagi berbagai disiplin ilmu yang berhubungan dengan sistem kehidupan. Dalam konteks biologi perairan, khususnya pada ikan, bioenergetika berfokus pada berbagai aspek yang melibatkan perolehan, penyimpanan, dan pemanfaatan energi untuk kelangsungan hidup dan aktivitas mereka.

Pemahaman mendalam tentang bioenergetika ikan penting untuk optimasi perikanan dan akuakultur serta konservasi spesies. Bioenergetika ikan memberikan wawasan kritis tentang bagaimana ikan mengelola energi mereka untuk mendukung berbagai fungsi kehidupan. Pengetahuan ini tidak hanya bermanfaat untuk penelitian dasar dalam biologi perairan tetapi juga memiliki aplikasi praktis yang signifikan dalam perikanan, akuakultur, dan konservasi. Dengan memahami proses aliran energi dalam tubuh ikan, kita dapat mengembangkan praktik yang lebih

efisien dan berkelanjutan untuk mendukung industri perikanan yang berkembang pesat.

6.2. Energi

Ikan membutuhkan energi baik untuk proses perawatan tubuh (maintenance), maupun untuk aktivitas fisik, tumbuh dan bereproduksi. Energi yang dibutuhkan untuk kegiatan tersebut berasal dari makanan yang dikonsumsi. Adanya fluktuasi dalam ketersediaan makanan, kondisi perairan (suhu, salinitas 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 dibelanjakan, hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan atau penurunan energi tubuh. Pada prinsipnya bioenergetika adalah suatu studi untuk menelaah tingkat keseimbangan antara pasok energi dengan pembelajarannya dan ini membutuhkan pengkajian proses fisiologis yang bertalian dengan energi yang ditransformasikan di dalam organisme hidup (Halver dan Hardy 2002).

Energi yang diperoleh oleh makhluk hidup ini dapat menimbulkan panas. Panas dari tubuh hewan berasal dari oksidasi zat-zat organik dan makanan yang diberikan digunakan sebagai sumber energi. Oleh karena itu nilai energi suatu bahan makanan dapat dipakai sebagai dasar dalam menentukan nilai gizi dari bahan makanan tersebut (Houlihan et. al., 2001). Kecukupan energi dalam pakan sangatlah penting karena ikan akan memetabolisme pakan untuk memenuhi kebutuhannya terlebih dahulu sebelum energi tersebut dapat digunakan untuk pertumbuhan. Energi yang diperoleh dari pakan digunakan

sebagai sumber energi utama yang dalam pembagian energi disebut dengan *Gross Energy*. *Gross Energy* (GE) dapat didefinisikan sebagai total energi yang terdapat dalam makanan. Semua energi yang diperoleh dari asupan pakan yang dikonsumsi oleh ikan, tidak semuanya dipergunakan untuk keperluan pertumbuhan dan perkembangan ikan karena energi tersebut akan dibagi menjadi *Digestible energy* (DE) yaitu energi yang dapat dicerna dan *Fecal energy* (FE) yaitu energi yang digunakan untuk kegiatan pembuangan hasil ekskresi pada ikan berupa feses. *Digestible energy* ini umumnya digunakan sebagai dasar penyusunan formulasi pakan untuk pengoptimuman penggunaan bahan pakan (Halver, 2002). Energi yang dapat dicerna (*Digestible Energy*) oleh ikan akan digunakan dalam berbagai proses metabolisme dan juga menghasilkan produk sisa metabolisme. Energi ini kemudian terbagi menjadi dua kategori utama. Pertama adalah energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas metabolisme yang dikenal sebagai *Metabolizable Energy* (ME). Kedua adalah energi yang dikeluarkan dari tubuh sebagai bagian dari proses ekskresi.

Proses ekskresi ini mencakup dua jenis utama:

- pembuangan urin (*Urine Excretion*) dan
- ekskresi melalui insang (*Gill Excretion*).

Dengan demikian, energi yang dicerna oleh ikan tidak hanya mendukung fungsi-fungsi vital tetapi juga mencakup energi yang hilang melalui proses pengeluaran sisa metabolisme.

6.3. Persamaan Energi

Persamaan energi dalam bioenergetika pada ikan didasarkan pada prinsip bahwa total energi yang diterima

oleh suatu sistem biologis harus seimbang dengan total energi yang keluar dari sistem tersebut, ditambah atau dikurangi dengan perubahan energi internal yang mungkin terjadi. Ini berarti bahwa setiap unit energi yang masuk ke dalam tubuh ikan melalui makanan atau sumber lain akan digunakan untuk berbagai aktivitas metabolisme dan fungsional, seperti pergerakan, pertumbuhan, dan reproduksi, atau disimpan dalam bentuk energi cadangan seperti lemak. Selain itu, energi juga dapat hilang melalui ekskresi, respirasi, dan produksi panas. Dengan kata lain, jumlah total energi yang masuk dan keluar serta perubahan dalam penyimpanan energi harus selalu berada dalam keseimbangan untuk memastikan fungsi optimal dan kelangsungan hidup ikan.

Persamaan energy dalam bioenergetika ikan dapat dituliskan sebagai berikut (Subandiyono dan Sri, 2016).

$$IE = FE + GE + UE + ZE + SE + HE + RE$$

Dimana:

IE = Total energi dalam pakan yang dikonsumsi (*Intake energy*)

FE = Energi yang terbuang melalui feses (*fecal energy*)

GE= Energi yang terbuang melalui gas yang mudah terbakar (*combustible gaseous energy*)

UE = Energi yang terbuang melalui urine (*urinary energy*)

ZE = Energi yang terbuang melalui insang (*gill energy*)

SE = Energi yang hilang melalui permukaan tubuh (*surface energy*)

HE = Total produksi panas yang diproduksi (*heat energy production*)

RE = Energi yang diperoleh atau disimpan dalam tubuh dan merupakan energi bermanfaat (*recovered energy*)

Setiap komponen pada bagian sebelah kanan dari persamaan tersebut dapat dibagi-bagi lagi menjadi berbagai bagian. Hal ini tidak merubah keabsahan dari identitas hokum tersebut.

Berdasar identitas dasar tersebut diturunkan persamaan-persamaan dan definisi-definisi yang dipergunakan dalam skema distribusi energi (Subandiyono dan Sri, 2016).

Energi Tercerna (DE) = IE – FE

Energi Termetabolisme (ME) = IE – (FE + UE + ZE)

Energi Termanfaatkan (RE) = ME – HE

6.4. Aliran Energi

Sebelum energi dapat digunakan untuk pertumbuhan, ikan atau makhluk hidup lainnya akan terlebih dahulu memanfaatkan energi tersebut untuk proses perawatan tubuh (*maintenance*) dan aktivitas sukarela (*voluntary activities*). Proses perawatan tubuh meliputi fungsi-fungsi dasar yang penting untuk mempertahankan kehidupan, seperti respirasi, sirkulasi darah, dan pemeliharaan suhu tubuh. Aktivitas sukarela mencakup semua bentuk pergerakan dan aktivitas fisik lainnya yang dilakukan oleh ikan. Ketika energi yang tersedia untuk pertumbuhan tidak mencukupi, dan energi telah digunakan untuk proses perawatan tubuh dan aktivitas sukarela, berat badan ikan akan mengalami penurunan. Ini terjadi karena tubuh mulai memetabolisme cadangan energi

yang tersimpan untuk memenuhi kebutuhan energi yang mendesak, sehingga mengakibatkan penurunan massa tubuh.

Aliran energi pada ikan dapat dibagi menjadi beberapa tahapan utama yaitu asupan energi (konsumsi pakan), metabolisme energi, penyimpanan energi, dan pengeluaran energi.

6.4.1. Asupan Energi

Ikan memperoleh energi dari makanan yang mereka konsumsi. Makanan ini dapat berupa pakan buatan, plankton, alga, invertebrata, atau ikan lain. Kandungan energi dalam pakan terutama berasal dari protein, lemak, dan karbohidrat. Energi ini diukur dalam bentuk kalori atau joule.

6.4.2. Metabolisme Energi

Setelah asupan konsumsi dicerna, nutrisi diserap ke dalam aliran darah dan dibawa ke sel-sel tubuh di mana sel tersebut diubah menjadi energi melalui proses metabolisme. Metabolisme energi dalam ikan mencakup dua komponen utama, yaitu :

- Katabolisme: Proses pemecahan molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil, yang melepaskan energi. Contoh dari proses ini adalah respirasi seluler, di mana glukosa dipecah untuk menghasilkan ATP (adenosin trifosfat), sumber energi utama untuk sel.
- Anabolisme: Proses sintesis molekul besar dari molekul yang lebih kecil, yang memerlukan energi. Contoh dari proses ini adalah sintesis protein dari asam amino.
-

6.4.3. Penyimpanan Energi

Energi yang tidak segera digunakan untuk aktivitas metabolik disimpan dalam tubuh ikan. Ada dua bentuk utama penyimpanan energi yaitu lemak (lipid) yang Disimpan dalam jaringan adiposa dan hati, lemak merupakan bentuk penyimpanan energi yang sangat efisien dan dapat digunakan selama periode kekurangan pakan atau kebutuhan energi tinggi. Penyimpanan energy selanjutnya adalah glikogen yang disimpan di hati dan otot, glikogen ini merupakan bentuk penyimpanan karbohidrat yang dapat diakses dengan cepat untuk energy.

6.4.4. Pengeluaran Energi

Energi yang diperoleh dari pakan digunakan untuk berbagai aktivitas dan fungsi fisiologis seperti untuk perawatan tubuh, aktivitas sukarela, pertumbuhan dan reproduksi. Alur energi pada hewan dijelaskan pada gambar berikut. Sistem ini berlaku untuk semua spesies hewan, namun kemungkinan terdapat beberapa perbedaan secara kuantitatif dikarenakan kemampuan beberapa spesies untuk mengkonsumsi dan mencerna pakan mengandung serat yang tinggi.

Sebagian besar energi yang hilang melalui feses, urine, dan saluran insang. Keterlibatan bahan-bahan berserat dengan tingkat pencernaan yang rendah akan meningkatkan kehilangan energi melalui energi feses. Hilangnya energi sebagai gas pada beberapa hewan, namun sangat kecil kemungkinan terjadi pada ikan. Energi buangan melalui urine atau saluran insang

menunjukkan nutrien-nutrien yang diabsorpsi yang tidak dapat dimetabolisme oleh ikan. Energi yang diperoleh adalah energi yang dikembalikan sebagai pertumbuhan dari ikan atau produk-produk seksual. Selain energi yang hilang juga terdapat aktifitas fisik sukarela, adalah energi yang dikeluarkan untuk bergerak, mencari mangsa, mempertahankan posisi, dan sebagainya (Subandiyono dan Sri, 2016).

6.5. Pemanfaatan Energi

Pemanfaatan energi pada ikan mengacu pada bagaimana energi yang dikonsumsi melalui pakan digunakan oleh tubuh ikan untuk pertumbuhan, reproduksi, aktivitas, dan fungsi fisiologis lainnya. Pemanfaatan energi dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis ikan, suhu air, kualitas pakan, dan tingkat aktivitas.

Berikut adalah beberapa cara dimana energy dimanfaatkan oleh ikan.

6.5.1. Perawatan Tubuh (Maintenance)

Energi yang digunakan untuk fungsi-fungsi dasar tubuh yang esensial untuk bertahan hidup, seperti respirasi, sirkulasi darah, osmoregulasi, dan pemeliharaan suhu tubuh. Fungsi-fungsi ini memerlukan alokasi energi yang konsisten dan prioritas sebelum energi dapat dialokasikan untuk pertumbuhan atau reproduksi (Brett & Groves, 1979).

6.5.2. Aktivitas Dasar

Energi yang digunakan untuk aktivitas fisik harian, seperti berenang, mencari makanan, dan menghindari predator. Aktivitas ini sangat bervariasi tergantung pada spesies ikan dan lingkungan hidupnya. Ikan yang aktif, seperti ikan pelagis, membutuhkan lebih banyak energi untuk aktivitas dibandingkan dengan ikan yang lebih pasif, seperti ikan demersal (Jobling, 1994).

6.5.3. Pertumbuhan

Pertumbuhan adalah penambahan ukuran panjang atau berat dalam suatu waktu. Pertumbuhan populasi adalah penambahan jumlah individu dalam satu populasi. Pertumbuhan individu adalah penambahan jaringan akibat dari pembelahan sel secara mitosis. Pertumbuhan terjadi karena ada kelebihan input energi dan asam amino (protein) yang berasal dari makanan. Pertumbuhan autocatalytic adalah pertumbuhan yang terjadi semakin cepat disebabkan oleh hasil dari pertumbuhan tadi. Contoh pada bakteri susu dan ikan muda. Energi yang diperoleh ikan dari makanan digunakan oleh tubuh untuk metabolisme dasar, pergerakan, produksi organ seksual, perawatan bagian-bagian tubuh atau mengganti sel-sel yang sudah tidak terpakai. Bahan-bahan tidak berguna akan dikeluarkan dari tubuh. Apabila terdapat bahan berlebih akan dibuat sel baru sebagai penambahan unit atau penggantian sel dari bagian tubuh.

Energi yang tersisa setelah kebutuhan maintenance dan aktivitas sukarela dipenuhi dapat dialokasikan untuk pertumbuhan. Ini mencakup sintesis protein baru, pembentukan jaringan, dan

peningkatan ukuran tubuh. Pertumbuhan adalah salah satu tujuan utama dalam akuakultur karena berhubungan langsung dengan produktivitas dan hasil panen (Kaushik & Seiliez, 2010).

6.5.4. Reproduksi

Energi juga dialokasikan untuk proses reproduksi, termasuk produksi gamet (telur dan sperma), perilaku pemijahan, dan pengasuhan keturunan pada beberapa spesies. Reproduksi memerlukan energi yang signifikan, terutama selama periode pemijahan, dan keberhasilannya sangat bergantung pada ketersediaan energi yang cukup (Thorstad et al., 2016).

6.5.5. Pemanfaatan energi

Pemanfaatan energi pada ikan dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal yang berinteraksi secara kompleks.

Berikut adalah penjelasan mengenai faktor-faktor utama yang mempengaruhi pemanfaatan energi pada ikan:

- a. Kualitas dan Kuantitas Pakan, kandungan protein, lemak, dan karbohidrat dalam pakan sangat menentukan jumlah energi yang tersedia untuk ikan. Pakan yang kaya akan protein dan lemak berkualitas tinggi dapat menyediakan energi yang cukup untuk berbagai fungsi fisiologis dan aktivitas ikan (Kaushik & Seiliez, 2010).
- b. Kondisi lingkungan seperti suhu, oksigen terlarut, salinitas, Ph, dan kualitas air secara keseluruhan sangat mempengaruhi laju metabolisme dan pemanfaatan energi. Kondisi lingkungan yang optimal dapat meningkatkan efisiensi metabolisme dan penggunaan energi oleh ikan.

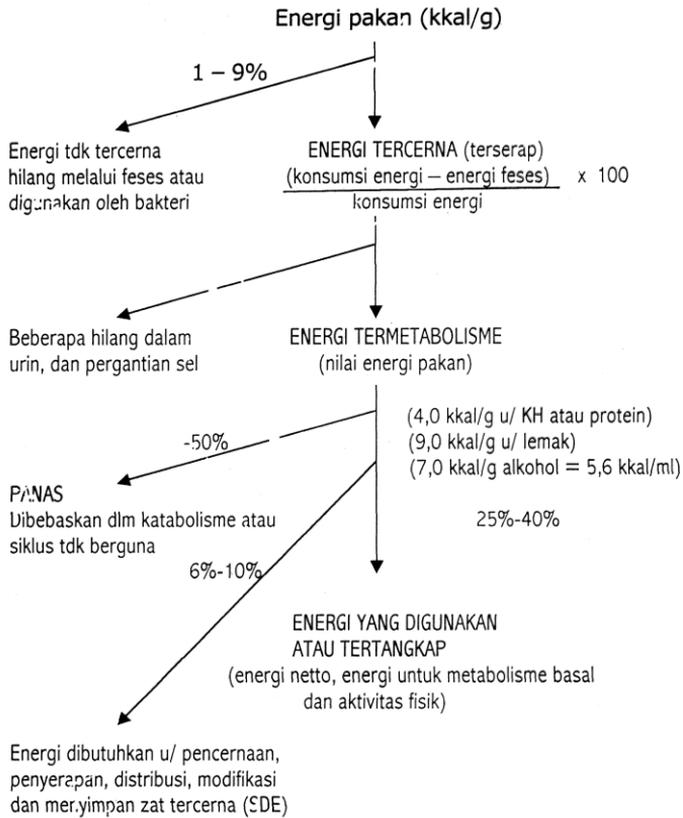
c. Spesies

Spesies Ikan: Berbagai spesies ikan memiliki kebutuhan energi dan efisiensi pemanfaatan energi yang berbeda-beda. Misalnya, ikan pelagis seperti tuna memiliki kebutuhan energi yang tinggi untuk pergerakan terus-menerus, sementara ikan demersal seperti ikan kakap lebih hemat energi (Kaushik & Seiliez, 2010).

d. Tahap Kehidupan: Kebutuhan energi juga bervariasi sesuai dengan tahap kehidupan ikan. Larva dan juvenile biasanya memiliki laju pertumbuhan yang cepat dan membutuhkan lebih banyak energi relatif terhadap berat badan mereka dibandingkan ikan dewasa. Pada tahap dewasa, energi lebih banyak dialokasikan untuk reproduksi (Thorstad et al., 2016).

6.6. Energi yang Hilang

Pakan dan bahan penyusun pakan mengandung energi, namun tidak semua energi berlaku untuk pertumbuhan dan reproduksi. Energi yang hilang terjadi karena pakan dicerna dan dimetabolisme. Sejak pakan bergerak melalui proses-proses pencernaan, energi hilang dalam feses, urin dan ekskresi melalui insang. Energi juga hilang sebagai panas serta menghasilkan energy netto yang digunakan untuk pemeliharaan, pertumbuhan dan reproduksi.



Gambar 10. Energi yang hilang

Pada Gambar 10 menjelaskan bahwa kehilangan energy karena total energy yang masuk (intake or grass energy) melepaskan energy dalam feses (fecal energy) menjadi energy yang dapat dicerna (digestible energy, DE). Selanjutnya energy yang dapat dicerna tersebut melepaskan energy kedalam urin (urinary energy) ataupun ekskresi melalui insang (gill excretions) menjadi energy yang dapat dimetabolisme (metabolizable energy, ME). Energi yang dapat dimetabolisme tersebut melepaskan

energy dalam bentuk panas (heat energy) menjadi netto (net energy). Energy netto adalah energy yang tersedia untuk pemeliharaan, pertumbuhan, dan reproduksi (Subandiyono dan Sri, 2016).

6.6.1. Energi yang hilang melalui feses

Feses adalah salah satu jalur utama di mana energi hilang dari tubuh ikan. Energi yang hilang melalui feses berasal dari makanan yang tidak dicerna atau tidak diserap selama proses pencernaan. Tingkat pencernaan pakan sangat berpengaruh terhadap jumlah energi yang hilang. Pakan yang mudah dicerna menyerap energy lebih banyak dan dimanfaatkan ikan, sedangkan makanan yang sulit dicerna meningkatkan jumlah energi yang hilang melalui feses.

6.6.2. Energi yang hilang melalui urin

Energi yang hilang melalui urin melibatkan pembuangan limbah nitrogen seperti ammonia atau urea tergantung dari spesies ikan. Selain itu ikan mengeluarkan energi untuk osmoregulasi dimana melibatkan ekskresi kelebihan ion dan limbah metabolik melalui urin. Ikan yang berada di lingkungan dengan salinitas yang sesuai cenderung mengeluarkan lebih sedikit energi untuk osmoregulasi dibandingkan dengan ikan yang berada di lingkungan dengan salinitas yang ekstrem.

6.6.3. Energi yang hilang melalui ekskresi insang

Ekskresi melalui insang merupakan mekanisme yang penting dimana energy hilang dari tubuh ikan. Insang tidak hanya berfungsi untuk pertukaran gas tetapi juga untuk ekskresi metabolisme tertentu

seperti ammonia dan gas metabolik. Pada ikan air tawar, banyak yang mengeluarkan ammonia langsung melalui insang. Selain ammonia, gas-gas lain yang dapat dihasilkan selama metabolisme seperti karbon dioksida juga dikeluarkan melalui insang. Proses tersebut melibatkan energy yang digunakan untuk ventilasi insang dan pengaturan pH darah.

6.7. Memperkirakan Nilai Energi

Gross energi (energi kotor) dari bahan pakan dapat diperkirakan dari komposisi kimianya atau dapat diukur dengan menggunakan bom kalorimeter. Analisis lemak, protein, dan abu serta menentukan karbohidrat melalui pengurangan atau perbedaan, serta perkalian dengan faktor-faktor yang sesuai akan memberikan suatu nilai pendekatan untuk nilai energi kotor. Data tersebut tidak akan sama akuratnya dengan data yang diperoleh dengan menggunakan bom kalorimeter. Kemampuan suatu spesies ikan untuk mencerna bahan tertentu harus diketahui. Digestibilitas dapat diperkirakan dari nilai rata-rata, atau dapat diukur secara langsung melalui pengumpulan secara kuantitatif dari hasil ekskresi, atau secara tidak langsung dengan menggunakan beberapa jenis petanda (marker) yang ada di dalam pakan. Kedua metode tersebut seharusnya memberikan hasil yang sama bilamana dikerjakan secara akurat. Jika ekskresi urine dan insang dikoleksi pada metode secara langsung, energi termetabolisme (ME) dapat juga dikalkulasi (Subandiyono dan Sri, 2016).

Memperkirakan nilai energi pada ikan adalah proses penting dalam akuakultur dan studi bioenergetika. Nilai energi ini mencakup jumlah energi yang diperoleh ikan dari

pakan dan bagaimana energi tersebut digunakan untuk pertumbuhan, pemeliharaan, aktivitas, dan reproduksi. Metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai energi dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu: metode langsung dan metode tidak langsung. Kedua pendekatan ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dan digunakan sesuai dengan kebutuhan penelitian atau praktik budidaya.

6.7.1. Metode langsung

Metode langsung yaitu mengukur energy langsung dari sampel pakan atau jaringan ikan. Salah satu metode langsung adalah pengukuran menggunakan bom calorimeter. Bom calorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalori (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih) suatu senyawa, bahan makanan, bahan bakar. Sejumlah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang tercelup dalam medium penyerap kalor (calorimeter), dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam terpasang dalam tabung. Bom calorimeter adalah alat untuk menentukan nilai kalor zat makanan karbohidrat, protein atau lemak (Effendi, 1979). Proses pengukuran energy menggunakan bom calorimeter ini adalah sampel dikeringkan terlebih dahulu untuk menghilangkan air yang dapat mempengaruhi hasil. Setelah pembakaran, perubahan suhu dalam bom calorimeter digunakan untuk menghitung jumlah energi yang dilepaskan, biasanya dalam satuan kalori atau joule.

6.7.2. Metode Tidak Langsung

Metode tidak langsung memperkirakan nilai energi berdasarkan komposisi kimia pakan atau jaringan ikan. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode analisis proximat. Analisa proksimat merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kandungan gizi pada bahan pakan atau pangan. Analisis proksimat mengelompokkan komponen pada pakan berdasarkan kandungan kimia serta fungsinya. Metode yang digunakan dalam analisa proksimat adalah metode Kjeldhal untuk uji protein, metode soxhlet untuk uji lemak, metode oven pada uji kadar air serta metode pengabuan kering untuk uji kadar abu. Ada beberapa keunggulan yang dimiliki oleh analisa proksimat antara lain teknologi yang dibutuhkan dalam Analisa proksimat tergolong masih bisa dijangkau atau mudah didapatkan dan dapat menghitung nilai total dari kandungan gizi pada pakan atau pangan dengan nilai menggunakan satuan persen. Terlepas dari kelebihan yang dimiliki analisa proksimat tentu memiliki kekurangan yang diantaranya tidak bisa menjelaskan daya cerna tekstur dari pakan maupun pangan.

6.8. Kebutuhan Energi

Energi adalah komponen kunci dalam nutrisi ikan yang memainkan peran penting dalam berbagai proses biologis termasuk pertumbuhan, pergerakan, reproduksi, dan pemeliharaan fungsi tubuh. Kebutuhan energi ikan dan bagaimana kita memasoknya melalui pakan adalah hal penting dalam budidaya ikan yang efisien.

6.9. Beberapa Faktor Yang Membantu Tingginya Efisiensi Energi

Efisiensi energi pada ikan adalah kemampuan ikan untuk mengonversi pakan menjadi energi dan pertumbuhan dengan minimal pemborosan. Beberapa faktor yang membantu meningkatkan efisiensi energi pada ikan meliputi aspek genetika, manajemen pakan, lingkungan, dan teknologi. Berikut penjelasan detail mengenai faktor-faktor tersebut:

6.9.1. Genetika dan Seleksi Spesies

- **Pemilihan Spesies:** Memilih spesies ikan yang secara alami memiliki laju pertumbuhan cepat dan efisiensi pakan tinggi. Misalnya, beberapa spesies ikan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengonversi pakan menjadi pertumbuhan dibandingkan spesies lainnya.
- **Seleksi Genetika:** Menggunakan teknik seleksi genetika untuk meningkatkan karakteristik yang diinginkan, seperti efisiensi pakan, laju pertumbuhan, dan resistensi terhadap penyakit. Program pemuliaan ikan yang baik dapat menghasilkan generasi ikan dengan performa lebih baik.

6.9.2. Manajemen Pakan

- **Kualitas Pakan:** Menggunakan pakan berkualitas tinggi dengan komposisi nutrisi yang seimbang (protein, lemak, karbohidrat, vitamin, dan mineral). Pakan yang dirancang khusus untuk kebutuhan

spesifik ikan akan lebih mudah dicerna dan diserap, meningkatkan efisiensi energi.

- **Frekuensi dan Jadwal Pemberian Pakan:** Memberikan pakan dalam frekuensi yang tepat dan pada waktu yang sesuai untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi. Pemberian pakan yang terlalu jarang atau terlalu sering dapat menyebabkan stres dan inefisiensi energi.
- **Pengelolaan Sisa Pakan:** Mengurangi jumlah pakan yang tidak termakan dengan metode pemberian pakan yang tepat, seperti menggunakan feeder otomatis yang disesuaikan dengan kebutuhan ikan.

6.9.3. Lingkungan dan Kondisi Air

- **Suhu Air:** Menjaga suhu air dalam kisaran optimal untuk spesies ikan yang dibudidayakan. Suhu yang optimal akan mendukung laju metabolisme yang efisien, sedangkan suhu ekstrem dapat meningkatkan kebutuhan energi untuk pemeliharaan homeostasis.
- **Kualitas Air:** Memastikan kualitas air yang baik dengan menjaga tingkat oksigen terlarut yang memadai, pH yang seimbang, dan mengurangi kontaminan. Air yang bersih dan kaya oksigen memungkinkan ikan menggunakan energi lebih efisien.
- **Pengaturan Kepadatan:** Menjaga kepadatan populasi ikan pada tingkat yang optimal untuk mengurangi stres dan kompetisi antar ikan. Kepadatan yang terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi energi karena meningkatnya stres dan kebutuhan energi untuk aktivitas sosial.

6.9.4. Teknologi dan Infrastruktur

- **Sistem Resirkulasi Akuakultur (RAS):** Menggunakan sistem resirkulasi yang meminimalkan penggunaan air dan menjaga kualitas air secara konsisten. RAS dapat mengurangi stres lingkungan dan meningkatkan efisiensi energi.
- **Teknologi Aerasi:** Menggunakan aerasi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air, yang membantu ikan dalam proses respirasi dan metabolisme, sehingga meningkatkan efisiensi energi.
- **Monitoring Real-time:** Menggunakan sensor dan teknologi pemantauan real-time untuk mengawasi parameter lingkungan seperti suhu, oksigen, dan kualitas air, serta menyesuaikan kondisi secara cepat untuk mempertahankan lingkungan optimal bagi ikan.

6.9.5. Manajemen Kesehatan Ikan

- **Pencegahan Penyakit:** Mengimplementasikan program kesehatan ikan yang komprehensif untuk mencegah penyakit melalui vaksinasi, karantina, dan manajemen sanitasi. Ikan yang sehat memiliki efisiensi energi yang lebih baik.
- **Pengobatan Tepat Waktu:** Mengidentifikasi dan mengobati penyakit dengan cepat untuk mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan ikan dan kebutuhan energi tambahan untuk melawan infeksi.

6.9.6. Pengelolaan Praktik Budidaya

- **Pemeliharaan Rutin:** Melakukan pemeliharaan rutin terhadap fasilitas budidaya untuk memastikan kondisi optimal bagi ikan. Ini termasuk membersihkan kolam atau tangki, memeriksa dan memperbaiki peralatan, serta memastikan tidak ada kebocoran atau kontaminasi.
- **Optimasi Sistem Budidaya:** Menyesuaikan sistem budidaya berdasarkan siklus hidup ikan dan musim. Misalnya, meningkatkan aerasi dan pengaturan suhu di musim panas atau mengurangi kepadatan saat musim pemijahan.

Dengan mengintegrasikan berbagai faktor ini, efisiensi energi pada ikan dapat ditingkatkan, yang tidak hanya meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan ikan tetapi juga mengoptimalkan keuntungan ekonomis dari budidaya akuakultur.

BAB VII

KEBUTUHAN ENERGI

A. Pendahuluan

Ikan adalah hewan poikilotermik, yang berarti suhu tubuh mereka bervariasi sesuai dengan suhu lingkungan sekitar. Tidak seperti hewan endotermik (seperti mamalia dan burung) yang mempertahankan suhu tubuh konstan dengan mengeluarkan energi metabolik, ikan mengandalkan suhu air sekitarnya untuk mengatur suhu tubuh mereka. Namun, suhu air mempengaruhi metabolisme ikan dan, pada gilirannya, kebutuhan energinya.

7.1. Pengaruh Suhu Air terhadap Kebutuhan Energi Ikan

7.1.1. Laju Metabolisme

- **Suhu Air dan Metabolisme:** Laju metabolisme ikan sangat dipengaruhi oleh suhu air. Pada suhu yang lebih tinggi, laju metabolisme ikan meningkat, yang berarti mereka membutuhkan lebih banyak energi untuk aktivitas metabolisme dasar.
- **Q10 Coefficient:** Laju reaksi kimia, termasuk metabolisme, dalam tubuh ikan sering kali meningkat dua kali lipat dengan kenaikan suhu sebesar 10°C, dikenal sebagai koefisien Q10. Ini menggambarkan betapa sensitifnya metabolisme ikan terhadap perubahan suhu.

7.1.2. Pertumbuhan dan Aktivitas

- **Pertumbuhan:** Pada suhu optimal, laju pertumbuhan ikan akan maksimal karena enzim-enzim yang terlibat dalam proses pertumbuhan bekerja paling efisien pada suhu tertentu. Ini meningkatkan kebutuhan energi untuk sintesis protein dan pertumbuhan jaringan.
- **Aktivitas Fisik:** Aktivitas fisik ikan, seperti berenang dan mencari makan, juga meningkat dengan kenaikan suhu hingga suhu tertentu, yang meningkatkan kebutuhan energi.

7.1.3. Stress Suhu

- **Suhu Ekstrem:** Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan stres pada ikan. Pada suhu ekstrem, ikan perlu mengeluarkan lebih banyak energi untuk mempertahankan homeostasis dan fungsi fisiologis dasar.
- **Aklimatisasi:** Ikan dapat mengalami proses aklimatisasi terhadap perubahan suhu, yang memungkinkan mereka menyesuaikan laju metabolisme dalam jangka waktu tertentu. Namun, ini juga membutuhkan energi.

7.1.4. Penyesuaian Fisiologis terhadap Suhu

1. Produksi Energi

- **Oksidasi Nutrisi:** Untuk mendukung laju metabolisme yang lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi, ikan meningkatkan oksidasi nutrisi (karbohidrat, lemak, dan protein) untuk menghasilkan energi.
- **Enzim Metabolik:** Aktivitas enzim yang mengkatalisasi reaksi metabolik meningkat dengan

suhu, hingga titik di mana enzim mulai denaturasi pada suhu terlalu tinggi.

2. **Pertukaran Gas**

- **Konsumsi Oksigen:** Dengan meningkatnya laju metabolisme, kebutuhan oksigen ikan juga meningkat. Suhu air yang lebih tinggi sering kali mengurangi kandungan oksigen terlarut, yang dapat membatasi kemampuan ikan untuk memenuhi kebutuhan energi meningkat.
- **Efisiensi Insang:** Ikan mungkin meningkatkan laju ventilasi insang mereka untuk meningkatkan pengambilan oksigen dari air.

7.2. Strategi Adaptif dan Kebutuhan Energi

a. **Ikan Eurythermal vs. Stenothermal**

- **Eurythermal:** Ikan yang dapat hidup dalam rentang suhu yang luas memiliki adaptasi yang memungkinkan mereka mengatur metabolisme sesuai dengan perubahan suhu, meskipun ini memerlukan energi tambahan untuk penyesuaian.
- **Stenothermal:** Ikan yang hidup dalam rentang suhu sempit lebih efisien dalam mempertahankan metabolisme mereka dalam kisaran suhu yang lebih terbatas.

b. **Perilaku Termal**

- **Migrasi dan Pergerakan:** Beberapa ikan melakukan migrasi vertikal atau horizontal untuk menemukan suhu yang optimal dalam lingkungannya. Misalnya, ikan dapat berenang ke lapisan air yang lebih hangat atau lebih dingin untuk menyesuaikan kebutuhan energi mereka.

- **Aktivitas Harian:** Ikan mungkin menyesuaikan aktivitas mereka sesuai dengan suhu air, misalnya lebih aktif mencari makan pada suhu optimal dan beristirahat ketika suhu tidak ideal.

7.3. Kebutuhan Energi dalam Akuakultur

1. Pengelolaan Suhu

- **Pemanasan dan Pendinginan:** Dalam sistem akuakultur, suhu air dapat diatur menggunakan pemanas atau pendingin untuk menjaga suhu dalam kisaran optimal bagi spesies ikan tertentu, sehingga mengoptimalkan kebutuhan energi mereka.
- **Sirkulasi Air:** Menggunakan sistem sirkulasi untuk menjaga suhu air yang seragam dalam kolam atau tangki.

2. Pakan dan Nutrisi

- **Formulasi Pakan:** Pakan yang diformulasikan untuk mendukung kebutuhan energi pada suhu yang berbeda, misalnya pakan dengan kandungan energi lebih tinggi pada suhu rendah dan pakan yang lebih mudah dicerna pada suhu tinggi.
- **Frekuensi dan Jadwal Pemberian Pakan:** Menyesuaikan frekuensi dan jumlah pemberian pakan sesuai dengan suhu air untuk memastikan ikan mendapatkan energi yang cukup tanpa menyebabkan pemborosan pakan.

Kebutuhan energi pada ikan untuk mempertahankan suhu tubuh mereka adalah konsep yang berkaitan erat dengan suhu lingkungan mereka. Karena ikan adalah poikilotermik, suhu air sekitarnya secara langsung mempengaruhi laju metabolisme, pertumbuhan, aktivitas fisik, dan kebutuhan energi

keseluruhan mereka. Manajemen suhu yang tepat dan pemberian pakan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan adalah kunci untuk mengoptimalkan kesehatan dan pertumbuhan ikan dalam akuakultur.

7.4. Ekskresi Limbah Nitrogen

Ekskresi limbah nitrogen pada ikan adalah proses dimana ikan mengeluarkan produk limbah nitrogen yang dihasilkan dari metabolisme protein dan asam amino. Proses ini sangat penting karena penumpukan limbah nitrogen, seperti amonia, bisa beracun bagi ikan. Berikut penjelasan detail tentang mekanisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi ekskresi limbah nitrogen pada ikan:

7.5. Mekanisme Ekskresi Limbah Nitrogen

7.5.1. Produksi Limbah Nitrogen

- **Metabolisme Protein:** Ketika protein dan asam amino dicerna dan dimetabolisme, produk sampingan nitrogen dihasilkan. Proses ini menghasilkan amonia (NH_3), yang sangat toksik jika terakumulasi dalam tubuh ikan.
- **Katabolisme Asam Amino:** Asam amino yang tidak digunakan untuk sintesis protein diubah menjadi energi melalui proses deaminasi, menghasilkan amonia sebagai produk sampingan.

7.5.2. Jenis Limbah Nitrogen

- **Amonia (NH_3):** Bentuk utama limbah nitrogen pada ikan. Sangat larut dalam air dan sangat toksik, terutama dalam bentuk tidak terionisasi

(NH₃) dibandingkan dengan ion amonium (NH₄⁺).

- **Urea:** Beberapa spesies ikan, terutama ikan air tawar, juga mengeluarkan urea, yang kurang toksik dibandingkan amonia.
- **Asam Urat:** Beberapa ikan, terutama yang hidup di lingkungan kering atau dengan sedikit air, mengeluarkan asam urat, yang tidak larut dalam air dan lebih sedikit toksik.

7.6. Proses Ekskresi

- **Difusi Pasif:** Amonia yang larut dalam darah ikan berdifusi secara pasif melalui insang ke air sekitarnya. Proses ini difasilitasi oleh gradien konsentrasi amonia antara darah ikan dan air.
- **Transpor Aktif:** Di beberapa ikan, transpor aktif melibatkan protein transpor khusus pada membran sel insang yang memindahkan amonia atau ion amonium keluar dari tubuh.
- **Produksi Urea:** Beberapa ikan menggunakan siklus ornitin-urea untuk mengubah amonia menjadi urea, yang kemudian dikeluarkan melalui ginjal atau insang.

7.7. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ekskresi Limbah Nitrogen

7.7.1. Suhu Air

- **Laju Metabolisme:** Suhu air mempengaruhi laju metabolisme ikan. Suhu yang lebih tinggi meningkatkan laju metabolisme dan produksi amonia, sehingga meningkatkan kebutuhan untuk ekskresi yang lebih cepat.

- **Kelarutan Oksigen:** Suhu air yang tinggi mengurangi kelarutan oksigen, yang dapat mempengaruhi efisiensi ekskresi amonia melalui insang.

7.7.2.pH Air

- **Keseimbangan Amonia/Amonium:** pH air mempengaruhi keseimbangan antara bentuk amonia tidak terionisasi (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+). Pada pH tinggi, lebih banyak amonia tidak terionisasi yang lebih toksik; pada pH rendah, lebih banyak ion amonium yang kurang toksik.

7.7.3.Salinitas

- **Ikan Air Tawar vs. Air Laut:** Ikan air tawar dan air laut memiliki mekanisme yang berbeda untuk ekskresi nitrogen. Ikan air laut cenderung menghadapi tantangan tambahan dalam mengatur keseimbangan ionik dan osmotik yang mempengaruhi ekskresi nitrogen.
- **Osmoregulasi:** Salinitas mempengaruhi osmoregulasi ikan, yang berkaitan dengan kemampuan ikan untuk mengeluarkan limbah nitrogen secara efisien.

7.7.4.Konsentrasi Amonia dan Oksigen terlarut

- **Konsentrasi Amonia di Air:** Konsentrasi amonia di lingkungan air mempengaruhi gradien difusi. Konsentrasi amonia yang tinggi di air dapat menghambat ekskresi amonia dari tubuh ikan.

- **Kandungan Oksigen Terlarut:** Kandungan oksigen yang tinggi mendukung metabolisme ikan dan efisiensi ekskresi amonia melalui insang.

7.7.5.Diet dan Nutrisi

- **Komposisi Pakan:** Diet tinggi protein meningkatkan produksi limbah nitrogen. Pemberian pakan yang seimbang dengan asam amino yang tepat dapat mengurangi produksi amonia.
- **Frekuensi Pemberian Pakan:** Pemberian pakan yang teratur dan sesuai mengurangi fluktuasi tajam dalam produksi limbah nitrogen.

7.7.6.Fisiologi dan Kesehatan Ikan

- **Kondisi Kesehatan:** Ikan yang sehat lebih efisien dalam proses metabolisme dan ekskresi. Penyakit atau stres dapat mengurangi efisiensi ekskresi limbah nitrogen.
- **Spesies Ikan:** Berbagai spesies ikan memiliki mekanisme dan efisiensi ekskresi nitrogen yang berbeda. Misalnya, ikan karnivora biasanya menghasilkan lebih banyak amonia dibandingkan ikan herbivora.

7.8.Manajemen Ekskresi Limbah Nitrogen dalam Akuakultur

7.8.1.Pemantauan Kualitas Air

- **Pengukuran Amonia:** Rutin mengukur konsentrasi amonia dan nitrit dalam air untuk memastikan mereka berada dalam batas aman.

- Pengaturan pH dan Oksigen: Menjaga pH dan kadar oksigen terlarut dalam kisaran optimal untuk mendukung ekskresi yang efisien.

7.8.2.Sistem Filtrasi dan Biofiltrasi

- Filter Mekanis dan Biologis: Menggunakan filter mekanis untuk menghilangkan partikel padat dan filter biologis untuk menguraikan amonia menjadi nitrit dan nitrat melalui proses nitrifikasi.
- Tanaman Air dan Mikroorganisme: Memanfaatkan tanaman air dan mikroorganisme yang dapat menyerap dan menguraikan limbah nitrogen.

7.8.3.Manajemen Pemberian Pakan

- **Optimasi Diet:** Memberikan pakan dengan kandungan protein yang tepat dan seimbang untuk mengurangi produksi limbah nitrogen.
- **Frekuensi dan Jumlah Pakan:** Mengatur frekuensi dan jumlah pemberian pakan untuk menghindari kelebihan pakan yang dapat meningkatkan produksi limbah.

7.9.Desain Sistem Akuakultur

- Pengaturan Kepadatan Populasi: Menjaga kepadatan populasi ikan pada tingkat yang sesuai untuk mengurangi stres dan meningkatkan efisiensi ekskresi limbah.

Dengan memahami dan mengelola faktor-faktor yang mempengaruhi ekskresi limbah nitrogen, produsen

ikan dapat meningkatkan kesehatan dan efisiensi pertumbuhan ikan, sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari budidaya akuakultur.

7.10. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kebutuhan Energi

Energi pada ikan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang mencakup aspek internal dan eksternal. Pemahaman tentang faktor-faktor ini sangat penting untuk pengelolaan budidaya akuakultur yang efisien dan untuk memastikan kesehatan serta pertumbuhan ikan. Berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi energi pada ikan:

7.10.1. Faktor Internal

a. Spesies Ikan

- **Metabolisme Spesifik:** Setiap spesies ikan memiliki laju metabolisme yang berbeda, yang mempengaruhi kebutuhan energinya. Misalnya, ikan predator biasanya memiliki kebutuhan energi yang lebih tinggi dibandingkan ikan herbivora.

b. Ukuran dan Umur Ikan

- **Pertumbuhan:** Ikan yang lebih muda dan sedang dalam fase pertumbuhan cepat memiliki kebutuhan energi yang lebih tinggi untuk pembangunan jaringan baru.
- **Ukuran Tubuh:** Ikan yang lebih besar cenderung memiliki laju metabolisme basal yang lebih rendah per unit berat tubuh dibandingkan ikan yang lebih kecil.

c. Kondisi Fisiologis

- **Reproduksi:** Selama masa pemijahan, ikan membutuhkan lebih banyak energi untuk produksi telur atau sperma.
- **Kesehatan:** Ikan yang sedang sakit atau terinfeksi parasit membutuhkan lebih banyak energi untuk sistem kekebalan tubuh mereka.

d. Aktivitas

- **Aktivitas Fisik:** Ikan yang aktif berenang atau berburu makanan membutuhkan lebih banyak energi dibandingkan ikan yang kurang aktif.

7.10.2. Faktor Eksternal

a. Suhu Air

- **Laju Metabolisme:** Suhu air secara langsung mempengaruhi laju metabolisme ikan. Pada suhu optimal, laju metabolisme meningkat, sementara pada suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi, metabolisme bisa melambat atau bahkan menyebabkan stres termal.
- **Kisaran Suhu Optimal:** Setiap spesies ikan memiliki kisaran suhu optimal di mana mereka dapat berfungsi secara efisien. Di luar kisaran ini, kebutuhan energi untuk pemeliharaan homeostasis meningkat.

b. Kualitas Air

- **Oksigen Terlarut:** Kadar oksigen yang rendah dapat menyebabkan ikan harus menggunakan lebih banyak energi untuk respirasi.
- **pH:** Kualitas air yang tidak seimbang, terutama pH yang terlalu rendah atau tinggi, dapat menyebabkan stres pada ikan dan meningkatkan kebutuhan energi untuk homeostasis.
- **Kontaminan:** Kehadiran polutan atau bahan kimia berbahaya dapat mengganggu proses metabolisme ikan dan meningkatkan kebutuhan energi untuk detoksifikasi.

c. Ketersediaan Pakan

- **Kuantitas dan Kualitas Pakan:** Ketersediaan pakan yang cukup dan berkualitas tinggi sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi ikan. Pakan yang tidak mencukupi atau berkualitas rendah akan menyebabkan defisit energi dan pertumbuhan yang terhambat.
- **Frekuensi Pemberian Pakan:** Pemberian pakan yang teratur dan dalam jumlah yang sesuai membantu menjaga kadar energi yang stabil dalam tubuh ikan.

d. Kepadatan Populasi

- **Kepadatan Kolam atau Tambak:** Kepadatan populasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kompetisi untuk sumber daya, peningkatan tingkat stres, dan penurunan kualitas air, yang semuanya meningkatkan kebutuhan energi ikan.
- **Interaksi Sosial:** Interaksi sosial, termasuk perilaku agresif atau hierarki sosial, dapat mempengaruhi kebutuhan energi ikan.

7.10.3. Faktor Nutrisi

a. Komposisi Pakan

- **Karbohidrat, Protein, dan Lemak:** Pakan dengan kandungan protein, karbohidrat, dan lemak yang seimbang sangat penting untuk menyediakan energi yang diperlukan oleh ikan. Protein sering menjadi sumber energi utama bagi ikan.
- **Vitamin dan Mineral:** Kekurangan atau ketidakseimbangan vitamin dan mineral dalam pakan dapat mengganggu metabolisme energi dan kesehatan ikan.

b. Kecernaan Pakan

- **Bioavailabilitas:** Kecernaan dan bioavailabilitas nutrisi dalam pakan mempengaruhi seberapa efisien ikan dapat mengkonversi pakan menjadi energi. Pakan dengan kecernaan tinggi memungkinkan ikan untuk mendapatkan lebih banyak energi dari setiap unit pakan yang dikonsumsi.

Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi energi pada ikan adalah kunci untuk mengoptimalkan budidaya akuakultur. Manajemen yang baik mencakup pemilihan spesies yang sesuai, pengaturan lingkungan yang optimal, penyediaan pakan berkualitas, dan pemantauan kondisi kesehatan ikan. Dengan memperhatikan semua faktor ini, produsen ikan dapat meningkatkan efisiensi energi, pertumbuhan, dan kesejahteraan ikan dalam sistem akuakultur mereka.

7.11. Pendukung Dan Transportasi

7.11.1. Infrastruktur Pendukung :

- **Kolam dan Wadah Penyimpanan:**
Kolam dan wadah penyimpanan yang baik dirancang untuk menjaga kualitas air dan lingkungan yang sesuai bagi ikan.
- **Sistem Air:**
Sistem sirkulasi air, pemurnian air, dan system aerasi adalah bagian penting dari infrastruktur pendukung yang memastikan oksigenasi yang cukup dan kondisi air yang optimal.
- **Kualitas Air:**
Monitoring kualitas air seperti pH, suhu, amonia, nitrat, dan nitrit sangat penting untuk kesehatan ikan.

7.11.2. Pemberian Makanan dan Nutrisi:

- **Pakan yang Sesuai:** Memastikan ikan menerima pakan yang sesuai dengan jenis dan tahap pertumbuhan mereka.
- **Frekuensi Pemberian Pakan:** Merencanakan jadwal pemberian pakan yang konsisten dan teratur.
- **Kesehatan dan Pengelolaan:** Pengawasan kesehatan ikan, vaksinasi, pengendalian parasit, dan perawatan medis adalah aspek penting dalam budidaya ikan.

7.11.3. Transportasi Ikan:

- **Kontainer Transportasi:** Penggunaan container yang sesuai untuk mengangkut ikan sangatlah penting agar ikan tidak mengalami stress yang berlebihan selama perjalanan.

- **Kualitas Air:** Air yang digunakan selama transportasi harus diawasi dengan ketat untuk memastikan kondisi optimal bagi ikan.
- **Suhu:** Kontrol suhu selama transportasi adalah kunci, terutama untuk spesies ikan yang rentan terhadap perubahan suhu.

7.11.4. Keselamatan dan Kesejahteraan Ikan:

Faktor-faktor yang mempengaruhi kesejahteraan ikan selama proses budidaya dan transportasi sangat penting. Ini mencakup penghindaran stress yang berlebihan, perlakuan yang baik terhadap ikan, dan penanganan yang hati-hati.

BAB VIII

BAHAN PENYUSUN PAKAN

Protein

Kebutuhannya berkisar antara 20-60%. Untuk ikan-ikan laut biasanya kebutuhan protein cukup tinggi karena merupakan kelompok ikan karnivora yaitu berkisar antara 30-60%. Sumber protein dapat diperoleh dari hewani atau nabati tetapi untuk ikan laut lebih menyukai sumber protein diambil dari hewani.

2. Lemak

- Kebutuhannya berkisar antara 4-18%. Sumber lemak/lipid biasanya adalah: Hewani: lemak sapi, ayam, kelinci, dan minyak ikan. Nabati: jagung, biji kapas, kelapa, kelapa sawit, kacang tanah, dan kacang kedelai.

3. Karbohidrat

Karbohidrat terdiri dari serat kasar dan Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen (BETN), kebutuhannya berkisar antara 20-30%. Sumber karbohidrat biasanya dari nabati seperti jagung, beras, dedak, tepung terigu, tapioka, sagu, dan lain- lain. Kandungan serat kasar kurang dari 8% akan menambah struktur pellet, jika lebih dari 8% akan mengurangi kualitas pelet ikan.

4. Vitamin dan mineral

6. Kebutuhan vitamin dan mineral berkisar antara 2-5%.

BAB IX PERTUMBUHAN IKAN

Pertumbuhan adalah penambahan ukuran panjang atau berat dalam suatu waktu tertentu. Dalam pertumbuhan dikenal istilah Pertumbuhan Populasi dan Pertumbuhan Individu. Pertumbuhan Populasi adalah penambahan jumlah individu dalam suatu populasi, sementara Pertumbuhan Individu adalah penambahan jaringan akibat dari pembelahan sel secara mitosis. Pertumbuhan terjadi karena ada kelebihan input energi dan asam amino (protein) berasal dari makanan. Pertumbuhan autocatalytic adalah pertumbuhan yang terjadi semakin cepat disebabkan oleh hasil dari pertumbuhan tadi. Contoh pada bakteri susu dan ikan muda. Makanan yang dikonsumsi oleh ikan akan digunakan oleh tubuh untuk metabolisme dasar, pergerakan, produksi organ seksual, perawatan bagian-bagian tubuh atau mengganti sel-sel yang sudah tidak terpakai. Bahan-bahan yang tidak berguna akan dikeluarkan dari tubuh ikan. Apabila terdapat bahan berlebih akan dibuat sel baru sebagai penambahan unit atau penggantian sel dari bagian tubuh yang sakit. Pembagian Kelompok Sel tubuh dapat digolongkan menjadi 3:

- - 1. bagian yang dapat diperbaharui, mempunyai sel-sel dengan daya membelah secara mitosis sangat cepat
- - 2. bagian yang dapat berkembang,
- - 3. bagian yang statis

9.1. Faktor yang mempengaruhi Pertumbuhan

9.1.1. Faktor Dari Dalam, adalah faktor yang sukar dikontrol, yaitu:

1. Keturunan: Keturunan mungkin dapat dikontrol dengan mengadakan seleksi untuk mencari ikan yang baik pertumbuhannya, tetapi di alam tidak bisa

2. Sex: Ada ikan betina yang pertumbuhannya lebih cepat dari ikan jantan atau sebaliknya. Proses pematangan gonad untuk pertama kalinya menyebabkan pertumbuhan sedikit lambat . Pembuatan sarang dan pemijahan juga menghambat pertumbuhan karena ikan tidak makan

3. Umur. Pertumbuhan dipengaruhi oleh umur, pertumbuhan lebih cepat terjadi pada ikan yang masih muda ketika berumur 3-5 tahun, sedangkan pada ikan yang sudah tua, walaupun pertumbuhan tetap terjadi, tetapi lambat karena sebagian besar makanannya digunakan untuk pemeliharaan tubuh dan pergerakan.

4. Parasit dan penyakit, penyakit dan parasit juga mempengaruhi pertumbuhan terutama kalau yang diserang adalah alat pencernaan makanan atau organ lain yang vital. Namun sebaliknya pertumbuhan ikan yang diserang parasit, pertumbuhannya lebih baik dari ikan normal karena ikan tadi mengambil makanan yang lebih banyak.

9.1.2. Faktor Luar. Yang dimaksud faktor luar adalah suhu perairan dan makanan.

1. Suhu perairan

Di daerah yang bermusim empat (4) jika suhu turun dibawah 10°C, ikan akan berhenti makan atau makan sedikit. Olehnya itu ikan yang spesiesnya sama pertumbuhannya tidak sama jika lingkungannya beda. Suhu sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan pada daerah bermusim empat atau daerah sub tropis.

- 2. Makanan

Di daerah tropik, makanan merupakan faktor yang lebih penting dari pada suhu perairan. Anak ikan yang lemah dan tidak berhasil mendapatkan makanan akan mati, sedangkan yang kuat terus makan, dan pertumbuhannya

baik. Faktor kimia, seperti oksigen, karbon dioksida, hidrogen sulfida, keasaman dan alkalinitas juga mempengaruhi pertumbuhan. Kekeruhan juga mempengaruhi pertumbuhan.

9.2. Kurva Pertumbuhan

Pertambahan ukuran baik panjang atau berat biasanya dikur dalam waktu tertentu. Hubungan pertambahan ukuran dengan waktu bila digambarkan menghasilkan suatu kurva pertumbuhan yang berbentuk sigmoid (“S). Dalam kurva terdapat suatu titik infleksi, yaitu titik perubahan perubahan dari fase penaikan ke fase perlambatan pertumbuhan. Banyak kurva pertumbuhan tidak simetri dimana titik infleksi terdapat pada tahun-tahun pertama.

Pertumbuhan Relatif (Watanabe, 1983 *dalam* Hadijah et.al, 2020)

:

$$RGR = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100\%$$

Dimana :

RGR (Relatif Growth Rate) % = kecepatan pertumbuhan relatif

W_t = berat akhir ikan

W_o = Berat awal ikan

Pertumbuhan Mutlak (Huisman et all, 1986 *dalam* Hadijah et.al, 2020)

$$BG = W_t - W_o$$

Dimana :

BG = Biomass Growth (pertumbuhan Mutlak)

W_t = berat akhir ikan

W_o = Berat awal ikan

DAFTAR PUSTAKA

- A. J. Edwards, A. C. Gill, and P. O. Abohweyere, "A revision of Irvine' marine fishes of tropical West Africa," Darwin Initiat. Proj., no. March 2021, p. 178, 2001.
- A. Nikhlani, "Modul Fisiologi Dan Tingkah Laku Ikan." 2021.
- Afrianto, Eddy dan Evi Liviawaty. 2003. Pakan Ikan. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.
- Atlantic salmon post-smolts in coastal Norway. ICES Journal of Marine Science,
- Brett, J.R., and T. D. D. Groves. 1979. Physiological energetics in Fish physiology. W. S. Hoar, D. J. Randall, and J. R. Brett, editors., volume 8. Academic Press, New York. PP 280-344.
- Current Knowledge and Future Needs. Aquacult Res. 41: pp. 322–332.
- D. J. Randall, and J. R. Brett, editors., volume 8. Academic Press, New York. PP 280-344.
- Erna. 1996. Studi Tentang Beberapa Parameter Biologi Populasi Ikan Layang (*Decapterus ruselli* Ruppel) di Perairan Kabupaten Baru. Skripsi. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.
- Halver, J., and R. Hardy. 2002. Fish Nutrition. Third edition. Academic Press, London-New York.
- Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquaculture Research, 41(5), 770-776.
- Houlihan, D.T.Boujard and M. Jobling. 2001. Food Intake in Fish. Blacwell Science. British Library. pp.418.

<https://id.quora.com/Apa-prinsip-perbedaan-inhibitor-kompetitif-dan-nonkompetitif-pada-enzim-Bagaimana-cara-kerjanya>

I. Zidni, E. Afrianto, I. Mahdiana, H. Herawati, and I. Bangkit, “Laju Pengosongan Lambung Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) dan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*),” *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 9, no. 2, pp. 147–151, 2018.

Isa, M., Btb, T. Z., & Harris, A. (2015). Analisis proksimat kadar lemak ikan nila yang diberi suplementasi daun jalo yang dikombinasi dengan kromium dalam pakan setelah pemaparan stres panas. *Jurnal Medika Veterinaria*, 9(1).

Iskandar, R., & Fitriadi, S. (2017). Analisa Proksimat Pakan Hasil Olahan Pembudidaya Ikan di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 42(1), 65-68.

Jobling M. 1994. Food Intake in Fish. Norwegian College of Fishery Science (NFH). University of Tromso 9037 Tromso, Norway.

Kaushik, S.J and I. Seiliez . 2010. Protein and Amino Acid Nutrition and Metabolism in fish: Current Knowledge and Future Needs. *Aquacult Res.* 41: pp. 322–332. Library. pp.418.

M. Nafis, Zainuddin, and D. Masyitha. 2017. Gambaran Histologi Saluran Pencernaan Ikan Gabus (*Channa striata*) Histological of Alimentary Canal in Snakehead Fish (*Channa striata*) *Jimvet*, vol. 01, no. 2, pp. 196–202

NRC (National Research Council). (2011). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press.

- Nurhaida, R. Minasa & Syarif H.A (2022). Makanan dan Sisten Pencernaan Ikan. Univeristas Islam Negeri Alauddin Makassar
- R. A. Megawati, M. Arief, and A. M. Amin, “Pemberian Pakan Dengan Kadar Serat Kasar Yang Berbeda Terhadap Daya Cerna Pakan Pada Ikan Berlambung Dan Ikan Tidak Berlambung,” *J. Ilm. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 4, no. 2, pp. 187– 192, 2019, [Online]. Available: www.journal.uta45jakarta.ac.id
- Subandiyono dan Sri, H. 2016. Buku Ajar Nutrisi Ikan. Semarang: Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan Universitas Diponegoro.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(3), 216-229.
- Thorstad, E.B., Finstad, B., & McKinley, R.S. (2016). Energy use and growth of migrating Atlantic salmon post-smolts in coastal Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 73(4), 950-960.
- Widodo, A., Isa, M., & Armansyah, T. (2014). Analisis Proksimat Protein Dan Pertumbuhan Relatif Ikan Nila Terpapar Stres Panas Yang Diberi Kombinasi Suplemen Daun Jaloh Dengan Kromium Pada Pakan. *Jurnal Medika Veterinaria*, 8(2).
- Y. Akmal, C. Mutia Sena Devi, R. Humairani, and I. Zulfahmi, “Morfometrik Sistem Pencernaan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa SawitDigestive System Morphometrics of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Palm Oil Mill Effluent,” *J. Galung Trop.*, vol. 10, no. 1, pp. 68– 81, 2021.

- Y. Akmal, C. Mutia Sena Devi, R. Humairani, and I. Zulfahmi, "Morfometrik Sistem Pencernaan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit Digestive System Morphometrics of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Palm Oil Mill Effluent," *J. Galung Trop.*, vol. 10, no. 1, pp. 68–81, 2021.
- Agustin, N. K. Y., 2003. SEGMENTASI PASAR, PENENTUAN TARGET DAN PENETUAN POSISI. *Ekonomi Manajemen-Akuntansi*, 1(2), pp. 91-106.
- A. J. Edwards, A. C. Gill, and P. O. Abohweyere, "A revision of Irvine' marine fishes of tropical West Africa," *Darwin Initiat. Proj.*, no. March 2021, p. 178, 2001.
- I. Zidni, E. Afrianto, I. Mahdiana, H. Herawati, and I. Bangkit, "Laju Pengosongan Lambung Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) dan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 9, no. 2, pp. 147–151, 2018.
- I. Pisces, "Identifikasi Pisces,
- Y. Akmal, C. Mutia Sena Devi, R. Humairani, and I. Zulfahmi, "Morfometrik Sistem Pencernaan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit Digestive System Morphometrics of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Palm Oil Mill Effluent," *J. Galung Trop.*, vol. 10, no. 1, pp. 68–81, 2021.
- R. A. Megawati, M. Arief, and A. M. Amin, "Pemberian Pakan Dengan Kadar Serat Kasar Yang Berbeda Terhadap Daya Cerna Pakan Pada Ikan Berlambung Dan Ikan Tidak Berlambung," *J. Ilm. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 4, no. 2, pp. 187–192, 2019, [Online]. Available: www.journal.uta45jakarta.ac.id
- A. Nikhlani, "Modul Fisiologi Dan Tingkah Laku Ikan." 2021.

- M. Nafis, Zainuddin, and D. Masyitha, "GAMBARAN HISTOLOGI SALURAN PENCERNAAN IKAN GABUS (*Channa striata*) Histological of Alimentary Canal in Snakehead Fish (*Channa striata*) Muhammad Nafis 1, Zainuddin 2, DianMasyitha 2," *Jimvet*, vol. 01, no. 2, pp. 196–202, 2017.
- Nurhaida, R. Minasa & Syarif H.A (2022). Makanan dan Sistem Pencernaan Ikan. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar
- <https://id.quora.com/Apa-prinsip-perbedaan-inhibitor-kompetitif-dan-nonkompetitif-pada-enzim-Bagaimana-cara-kerjanya>
- Erna. 1996. Studi Tentang Beberapa Parameter Biologi Populasi Ikan Layang (*Decapterus ruselli* Ruppel) di Perairan Kabupaten Baru. Skripsi. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.
- Iskandar, R., & Fitriadi, S. (2017). Analisa Proksimat Pakan Hasil Olahan Pembudidaya Ikan di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 42(1), 65-68.
- Isa, M., Btb, T. Z., & Harris, A. (2015). Analisis proksimat kadar lemak ikan nila yang diberi suplementasi daun jaloh yang dikombinasi dengan kromium dalam pakan setelah pemaparan stres panas. *Jurnal Medika Veterinaria*, 9(1).
- Widodo, A., Isa, M., & Armansyah, T. (2014). Analisis Proksimat Protein Dan Pertumbuhan Relatif Ikan Nila Terpapar Stres Panas Yang Diberi Kombinasi Suplemen Daun Jaloh Dengan Kromium Pada Pakan. *Jurnal Medika Veterinaria*, 8(2).
- Hadijah, Zainuddin, Aqmal, A., & Banin, D. K. (2020). The effect of marine algae (*Gracilaria verrucosa*) formulated feed on the growth rate, survival rate and chemical composition of

abalone (*Haliotis squamata*) reared in marine submersible cages.

TENTANG PENULIS



PROF. DR. IR. HADIJAH, MSI, NIDN 0911036802, menyelesaikan studi S1 pada program studi Manajemen Sumber daya hayati, Universitas Hasanuddin, S2 pada program studi Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor tahun 2010, melanjutkan ke prodi S3 pada Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin, selesai Tahun 2020. Dosen tetap pada Program Studi Magister Budidaya Perairan, Program Pasca Sarjana

Universitas Bosowa sejak Tahun 1994. Mata kuliah yang diampuh adalah Manajemen teknologi budidaya Moluska, Avertebrata, Breeding dan Reproduksi Hewan Air, Nutrisi Ikan, Manajemen dan Teknologi Pemberian Pakan. Kegiatan penelitian dan pengabdian dilakukan sejak tahun 2000 yang membahas tentang pembuatan pakan ikan, budidaya abalone, ikan dan crustacea. Kegiatan pengabdian masyarakat konsentrasinya lebih banyak ke peningkatan kesejahteraan masyarakat, salah satunya yaitu kegiatan pembuatan pakan ikan dan udang. Hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat telah diterbitkan pada berbagai Jurnal, mulai jurnal Nasional sampai Jurnal Internasional Terindex Scopus. Beberapa diantaranya yaitu Blue swimming crab (*Portunuspelagicus*) megalopa stage seed feed enrichment with beta carotene. IOP Confrence Series Earth and Environment Science. 2021(Scopus Q4). The use of artificial feed in *Haliotissquamata* farming in sub merged cage culture system at Lae-Lae island, Makassar. Agua—An Interdisciplinary Journal of

Applied Science. 2021 (Scopus Q3). Telah menerbitkan 9 judul buku, 3 diantaranya berjudul "Mengenal abalon tropis, Biologi dan ekologi". ISBN :978-602-6928-87-0 Tahun 2017; "Pengayaan Pakan Benih Rajungan". ISBN :978-602-6928-87-0 Tahun 2021; "Manajemen Teknologi Produksi dan Media Akuakultur" ISBN : 978-623-475-068-3, Tahun 2023[]



Prof. Dr. Ir. H. Zainuddin, M.Si. dilahirkan pada tanggal 21 Juli 1964 di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan.

Penulis memperoleh gelar sarjana perikanan dari Jurusan Perikanan, Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 1989. Sejak tahun 1991, penulis diangkat sebagai tenaga pengajar pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis memperoleh gelar Magister Sains pada tahun 1998 bidang Ilmu Perairan Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor dan Doktor bidang Ilmu Pertanian Kajian Nutrisi Ikan, Program Pascasarjana, Universitas Hasanuddin Makassar yang diselesaikan pada tahun 2008. Sejak tahun 2020 penulis memperoleh jabatan akademik Profesor dalam bidang ilmu Biokimia Nutrisi Ikan. Penulis merupakan seorang peneliti dalam bidang Nutrisi Ikan dan telah memenangkan berbagai Hibah Penelitian dari Dikti diantaranya Hibah Fundamental, Hibah Bersaing, Hibah Stranas, Hibah MP3EI dan Hibah Unggulan Perguruan Tinggi. Penulis mendapatkan penghargaan Satya Lencana 30 tahun dari Presiden Republik Indonesia pada tahun 2023. Saat ini penulis mengampu mata kuliah Metode Penelitian pada level S1, S2 dan S3 di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan serta mata kuliah lainnya seperti Statistika, , Biokimia Nutrisi, Teknologi dan Manajemen Pakan S1 dan S2, Budidaya Udang, Budidaya Ikan Laut, Aquabisnis, Metode dan Rancangan

Percobaan dan Dasar-Dasar Budidaya Perairan. Penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Jurusan Perikanan tahun 2002-2006, 2011-2013, tahun 2015-2022 sebagai Ketua Program Studi Magister Ilmu Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. Sejak tahun 2022 hingga sekarang menjabat sebagai Wakil Dekan Bidang Perencanaan, Sumberdaya dan Alumni Fakultas Vokasi Universitas Hasanuddin. Telah menerbitkan buku yang berjudul:

- 1) Nutrisi dan Metabolisme Ikan Kerapu Macan, 2016
- 2) Dasar-Dasar Akuakultur, 2022
- 3) Manajemen Teknologi Produksi dan Media Akuakultur, 2023

Untuk korespondensi penulis dapat dihubungi melalui email zainuddinlatief@gmail.com. []



Sri Muliani Wahdaningsih, S.Pi., tempat dan tanggal lahir Beringin Jaya 17 Januari 2000, penulis lahir dari orang tua bernama Ir. H. Muhammad M, Si dan Hj. Norma sebagai anak ke dua dari dua bersaudara. Tempat tinggal saat ini Sudiang, Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Penulis menempuh pendidikan mulai dari Madrasah Ibtidaiyah

Swasta (MIS) Lara 1 Desa Beringin Jaya, melanjutkan di UPT SMP Negeri 2 Masamba (*Lulus tahun 2015*), kemudian melanjutkan di UPT SMA Negeri 8 Luwu Utara (*Lulus tahun 2018*), dan melanjutkan pendidikan di Program studi Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia (*Lulus tahun 2022*), saat ini penulis sedang

menempuh pendidikan Magister Budidaya Perairan di Pascasarjana Universitas Bosowa []



Muliati Sehe, S.Pi, lahir di Bone 29 Juli 1972, Alamat sekarang Desa Kabba RT.1/RW4 Kec. Minasatene Kab. Pangkep, Sulawesi Selatan.

Riwayat Pekerjaan, PNS tenaga Staf pada kantor KIPPK (Kantor Informasi Penyuluh Pertanian dan Kehutanan Pangkep (2008-2011), beralih jadi Penyuluh pada kantor Badan Ketahanan

Pangan (2012-2015) selanjutnya beralih jadi Penyuluh Perikanan Kementerian Kelautan dan Perikanan (2016-sekarang).

Penulis menempuh Pendidikan mulai dari SDN No 8 Watampone (1985) SMPN 2 watampone (1988), Madrasah Aliyah Watampone (1991), S1 Jurusan Perikanan Fakultas pertanian di Universitas “45” ujung pandang (1997) . Selanjutnya penulis menempuh Pendidikan Mangister (S2) Jurusan Budidaya Perairan di Pasca Sarjana Universitas Bosowa Makassar.(2023- sekarang) []



NAMA : HASNAH, S.Pi
TANGGAL LAHIR : GOWA, 11 NOPEMBER 1976
ALAMAT : BONTORAMBA KEC. PALLANGGA
KAB. GOWA
PEKERJAAN : - PNS PADA DINAS PERIKANAN DAN
KELAUTAN KAB. GOWA (2009-2010)

PENDIDIKAN

- PENYULUH PERIKANAN KKP-RI
UNTUK KAB. GOWA (2011-
SEKARANG)
- : - S1 JURUSAN PERIKANAN
UNIVERSITAS MUSLIM
INDONESIA (TAHUN 1996- 2001)
- S2 JURUSAN BUDIDAYA
PERAIRAN UNIVERSITAS
BOSOWA (TAHUN 2023-
SEKARANG)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Hadasiah, S.Pi dilahirkan di Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 31 Desember 1978. Lulus dari Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan Jurusan Perikanan Budidaya pada tahun 1999 dengan gelar Diploma III Ahli Madya Perikanan (A.Md.Pi) yang kemudian melanjutkan pendidikan S1 Jurusan Budidaya Peraian di Universitas Muhammadiyah Makassar pada Tahun 2008 dengan gelar Sarjana Perikanan (S.Pi), dan pada Tahun 2023 terdaftar sebagai Mahasiswa Pascasarjana Program Study Budidaya Perairan di Universitas Bosowa Makassar

Memulai karir sebagai Pegawai Negeri Sipil Daerah pada Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2007- 2015), kemudian pada Tahun 2015 sampai sekarang sebagai Penyuluh Perikanan pada Kementerian Kelautan dan Perikanan, Satminkal BRPBAPPP Maros yang bertugas di Kabupaten Takalar.



Fitriani, S.Pi, lahir di Kabupaten Jeneponto Provinsi Sulawesi Selatan pada Tanggal 6 Juni 1985 anak pertama dari pasangan Bapak Siradjang Munir dan Ibu Hj. Kamaria. Lulus dari Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Program Studi Budidaya Perairan Universitas Hasanuddin pada tahun 2008 dengan gelar Sarjana Perikanan (S.Pi). dan saat ini dalam tahap penyelesaian study Magister Budidaya perairan di Universitas Bosowa. Memulai karir sebagai Aparatur Sipil Negara (ASN) pada dinas perikanan dan kelautan Kabupaten Bone pada tahun 2010, dan pengalihan menjadi ASN pada Kementerian Kelautan dan Perikanan pada Tahun 2017 sebagai Penyuluh Perikanan dengan Jabatan Fungsional Penyuluh Perikanan Muda yang ditempatkan di wilayah Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan Pada Satminkal BRPBAPP Maros hingga saat ini. []



Miftahul Jannah R, S.Pi., lahir di Pinrang 30 oktober 1997. Ia adalah anak keempat dari empat bersaudara. Saat ini penulis berdomisili di desa Pincara, kecamatan Patampanua Kabupaten Pinrang, provinsi Sulawesi selatan. Semasa hidupnya, penulis pernah menempuh pendidikan di SDN 113 Patampanua, SMPN 1 Patampanua, SMAN 11 Pinrang dan merupakan alumni Universitas Hasanuddin jurusan perikanan prodi sosial ekonomi perikanan. Semasa kuliah penulis

aktif mengikuti kegiatan PKM-P dan organisasi tingkat jurusan. Saat ini penulis sedang melanjutkan pendidikan magister di Universitas Bosowa program studi budidaya perikanan.[]



Risymayanti, S.Pi, lahir di Makassar, 2 Agustus 1983, sudah menikah, beragama Islam, tinggal di Manjalling Desa Boddia, Kecamatan Galesong Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Mwnwmpuh Pendidikan mulai di SDN Galesong I Kabupaten Takalar tammat tahun 1996, SLTP Negeri 2 Galesong Selatan dan tammat tahun 1999, lanjut di SMU negeri 1 Bajeng Kabupaten Gowa dan tammat Tahun 2002. Kuliah di Politeknik Pertanian Negeri Pangkep dan tamat Tahun 2008, lanjut program Sarjana pada Universitas Muslim Indonesia (UMI) dan tamat tahun 2013. Saat ini kuliah pada Program Pasca Sarjana Universitas Bosowa sejak Tahun 2023 sampai sekarang.[]



NAMA : AWALUDDIN ARIF, S.Pi
TANGGAL LAHIR : LENGKESE, 21 DESEMBER 1976
ALAMAT : BONE-BONE 1 KEL.
MARADEKAYA KEC.
PATTALLASSANG KAB. TAKALAR

- PEKERJAAN : - PNS PADA DINAS PERIKANAN DAN KELAUTAN KAB. TAKALAR (2007-2014)
 - PENYULUH PERIKANAN KKP-RI UNTUK KAB. TAKALAR (2014-SEKARANG)
- PENDIDIKAN : - S1 JURUSAN PERIKANAN UNIVERSITAS HASANUDDIN (TAHUN 1994- 2001)
 - S2 JURUSAN BUDIDAYA PERAIRAN UNIVERSITAS BOSOWA (TAHUN 2023-SEKARANG)



Asriati, S.Pi dilahirkan di Kabupaten Takalar Propinsi Sulawesi Selatan Pada Tanggal 06 Maret 1979. Lulus dari Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan pada tahun 2002 dengan gelar Sarjana Perikanan (S.Pi). Memulai karir sebagai tenaga honorer pada Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Takalar pada tahun 2002 dan kemudian terangkat menjadi PNS Daerah pada tahun 2009. Pada Tahun 2017 dialihkan menjadi Pegawai Negeri pada Kementerian Kelautan dan Perikanan sebagai Penyuluh Perikanan dengan Jabatan Fungsional Penyuluh Perikanan Muda yang ditempatkan di wilayah Kabupaten Takalar Propinsi Sulawesi Selatan Pada Satminkal BRPBAPP Maros hingga saat ini. []



Hesbert Siahaya, S.Pi, tempat dan tanggal lahir Hulaliu 21 Juni 1981 Maluku Tengah, Alamat Dusun Soa Utara Desa Londoun Kec.Popayato Timur Kab. Pohuwato Provinsi Gorontalo. Riwayat Pekerjaan:

1. Tahun 2006- 2007 di PT. Bangkit Santia Marga di Rawajitu Lampung Selatan Provinsi Lampung Sebagai Kepala Personalia
2. Tahun 2007-2010 di PTProteina Prima TBK (Aruna Wijaya Sakti EX. Dipasena Citra Darmaja) Sebagai Quality Control (QC) Food Product dan QC in Line di Rawajitu Lampung Selatan Provinsi Lampung
3. Tahun 2010 di PT. First Marine SeaFood sebagai SpV. Quality Control Jakarta Utara
4. Tahun 2010 -Sekarang di SMK Negeri 1 Popayato Kab. PohuwatoProvinsi Gorontalo sebagai ASN Guru Kompetensi Keahlian Agribisnis Perikanan.

Penulis menempuh Pendidikan mulai dari SDN 1 Hulaliu (1993) SMPN Hulaliu Maluku Tengah (1993),SMU Negeri 6 Manado (2000), S1 diFakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Samratulangi Manado Sulawesi Utara Ps. Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan (PSP) Selanjutnya penulis menempuh Pendidikan pada Program Studi Magister (S2) Pasca Sarjana Universitas Bosowa Makassar (2023- sekarang).