

PAKAN ORGANIK DAN METABOLISME PADA PUYUH



Tyas Rini Saraswati
Silvana Tana
Sri Isdadiyanto

PAKAN ORGANIK DAN METABOLISME PADA PUYUH

**Tyas Rini Saraswati
Silvana Tana
Sri Isdadiyanto**

2018

KATA PENGANTAR

Burung puyuh berpotensi dikembangkan untuk produksi telur dan daging. Salah satu faktor penting dalam produksi burung puyuh adalah pakan, yang merupakan kebutuhan dasar setiap ternak. Pakan puyuh yang berkualitas dan mengandung gizi yang komplit dapat meningkatkan produksi secara maksimal. Kelengkapan nutrisi makro dan mikro dalam pakan akan dimetabolisme untuk produksi telur sehingga berpengaruh terhadap performa dan produktivitas burung puyuh. Pakan yang baik adalah pakan yang mampu memenuhi kebutuhan nutrisi puyuh, dalam aplikasinya sering ditambahkan *feed additive*. *Feed additive* yang ditambahkan dalam pakan ditujukan untuk membantu proses pencernaan dan absorpsi zat makanan, membantu proses metabolisme, untuk pencegahan penyakit dan kesehatan puyuh, serta memperbaiki kualitas produksi. Salah satu jenis *feed additive* yang sering digunakan adalah vitamin dan mineral. Vitamin dan mineral merupakan unsur nutrisi yang sangat penting bagi proses metabolisme. Defisiensi suatu vitamin dan mineral jarang menyebabkan kematian, namun dapat menghambat proses metabolisme sehingga dapat menurunkan produktivitas.

Pakan organik adalah pakan yang diproduksi dan diproses secara konvensional menggunakan bahan organik. Beberapa bahan pakan lokal yang keberadaannya melimpah dapat dipakai sebagai bahan pakan organik. Pembuatan pakan puyuh organik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada berupa daun singkong (*Monihot utilisima*), limbah padi yang berupa dedak, jagung kuning, bungkil kedelai, tepung ikan, tepung tulang. Pembuatan pakan organik ini sudah tentu mempunyai nilai ekonomis dibandingkan dengan pakan komersial. Pembuatan pakan organik selain lebih murah juga mengandung nutrisi yang sangat baik untuk pertumbuhan, perkembangan dan produksi telur organik. Telur organik yang dihasilkan juga mengandung gizi yang tinggi. Telur organik mempunyai kandungan protein yang lebih tinggi, mengandung kolesterol HDL yang tinggi, tetapi rendah kadar LDL. Telur organik juga mengandung asam lemak esensial yang tinggi berupa EPA dan DHA dan sangat baik untuk dikonsumsi.

Daun singkong merupakan sumber provitamin A yang merupakan precursor untuk pembentukan β -karoten, sehingga telur yang diproduksi oleh puyuh yang menggunakan substitusi daun singkong dalam pakan akan menghasilkan telur yang kaya β -karoten. Daun singkong kaya akan protein (14-40% berat kering), mineral, vitamin B1, B2, C dan karoten. Tepung daun singkong dapat ditambahkan dalam pakan sebanyak 5% memberikan pengaruh yang terbaik terhadap kualitas kuning telur itik, menghasilkan warna kuning telur dengan skor

7.5 Tepung Jagung Kuning mengandung energi sebesar 355 kilo kalori, protein 9,2 gram, karbohidrat 73,7 gram, lemak 3,9 gram, kalsium 10 miligram, fosfor 256 miligram, dan zat besi 2 miligram. Selain itu di dalam Tepung Jagung Kuning juga terkandung vitamin A sebanyak 510 IU, vitamin B1 0,38 miligram. Dedak padi merupakan sisa dari penggilingan padi. Maksimal pemberian dedak padi pada ransum adalah 20%. Tepung ikan diharapkan menjadi pendukung dari unsur pakan puyuh karena nilai proteinnya sekitar 30%-40%. Bungkil kedelai merupakan limbah pembuatan minyak kedelai, mempunyai kandungan protein \pm 42,7% dengan kandungan energi metabolisme sekitar 2240 Kkal/Kg, kandungan serat kasar rendah, sekitar 6%, kandungan methionin rendah. Penggunaan bungkil kedelai dalam ransum dianjurkan tidak melebihi 40%. Tepung tulang merupakan sumber Ca dan P. Tepung tulang banyak mengandung kalsium yang berperan dalam pembentukan tulang dan sendi. Kalsium bagi puyuh juga mampu menjaga keroposan akibat asupan kalsium yang minim dari pakan yang biasa diberikan. Di dalam ransum cukup diberikan sebanyak 1%. Penambahan serbuk kunyit dalam pakan organik puyuh jepang (*Coturnix japonica*) diharapkan mampu mengoptimalkan proses metabolisme dan fungsi hati dalam mensintesis bahan pembentuk kuning telur, yang akan terdistribusi ke ovarium untuk perkembangan folikel ovarium dan terakumulasi sebagai kuning telur.

Semarang, November 2018

Penulis

Dr. Tyas Rini Saraswati, M.Kes

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	hal iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR TABEL	v
PENDAHULUAN	1
PAKAN	
PAKAN ORGANIK	14
SISTEM DIGESTI PADA PUYUH	40
DIGESTI DAN METABOLISME PAKAN PADA PUYUH	53
DIGESTI MIKROBIOLOGIS/ FERMENTATIF PADA PUYUH	58
KARBOHIDRAT	58
Digesti, absorpsi, transportasi, dan metabolisme karbohidrat	
PROTEIN	62
Digesti, absorpsi, transportasi, dan metabolisme Protein	
Daur urea	
LIPID	75
Digesti, absorpsi, transportasi, dan metabolisme Lemak	
VITAMIN	88
Absorpsi, transportasi dan metabolisme vitamin A	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme vitamin D	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme vitamin E	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme vitamin K	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme vitamin C	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme vitamin B12	
MINERAL	122
Absorpsi, transportasi dan metabolisme Ca	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme P	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme Cu	
Absorpsi, transportasi dan metabolisme Zn	
AIR : Metabolisme air pada puyuh	144
DAFTAR PUSTAKA	149

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Asam lemak yang banyak ditemukan dalam Lipid	9
Tabel 2. Hasil analisis kandungan asam lemak pada telur puyuh organik	10
Tabel 3. Cara penyusunan formula pakan puyuh organik standar	15
Tabel 4. Cara penyusunan formula pakan puyuh organik standar +tepung ikan kembung+tepung daun singkong + tepung kunyit	15
Tabel 5. Cara penyusunan formula pakan puyuh organik standar +tepung ikan kembung +tepung daun singkong + tepung kunyit	15
Tabel 6: Hasil analisis proksimat pakan komersial dan pakan organik	20

PAKAN

Pertumbuhan puyuh sangat dipengaruhi oleh asupan gizi yang ada pada pakan. Zat gizi pada pakan berupa protein, karbohidrat, lemak, vitamin dan mineral. Zat tersebut biasanya terdapat dalam pakan yang dikonsumsinya atau dapat disintesis sendiri dalam tubuh. Berdasarkan pada kebiasaan makan, puyuh akan memilih makanan sesuai dengan kebutuhannya. Dalam memilih makanan puyuh lebih mengandalkan indra penglihatan, berbeda dengan ruminansia yang mengandalkan penciuman dari pada penglihatannya.

Pakan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok, pertumbuhan, pemeliharaan panas tubuh dan produksi. Pakan yang diberikan harus memberikan zat pakan (nutrisi) yang dibutuhkan, sehingga pertambahan berat badan per hari (Average Daily Gain/ADG) tinggi. Efisiensi pakan dinyatakan dalam perhitungan FCR (Feed Conversion Ratio).

ZAT ZAT PADA PAKAN DAN ENERGI UNTUK PUYUH

KARBOHIDRAT

Karbohidrat (KH) sebagai sumber energi utama bagi puyuh. Karbohidrat merupakan senyawa organik yang tersusun oleh 3 unsur utama yaitu C:H:O perbandinganya 1:2:1. Beberapa karbohidrat memiliki unsur tambahan seperti unsur sulfur (S), nitrogen (N) dan fosfor (P).

Klasifikasi Karbohidrat

1. Berdasarkan jumlah gugus gula (sakarida) yang menyusunnya :
 - a. Monosakarida : satu unit/ gugus gula. Seperti: triosa, tetrosa, pentosa, hexosa (glukosa, fruktosa, dan galaktosa), heptosa.
 - b. Oligosakarida : dua atau lebih gugus gula, seperti: disakarida (sukrosa, maltosa, dan laktosa), trisakarida, tetrasakarida, pentasakarida.
 - c. Polisakarida : banyak gugus gula, seperti: homopolisakarida (amilum dan glikogen), heteropolisakarida (glikoprotein)
2. Berdasarkan gugus fungsinya : aldehyd-aldosa, keton-ketosa

Jenis karbohidrat yang bisa dimanfaatkan unggas adalah :

Monosakarida :

Contoh: - Gula dengan 5 atom C (arabinosa, ribosa, dan xylosa)

- Gula dengan 6 atom C (glukosa, fruktosa, galaktosa dan mannososa)

Disakarida:

Terdiri 2 monosakarida yang berikatan: laktosa, sukrosa, maltosa dan mengandung ikatan glikosidik.

Contoh - Sukrosa (glukosa + fruktosa)

- Laktosa (glukosa + galaktosa)

- Maltosa (glukosa + glukosa)

- iso-maltosa (glukosa + glukosa)

Polisakarida:

Gula yang disusun oleh banyak molekul monosakarida, biasanya lebih dari 10.

Contoh: - pati, pentosa, hemiselulosa, glikogen

Polisakarida bukan pati (Non-Strach Polysacharide = Nsp)

a. Polisakarida bukan pati tak larut air. Contoh : selulosa, hemiselulosa, lignin dan pectin

b. Polisakarida bukan pati larut air. Contoh : arabinoxylan atau pentosan

Oligosakarida :

Raffinosa, stachyosa, verbaskosa. Ketiga karbohidrat ini banyak terdapat pada kacang kedelai.

Bahan pakan sumber karbohidrat untuk unggas :

- Biji- bijian/ sereal : jagung, gandum, padi, barley, sorghum.

- Batang : sagu

- Umbi- umbian : ubi kayu, ubi talas, ubi jalar dan lain lain

Fungsi Karbohidrat pada Puyuh

Karbohidrat mutlak diperlukan sebagai sumber energi utama pada pakan puyuh.

Fungsi karbohidrat dalam pakan untuk :

- Sumber energi
- Penggunaan karbohidrat dapat mengefisienkan penggunaan protein sebagai sumber energi.
- Karbohidrat bermanfaat sebagai zat pengikat antar partikel-pertikel
- Penyusun ransum yang dapat meningkatkan stabilitas pellet.
- Karbohidrat dapat meningkatkan palatabilitas pakan.

Penggunaan Karbohidrat pada Puyuh

Puyuh adalah unggas yang merupakan jenis ternak monogastrik. Efisiensi penggunaan karbohidrat sebagai nutrisi pada ternak monogastrik tergantung kepada jenis ternaknya. Aktivitas enzim selulolitik dalam proses pencernaan puyuh sangat rendah, sehingga kemampuan menghidrolisis atau mencerna karbohidrat sangat terbatas, oleh karena itu tidak semua sumber energi dari karbohidrat potensial dipergunakan oleh puyuh. Misalnya selulosa merupakan serat kasar dalam bahan makanan yang tidak dapat dicerna oleh pencernaan puyuh, sehingga selulosa tidak esensial pada ransum puyuh.

Pati adalah jenis karbohidrat yang menjadi sumber energi terbesar pada puyuh. Jagung mengandung pati yang merupakan sumber energi paling murah untuk penyusunan ransum puyuh. Butir-butiran dan biji-bijian juga merupakan sumber energi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pakan unggas dengan tinggi karbohidrat dapat menurunkan pertumbuhan dan menaikkan akumulasi glikogen pada hati. Efisiensi penggunaan karbohidrat sebagai nutrisi pada puyuh dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- Jenis karbohidrat : polisakarida dan disakarida mempunyai efek yang lebih menguntungkan terhadap pertumbuhan daripada monosakarida.
- Pemberian karbohidrat dalam jumlah terbatas akan berefek menguntungkan terhadap kemampuan mencerna karbohidrat tersebut.
- Penggunaan karbohidrat jenis selulosa dan hemiselulosa pada keadaan yang berlebihan akan mengurangi pertumbuhan dan efisiensi pakan.

PROTEIN

Protein merupakan salah satu zat makanan yang sangat dibutuhkan oleh puyuh terutama untuk tujuan produksi, karena protein ini setelah dimetabolisme dalam tubuh, dicerna dan diserap, maka akan didapatkan hasil akhir yang merupakan hasil produksi (output) seperti telur dan daging. Peranan protein sangat penting dalam tubuh puyuh, tidak saja sebagai penentu kualitas produksi, tapi juga untuk keperluan hidup pokok, aktivitas dan kebutuhannya disesuaikan dengan kemampuan puyuh tersebut dalam mengkonsumsi protein.

Protein pada pakan unggas diberikan sesuai kebutuhannya. Puyuh memiliki sistem monogastrik dan tidak mempunyai kemampuan untuk mensintesa protein

sendiri, maka protein berasal dari pakan yang dikonsumsi. Kebutuhan tersebut bisa dihitung berdasarkan kebutuhan untuk hidup pokok atau produksi.

Komposisi dan Struktur Protein

Protein adalah senyawa organik kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi. Seperti halnya karbohidrat dan lemak, protein mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen. Umumnya protein mengandung 16% unsur N dan kadang-kadang mengandung unsur fosfor atau sulfur. Protein mempunyai struktur dasar yang berbeda dari makromolekul biologi penting lainnya seperti karbohidrat dan lemak. Karbohidrat dan lemak mempunyai struktur dasar yang disusun oleh unit-unit yang sama atau pengulangan unit yang sama (misalnya pengulangan unit glukosa dalam pati, glikogen dalam selulosa), sedangkan protein mempunyai lebih dari 100 unit dasar penyusun yang berbeda. Unit dasar penyusun protein adalah asam-amino. Dengan demikian protein dapat tersusun oleh berbagai variasi rangkaian asam-amino.

Sifat Kimia Protein

Di alam protein ditemukan dalam bentuk koloid, kelarutan protein di dalam air berbeda-beda, mulai dari yang tidak larut dalam air (keratin) sampai yang mempunyai kelarutan tinggi dalam air (albumin). Protein dapat terdenaturasi oleh panas, asam kuat, alkali, alkohol, aseton, urea dan garam dari logam berat. Denaturasi adalah proses yang mengubah struktur molekul tanpa memutuskan ikatan kovalen. Denaturasi biasanya diikuti dengan hilangnya aktivitas biologi dan perubahan yang pada beberapa sifat fisika dan kimia.

Protein yang mengalami denaturasi akan kehilangan strukturnya dan karena itu sifat-sifat kimia, fisik dan biologi yang dimilikinya akan berubah. Contoh dalam kasus ini adalah enzim yang dinaktifkan oleh panas.

Fungsi Protein pada puyuh

Fungsi protein pada puyuh adalah sebagai berikut :

- a. Sebagai zat pembangun, protein berfungsi untuk memperbaiki kerusakan jaringan dan untuk membangun jaringan baru.
- b. Protein dapat mengalami katabolisme menjadi sumber energi atau sebagai substrat penyusun jaringan karbohidrat dan lemak.
- c. Protein secara fungsional diperlukan dalam tubuh untuk penyusun hormon, enzim dan substansi biologis penting lainnya seperti antibodi dan hemoglobin.

Kebutuhan protein untuk puyuh yang sedang tumbuh

Perhitungan kebutuhan protein per hari pada puyuh yang sedang tumbuh :
Kebutuhan protein per hari untuk puyuh yang sedang tumbuh dapat dibagi menjadi 3 bagian :

1. Protein yang diperlukan untuk pertumbuhan jaringan.
2. Protein untuk hidup pokok
3. Protein untuk pertumbuhan bulu

Kebutuhan Protein pada puyuh

Puyuh periode starter dan grower membutuhkan protein terutama untuk pertumbuhan, sedangkan pada masa layer dibutuhkan untuk produksi telur. Produksi telur dapat diatur melalui konsumsi makanannya. Hal ini menunjukkan bahwa pakan memegang peranan penting dalam proses produksi telur. Protein yang dikonsumsi puyuh mempengaruhi besarnya telur. Lebih kurang 50% dari bahan kering telur adalah protein, maka penyediaan asam-asam amino untuk sintesis protein adalah untuk produksi telur.

Kebutuhan protein untuk puyuh petelur dipengaruhi oleh : tingkat penyakit, kandungan energi dalam ransum, cekaman akibat keadaan lingkungan yang berbeda dan kualitas protein yang terkandung dalam ransum. Kebutuhan puyuh akan protein dinyatakan dengan persentase protein dalam makanan. Dengan bertambahnya umur puyuh akan menyimpan protein lebih rendah dalam tiap pertambahan berat badannya dibandingkan puyuh muda. Hasil penelitian pada puyuh yang diberi pakan dengan protein sampai 24 % justru malah menurunkan produktivitas telur. Hasil penelitian oleh Saraswati et al (2013) menunjukkan bahwa produktivitas telur pada puyuh yang diberi pakan dengan rasio karbohidrat lebih tinggi lebih baik dari pada yang diberi pakan dengan protein tinggi.

Masalah pakan puyuh khusus petelur memang harus memenuhi kualitas dan kuantitas pakan itu sendiri sehingga pengaruhnya sangat nyata terhadap produksi telur. Nutrisi pakan harus mencukupi kebutuhan hidup puyuh petelur, produksi telur adalah produk akhir dari aktifitas metabolisme hidup puyuh artinya: setelah terpenuhi kebutuhan hidup pokok, baru kemudian nutrisi yang ada baru

dimetabolismekan untuk produksi telur. Syarat kandungan nutrisi pakan puyuh harus memenuhi Standar Nasional Indonesia.

Protein min 20%

lemak 5%

serat max 6%

Calcium 3 – 3.5%

Phosphor 0.5 – 0.7%

EM (Energi metabolis) 2600-2700 kkal/kg.

Jenis bahan baku yang dipakai sangat menentukan terhadap jumlah produksi telur yang dihasilkan. Setiap bahan baku pakan mempunyai nilai pencernaan (digestibility), antinutrisi, defisiensi zat tertentu, dll. Secara umum: jumlah produksi dan atau besar kecilnya telur puyuh sangat ditentukan oleh jumlah asupan zat nutrisi (protein, lemak, energi metabolis, air), Breed/strain, umur.

Defisiensi Protein

Tanda-tanda defisiensi protein atau asam amino esensial yaitu: defisiensi ringan dapat menyebabkan pertumbuhan menurun sesuai dengan derajat defisiensinya. Defisiensi protein dalam jumlah banyak atau defisiensi asam amino esensial menyebabkan segera berhentinya pertumbuhan dan kehilangan pertumbuhan rata-rata sebesar 6-7% dari berat badan per hari.

Kelebihan Protein

Tanda-tanda kelebihan protein atau asam amino esensial yaitu: meskipun semua asam amino esensial seimbang, kelebihan protein dapat mengakibatkan penurunan pertumbuhan yang ringan, penurunan penimbunan lemak tubuh, kenaikan tingkat asam urat dalam darah, litter menjadi basah karena banyak konsumsi air minum, kelenjar adrenal membesar dan meningkatnya adrenocortocosteroid.

LIPID

Berdasarkan kelarutannya lipid mempunyai sifat tidak larut dalam air, namun larut dalam pelarut organik seperti kloroform, benzena, dan ether. Lipid yang berperan penting dalam nutrisi adalah lemak dan minyak. Lemak tersimpan

dalam tubuh hewan, sedangkan minyak tersimpan dalam jaringan tanaman sebagai cadangan energi.

Fungsi Umum Lipid

1. Lipid merupakan sumber energi metabolik dalam pembentukan ATP. Lipid sangat kaya energi. Perbandingan nilai energi lipid dengan zat-zat gizi adalah sebagai berikut :

Lipid 9,5 kkal/g

Protein 5,6 kkal/g

Karbohidrat 4,1 kkal/g

Pada puyuh lipid dapat digunakan sebagai pengganti protein untuk pertumbuhan, karena lipid dalam bentuk trigliserida dapat diubah menjadi asam lemak bebas dan dipakai sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi metabolik dalam otot.

2. Lipid adalah komponen penyusun membran sel dan membran organela sel, yang bersifat sebagai pemelihara integritas membran sel. Lipid yang termasuk dalam kelompok ini adalah asam lemak polyunsaturated/PUFA yang mengandung fosfolipid dan ester sterol.
3. Lipid berperan sebagai transportir vitamin A, D, E dan K.
4. Lipid adalah sebagai sumber asam lemak esensial,
5. Sebagai prekursor hormon-hormon sex seperti prostaglandin, hormon endrogen, estrogen.
6. Lipid berfungsi sebagai pelindung organ tubuh yang vital.
7. Lipid sebagai sumber steroid, yang sifatnya meningkatkan fungsi-fungsi biologis yang penting Contoh : Sterol (kolesterol) dilibatkan dalam sistem pemeliharaan membran, untuk transpor lipid dan sebagai prekursor vitamin D₃ asam empedu dan, adrenal dan kortikosteroid).

Lemak dan Minyak (*Fat dan Oil*)

Lipid sebagai nutrisi disebut lemak kasar yaitu semua bahan baik makanan ataupun jaringan yang dapat diekstraksi dengan eter. Ekstrak eter yang selanjutnya disebut lemak, yang disebut dengan trigliserida atau ester lemak murni dari gliserol. Perbedaan lemak dan minyak adalah minyak dalam suhu kamar berbentuk cair sedangkan lemak berbentuk semi padat. Lemak nabati dan lemak

hewan kebanyakan merupakan lemak netral. Meskipun demikian bahan-bahan nabati selain biji-bijian umumnya mengandung banyak sekali lipida kompleks dan pigmen-pigmen yang dapat diekstraksi dengan eter, tetapi tidak menghasilkan energi. Baik pada tanaman maupun hewan, cadangan energi dapat pula disimpan dalam bentuk lemak atau minyak.

Asam Lemak

Klasifikasi dan Struktur Asam Lemak

Sebagian besar penyusun lipid adalah asam lemak. Di alam terdapat lebih dari 100 asam lemak, namun yang berperan sebagai nutrisi terutama dalam bentuk lemak. Asam-asam lemak terdiri dari sebuah gugusan tunggal COOH dan sebuah rantai karbon lurus tidak bercabang dengan formula umum $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$, misalnya :

$n = 0$ adalah asam asetat

$n = 1$ adalah asam propionat

$n = 2$ adalah asam butirat dan seterusnya sampai $n = 24$; dan dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

1. Asam lemak *saturated* (jenuh) yaitu asam lemak dengan ikatan tunggal atau tidak ada ikatan rangkap. Penamaannya menggunakan akhiran -anoic atau -anoat. Formulasinya adalah: $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$
2. Asam lemak *unsaturated* (tak jenuh) yang mengandung ikatan rangkap, terdiri dari :
 - Ikatan rangkap tunggal yang disebut dengan asam lemak mono unsaturated. Penamaannya menggunakan akhiran -dienoic atau -dienoat.
 - Lebih dari satu ikatan rangkap yang disebut asam lemak polyunsaturated (PUFA). Penamaannya menggunakan akhiran -trienoic (3 ikatan rangkap) atau -trienoat, dsb. Tingkat kejenuhan berpengaruh terhadap sifat-sifat fisik dan susunan lemak. Asam lemak *unsaturated* lebih reaktif dan mempunyai titik cair lebih rendah dibandingkan asam lemak *saturated*. Lokasi ikatan rangkap pada rantai karbon dari asam lemak *unsaturated* menyebabkan perbedaan besar bagaimana asam lemak tersebut dimetabolisme. Kelompok asam lemak *polyunsaturated* (PUFA) dapat dibagi kedalam 3 kelompok besar yaitu seri oleic (C -9), seri linoleic (C -6) dan seri linolenic (C -3), ketiga jenis asam lemak tersebut merupakan anggota kelompok dengan rantai

terpendek, sedangkan jenis asam lemak yang lain diturunkan dari ketiga kelompok tersebut. C-9 artinya ikatan rangkapnya terletak pada C ke C -9 dan kelipatannya. Asam lemak saturated dan unsaturated serta penulisannya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Asam lemak yang banyak ditemukan dalam Lipid

Asam	Formula	Simbol	Titik cair
Saturated			
Butirat (butanoic)	C ₄ H ₈ O ₂	C ₄ :0	-4.3
Caproic (Hexanoic)	C ₆ H ₁₂ O ₂	C ₆ :0	-2
Caprilat (octanoic)	C ₈ H ₁₆ O ₂	C ₈ :0	16.5
Caprat (decanoic)	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	C ₁₀ :0	31.4
Laurat (dodecanoic)	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	C ₁₂ :0	44
Myristat (tetradecanoic)	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	C ₁₄ :0	58
Palmitat (hexadecanoic)	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	C ₁₆ :0	63
Stearat (octadecanoic)	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	C ₁₈ :0	71.5
Unsaturated			
Palmitoleat	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C16:1	1.5
(hexadecenoic)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:1w9	16.3
Oleat (octadecenoic)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:2w6	16.3
Linoleat	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:2w3	16.3
(octadecacenoic)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C20:4w6	16.3
Linolenat			
(hexadecacenoic)			
Arakidonat			
(eicosatetraecenoic)			

Asam Lemak Esensial

Asam lemak dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu asam lemak esensial dan asam lemak non esensial. Asam lemak esensial adalah asam lemak yang harus disediakan dalam makanan, karena hewan tidak mampu untuk mensintesisnya. Asam lemak tersebut berasal dari asam lemak dari seri linoleic (seri C -6) dan linolenic (C -3). Perbedaan asam lemak esensial pada pakan hewan dan ikan adalah:

- Pada hewan, C -6 (linoleat) mempunyai aktivitas asam lemak esensial yang sangat penting, sedangkan C -3 (lenolenic) hanya mempunyai aktivitas asam lemak esensial yang parsial. Asam lemak PUFA (*polyunsaturated fatty acid*)

yang dominan dalam jaringan hewan adalah seri linoleic, yaitu asam linoleic (asam linoleat) 18:2 C-6 dan asam arakidonat 20:4 C -6.

- Pada jaringan ternak unggas, PUFA yang dominan adalah linoleic (C-6). Konsentrasi PUFA C-3 dalam jaringan daging unggas umumnya rendah.

Kandungan asam lemak esensial pada pakan puyuh organik

Tabel 2. Hasil analisis kandungan asam lemak pada telur puyuh organik

Komposisi dan kandungan asam lemak telur puyuh organik	P0	P1	P2	P3
	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g
A. Saturated fatty acid	Tt	tt	tt	tt
1 Caprylic acid (C8:0)	Tt	tt	tt	tt
2 Capric acid (C10 : 0)	tt	tt	tt	tt
3 Lauric acid (C 12 : 0)	tt	tt	tt	tt
4 Myristic acid (14 : 0)	42	32	28	38
5 Pentadekanoic acid (C 15 : 0)	tt	tt	tt	tt
6 Palmitic acid (C 16 : 0)	2410	2347	2019	2340
7 Stearic acid (C 18 : 0)	1312	1380	1228	1399
8 Arachidic acid (C 20 : 0)	9	11	7	11
9 Dodekanoic acid (C 22 : 0)	tt	tt	tt	tt
Total saturated fatty acid	3773	3770	3282	3788
B. Non-Saturated fatty acid				
1 Myristoleic acid (C 14 : 1)	8	7	7	8
2 Palmitoleic Acid (C 16 : 1, n-7)	486	524	479	514
3 Oleic acid (C 18: 1, n-9)	4004	4238	3507	4142
4 Linoleic acid (C 18 : 2, n-6)	1454	1306	953	1161
5 α - linoleic acid (C 18:3, n-3)	40	32	25	27
6 11- Eicosanoic acid (C 20:1, n-9)	23	24	19	26
7 Arachidonic acid (C 20 : 4, n-6)	436	455	393	444
8 EPA (C 20 : 5, n-3)	6	13	14	12
9 DHA (C 22: 6, n-3)	116	265	284	228
Total Non-Saturated fatty acid	6573	6864	5681	6562
C. Unknown fatty acid				
Unknown	393	378	283	910
Total fatty acid	10739	11012	9246	11260

Keterangan :

tt : Tidak terdeteksi

C4 :0 :4 atom C tanpa ikatan rangkap

W : ikatan rangkap dihitung dari gugus metil terminal. Posisi w yang sama, famili yang sama. Contoh C20:4w6 dapat disintesis dari C18 :2w6

P0 : Telur puyuh yang diberi pakan komersial

P1 : Telur puyuh yang diberi pakan organik standar

P2 : Telur puyuh yang diberi pakan organik standar +tepung ikan kembang+ tepung daun singkong+serbuk kunyit

P3 : Telur puyuh yang diberi pakan organik standar +tepung rumput laut + tepung daun singkong+serbuk kunyit

Faktor yang Mempengaruhi Kebutuhan asam lemak esensial

Kebutuhan asam lemak esensial meningkat dengan meningkatnya level lipid dan atau menurunnya suhu. Pada umumnya C-3 merupakan asam lemak terpenting dari golongan unsaturated (yang dibutuhkan untuk pembentukan membran. Fleksibilitas dan permeabilitas membran pada suhu rendah). Kecuali spesies ternak tertentu dapat membuat asam lemak berantai panjang dan mendesaturasi lebih lanjut asam lemak 18:2 -6 (asam linoleat) atau 18:3 C-3 (asam linolenat) (tergantung pada spesies ternak) menjadi asam lemak unsaturated tinggi (HUFA) ; 20:4 C-6 (seri C-6) dan 20:5 C-3 atau 20:6 C-3 (seri C-3). HUFA ini mempunyai fungsi metabolik yang berkenaan dengan asam lemak esensial. Pada beberapa spesies, HUFA mempunyai aktifitas asam lemak esensial yang lebih baik dibandingkan dengan unit dasarnya (18:2 C-6 atau 18:3 C-3).

Sumber Asam lemak Esensial

Kebanyakan asam lemak esensial C-3 adalah dalam bentuk alfa linolenat (18:3 C₃), asam eikosapentanoat (EPA), dan asam lemak dekosahexanoat (DHA). Sedangkan C-6 sebagian besar berupa asam linoleat. Alfa linolenat dan linoleat banyak ditemukan dalam minyak tanam-tanaman, sedangkan EPA dan DHA dijumpai pada hewan laut yang memakan fitoplankton. Biasanya udang dan kerang adalah sumber zat makanan yang kaya akan asam lemak esensial seri C-3, yaitu minyaknya mengandung 20:5 C-3 (asam eikosapentanoat) dan 22:6 C-3 (DHA) lebih dari 20% dari total asam lemak. Sedangkan minyak tanaman umumnya adalah sumber zat makanan yang kaya akan 18:2 C-6 (linoleat) dan mengandung sedikit atau bahkan tidak mengandung EFA seri C-3. Minyak tanaman yang mengandung asam lemak esensial C-3. (kecuali minyak kedelai, minyak biji rami). Minyak tanaman (minyak biji kapas, minyak jagung, minyak biji bunga matahari dan minyak kedelai) mengandung linoleat lebih dari 50% dari total asam lemak

Fosfolipid

Pada tubuh hewan fosfolipid merupakan komponen lipid terbesar kedua setelah trigliserida. Fosfolipid berbentuk lemak padat yang berwarna kuning dan sifatnya larut dalam pelarut lemak (pelarut organik) selain aseton.

Struktur dan Fungsi Phospholipid

Fosfolipid adalah ester dari asam lemak dan gliserol. Pada lemak sederhana dan minyak, trihidroksi alkohol (gliserol) diesterifikasi dengan 3 asam lemak, sedangkan pada fosfolipid hanya 2 grup alkohol dari gliserol yang diesterifikasi dengan asam lemak. Berdasarkan komponen nitrogen yang tersedia, fosfolipid dapat dibagi dalam 2 kelompok yaitu lesitin (nitrogen dasarnya adalah cholin) dan sefalin (nitrogen dasarnya adalah etanolamin). Nitrogen yang lain adalah serine dan insitol. Fosfolipid seperti halnya asam lemak mempunyai daerah polar dan non polar. Tidak seperti asam lemak, fungsi ionik dari fosfolipid adalah sangat penting dalam meningkatkan ketersediaan asam fosforik dan nitrogen dasar, yang menghasilkan gabungan molekul yang sama yaitu hidrofilik dan hidrofobik (rantai asam lemak). Karena keunikan itu fosfolipid bersifat aktif; dalam hubungannya dengan protein, membentuk lipoprotein yang merupakan struktur dasar dari membran biologis. Asam lemak fosfolipid hewan adalah lebih tidak jenuh (*unsaturated*) dibandingkan dengan asam lemak dari trigliserida (lemak dan minyak). Fosfolipid berperan penting sebagai pengemulsi dalam sistem biologis dan secara khusus dilibatkan dalam transportasi lemak dalam tubuh. Fosfolipid berperan dalam pengemulsian lipid dalam saluran pencernaan dan sebagai unsur lipoprotein dengan kecepatan yang tinggi dari transpor lipid dalam tubuh. Makanan yang kaya sebagai sumber phospholipid adalah telur dan minyak kedelai.

Kebutuhan Fosfolipid

Fosfolipid mempunyai efek yang menguntungkan dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup puyuh. Peran fosfolipid pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup tergantung kepada :

1. Jenis dan sumber fosfolipid yang digunakan
2. Sumber lipid makanan yang digunakan.

Para peneliti menunjukkan bahwa tingkat kebutuhan optimal fosfolipid bervariasi sesuai sumber lipid dari makanan yang digunakan.

- Fosfolipid yang mengandung choline atau inositol berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup.
- Fosfolipid yang mengandung 18:2 C-6 (linoleat), 18:3 C-3 (linolenat), 20:5 C-3 (EPA) dan 22:6 C-3 (DHA) dalam molekulnya adalah sangat efektif dalam perkembangan pertumbuhan dan kelangsungan hidup unggas.

- Keefektifan fosfolipid tergantung pada asam lemak alami dalam posisi alfa dan beta dari molekul fosfolipid. Secara alami tubuh dapat membiosintesis fosfolipid dari asam lemak dan digliserida, namun ketersediaan fosfolipid berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup ternak. Fosfolipid sangat esensial karena kebutuhannya yang spesifik yaitu untuk transfer asam lemak dalam tubuh dan untuk mengatasi biosintesis fosfolipid yang lambat dalam hubungannya dengan kebutuhan metabolik selama fase pertumbuhan.

Steroid

Steroid adalah zat yang sangat penting dan tersebar luas dalam tubuh hewan. Steroid meliputi sterol, asam empedu, hormon adrenal, dan hormon sex. Steroid mempunyai sifat yang sangat luas di dalam tubuh dan mempunyai unit struktur dasar inti phenanthrene yang bergabung dengan cincin siklopentana. Masing-masing senyawa berbeda dalam jumlah dan posisi ikatan rangkapnya dan biasanya terdapat pada sisi cincin atom karbon ke-17.

Kolesterol

Kolesterol adalah steroid yang tersebar luas dalam tubuh hewan, terutama banyak terdapat pada otak, jaringan saraf, kulit, empedu, hati dan darah. Di dalam tubuh, kolesterol dapat berbentuk bebas (sebagai komponen batu empedu) atau dalam bentuk teresterifikasi dengan asam lemak dan asam organik lainnya.

Fungsi kolesterol dalam tubuh :

1. Komponen yang dalam sistem membran, bersama dengan fosfolipid dan protein. Jumlah kolesterol dalam jaringan hewan ekuivalen dengan sistem membran.
2. Prekursor senyawa sterol, yang terdapat dalam tubuh, seperti asam empedu, hormon-hormon steroid (meliputi androgen, estrogen dan corticosteroid) dan vitamin D3.
- 3 Berperanan penting dalam penyerapan lemak dalam usus halus dan dalam transportasi lebih lanjut ke sistem peredaran darah. Kolesterol bergabung dengan asam lemak untuk membentuk ester kolesterol yang sangat larut dan lebih emulsif daripada molekul asam lemak bebas.

PAKAN ORGANIK

Pakan organik adalah bahan makanan yang cara pengolahan maupun bahannya berasal dari makhluk hidup. Saat menyusun pakan/ransum harus dapat mengkombinasikan jenis-jenis bahan pakan yang akan digunakan agar diperoleh nilai nutrisi yang seimbang atau yang sesuai dengan tujuan ransum itu dibuat apakah sebagai ransum berprotein tinggi atukah sebagai sumber energi. Dalam mengkombinasikan bahan pakan yang digunakan harganya secara ekonomis harus terjangkau dan masih menguntungkan.

Kandungan Nutrisi Bahan Pakan Organik

Kandungan gizi bahan pakan organik yang akan digunakan dalam menyusun ransum harus benar-benar diketahui masing-masing zat gizinya. Berapa % Protein Kasar (PK), berapa % Serat Kasar (SK) dan lain-lainnya harus sudah diketahui dari awal agar penyusunan ransum memiliki kandungan gizi yang berimbang dan sesuai dengan kebutuhan hidup dan perkembangan. Nutrisi pada berbagai bahan pakan sangat berbeda-beda pada berbagai jenis tanaman terutama pada kadar protein kasar (PK) akan sangat jauh berbeda. Sebelum menyusun ransum kita mempunyai catatan atau semacam tabel kandungan nutrisi bahan baku pakan ternak. Akan lebih baik lagi jika dalam tabel tersebut juga tercantum harga dari masing-masing komoditi bahan pakan sehingga nilai ekonomis dari bahan pakan bisa langsung dihitung juga.

PEMBUATAN PAKAN PUYUH ORGANIK

Penyusunan Formula Pakan Puyuh Organik

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan pakan organik untuk puyuh terdiri dari : Tepung jagung, dedak, tepung ikan, tepung tulang, tepung bungkil kedelai, tepung daun singkong, premix, Ca CO₃. Untuk menyesuaikan dengan komposisi kimiawi pakan untuk puyuh sesuai dengan standar NRC, maka bahan-bahan yang akan digunakan dilakukan analisis proksimat terlebih dahulu. Setelah mengetahui kadar proksimat masing-masing bahan, dilanjutkan pembuatan formula pakan sehingga bisa diketahui perbandingan jumlah bahan yang diperlukan untuk pembuatan campuran pakan.

FORMULA PAKAN PUYUH ORGANIK

Cara penyusunan formula pakan puyuh organik

Tabel 3. Cara penyusunan formula pakan puyuh organik standar

Bahan pakan	Komposisi	Kandungan Nutrisi Bahan						Kandungan Nutrisi Ransum Basal					
		Protein	Lemak	Serat kasar	Ca	P	EM	Protein	Lemak	Serat kasar	Ca	P	EM
Jagung kuning	52	8,7	5,2	0,47	0,14	0,29	3306,2	4,524	2,704	0,2444	0,0728	0,1508	1719,224
Dedak padi	12	11	12,6	16,4	0,1	1,3	2950,2	1,32	1,512	1,968	0,012	0,156	354,024
Bungkil kedelai	18	48,7	5,1	4,4	0,32	0,63	3068,8	8,766	0,918	0,918	0,0576	0,1134	552,384
Tepung ikan	12	41,1	16,3	12,9	7,04	3,53	2691,2	4,932	1,956	1,548	0,8448	0,4236	322,944
Tepung tulang	4				39,8	12,9						1,592	0,516
Kapur (CaCO ₃)	1,5				38							0,57	
Premix	0,5				0,06							0,0003	
Total	100							19,542	7,09	4,6784	3,1495	1,3598	2948,576

Tabel 4. Cara penyusunan formula pakan puyuh organik standar+tepung ikan kembung+tepung daun singkong + tepung kunyit

Bahan pakan	Komposisi RANSUM 2	Kandungan Nutrisi Bahan						Kandungan Nutrisi RANSUM 2						β-Karoten	Oleat	Linoleat	Arachidonat
		Protein	Lemak	Serat kasar	Ca	P	EM	Protein	Lemak	Serat kasar	Ca	P	EM				
Jagung kuning	52	8,7	5,2	0,47	0,14	0,29	3306,2	4,524	2,704	0,2444	0,0728	0,1508	1719,224				
Dedak padi	12	11	12,6	16,4	0,1	1,3	2950,2	1,32	1,512	1,968	0,012	0,156	354,024				
Bungkil kedelai	18	48,7	5,1	4,4	0,32	0,63	3068,8	7,792	0,816	0,704	0,0512	0,1008	491,008				
Tepung ikan	12	41,1	16,3	12,9	7,04	3,53	2691,2	4,932	1,956	1,548	0,8448	0,4236	322,944				
Tepung tulang	4				39,8	12,9					1,592	0,516					
Kapur (CaCO ₃)	1,5				38						0,57						
Premix	0,5				0,06												
Ikan kembung	1	57,67	5,6		0,02	0,2	3518	0,5767	0,056		0,002	35,18					
Daun singkong	1	26,58	2,69	10,79	1,71	0,42	3227,3	0,2658	0,0269	0,1079	0,0042	32,273					
Total	100							19,4105	7,0709	4,5723	3,1428	1,3472	2954,653	1,13 µg	44,6	11,8	23,6
								19,4105	7,0709	4,5723	2954,65	1,13					

Tabel 5. Cara penyusunan formula pakan puyuh organik standar+tepung ikan kembung+tepung daun singkong + tepung kunyit

Bahan pakan	Komposisi RANSUM 3	Kandungan Nutrisi Bahan						Kandungan Nutrisi RANSUM 3						β-Karoten	Oleat	Linoleat	Arachidonat
		Protein	Lemak	Serat kasar	Ca	P	EM	Protein	Lemak	Serat kasar	Ca	P	EM				
Jagung kuning	51	8,7	5,2	0,47	0,14	0,29	3306,2	4,437	2,652	0,2397	0,0714	0,1479	1686,162				
Dedak padi	12	11	12,6	16,4	0,1	1,3	2950,2	1,32	1,512	1,968	0,012	0,156	354,024				
Bungkil kedelai	17	48,7	5,1	4,4	0,32	0,63	3068,8	8,279	0,867	0,748	0,0544	0,1071	521,896				
Tepung ikan	12	41,1	16,3	12,9	7,04	3,53	2691,2	4,932	1,956	1,548	0,8448	0,4236	322,944				
Tepung tulang	4				39,8	12,9					1,592	0,516					
Kapur (CaCO ₃)	1,5				38						0,57						
Premix	0,5				0,06												
Rumput laut	1	9,78	1,1	5,91	0,33		2467	0,0978	0,011	0,0931	0,0033	24,67					
Daun singkong	1	26,58	2,69	10,79	1,71	0,42	3227,3	0,2658	0,0269	0,1079	0,0171	0,0042	32,273				
Total	100							19,3314	7,0249	4,6707	3,165	1,3548	2941,769	1,13 µg	14,4	11,5	12,8
								19,3314	7,0249	4,6707	2941,769	1,13					

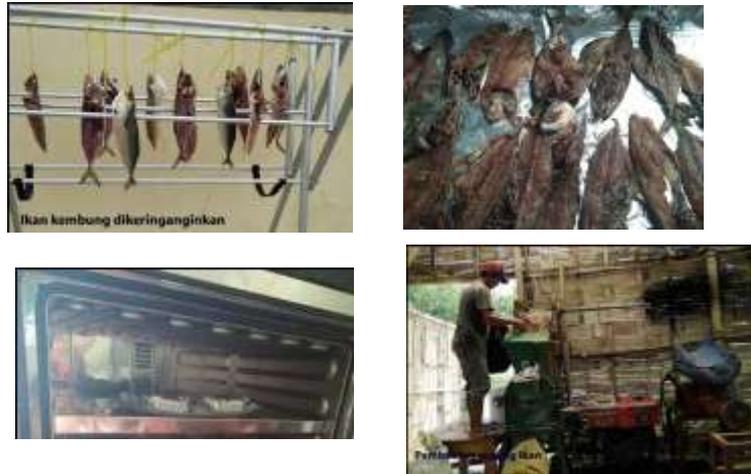
Biji jagung kuning direndam dalam air selama 24 jam lalu ditiriskan, dijemur, digiling, dan diayak dengan saringan 60 mesh. Tepung jagung dijemur di bawah sinar matahari agar kadar airnya turun.



Gambar 1. Tepung jagung kuning

Pembuatan tepung ikan kembung:

- Ikan kembung dibelah menjadi dua
- Dikering anginkan selama 3 hari dibawah sinar matahari
- Di oven selama 2 hari, pada suhu 56°C sampai kadar air mencapai 9%
- Dilakukan penggilingan dengan mesin



Gambar 2. Pembuatan tepung ikan kembung

Pembuatan Tepung Ikan (Basah)



Gambar 3. Tepung Ikan

Proses pembuatan tepung ikan:



Keterangan:

- Penggilingan Ikan Basah. Ikan berukuran sedang dan besar, dibuang jeroannya, dan dicuci. Ikan yang berukuran kecil, tidak perlu dilakukan pembuangan jeroan. Ikan digiling sehingga diperoleh bubur mentah ikan.
- Pengukusan. Bubur ikan dikukus dengan uap panas selama 1 jam sampai bubur menjadi matang secara sempurna. Hasil pengukusan disebut dengan bubur matang ikan. Pengukusan dilakukan untuk menghilangkan lemak yang akan membuat tengik tepung ikan dan menghilangkan bakteri patogen.
- Pengeringan. Bubur matang ikan dikeringkan dengan oven sampai kadar air sekitar 8%. Hasil pengeringan disebut cake kering ikan. Cake kering ikan mempunyai kadar lemak tinggi (di atas 30%).
- Pemerasan Minyak (Pengepresan).
Cake kering ikan diperas dengan alat pres sehingga sebagian dari minyak keluar. Cake yang telah dipres, digiling dengan mesin penggiling sehingga diperoleh tepung ikan yang cukup halus (lolos ayakan 40-60 mesh) atau dengan ukuran yang diinginkan.

Pembuatan Tepung Bungkil Kedelai



Gambar 4. Tepung bungkil kedelai

Penggunaan bungkil kedelai hasil samping ekstraksi minyak kedelai digunakan sebagai bahan baku untuk membuat tepung kedelai, hasilnya merupakan tepung kedelai berlemak rendah (low fat soy flour). Bungkil kedelai tersebut masih mengandung heksana (pelarut yang digunakan untuk mengekstrak minyak kedelai). Penghilangan sisa pelarut dilakukan dengan pemanasan 71 – 82 °C sehingga heksana menguap. Bau yang tidak dikehendaki dihilangkan dengan uap panas yang dilewatkan pada bungkil dan disedot secara vakum, sehingga zat-zat volatil akan terisap dan keluar bersama-sama uap. Kemudian dilakukan proses pemanasan (dengan pengukusan, penyangraian) untuk mematikan antitripsin dan enzim lipoksigenase. Setelah itu, dilakukan penggilingan dan penyaringan.

Pembuatan Tepung Tulang



Gambar 5. Pembuatan tepung tulang

Tepung tulang diperoleh dengan merebus dan mengeringkan tulang-tulang yang dikumpulkan dari berbagai tempat pematangan hewan dan kemudian digiling sampai halus.

Pembuatan Tepung Daun Singkong



Gambar 6. Pembuatan tepung daun singkong

Daun singkong dipotong-potong sekitar 3 cm, dikering anginkan selama 72 jam dibawah matahari atau dioven pada suhu 45°C selama 1 hari atau sampai kadar air mencapai kurang lebih tinggal 10%. Selain untuk menguapkan kandungan air, pemanasan dapat menurunkan kadar sianida. Daun singkong kering diremas-remas dan digiling / diblender hingga terbentuk tepung daun singkong.

Pembuatan pakan organik



Gambar 7. Proses pembuatan pakan organik

Tabel 6: Hasil analisis proksimat pakan komersial dan pakan organik

Perlakuan	KH	Protein	Lemak	Serat kasar	EM	β-karoten (µg)	air	Abu
P0 (Pakan komersial)	50,78	16,72	3,5	6			13	10
P1 (Pakan organik standar)	46,69	19,542	7,09	4,6784	2948		12	10
P2 (POS +lkan kembang+Daun singkong+tepung kunyit)	46,95	19,4105	7,0709	4,5723	2954,653	1,13	12	10
P3(POS+Rumput laut+daun singkong+tepung kunyit)	46,97	19,3314	7,0249	4,6707	2941,769	1,13	12	10

Pakan organik yang terususun mengandung protein, lemak, serat kasar, bahan ekstrak tanpa nitrogen. Selama beberapa tahun terakhir banyak penelitian telah dilakukan terhadap pengaruh susunan asam lemak dan kombinasi lemak dan minyak dalam ransum unggas. Daya cerna lemak bervariasi sesuai dengan susunan asam lemak atau jumlah asam lemak bebas dalam ransum. Asam lemak utama yang membentuk sebagian besar lemak bahan pakan dan lemak tubuh adalah asam-asam palmitat, stearat, oleat, linoleat. Keempat asam lemak tersebut meliputi lebih dari 90 % sebagian besar bahan pakan dan lemak karkas. Palmitat dan stearat adalah asam lemak jenuh, sedangkan linoleat dan oleat adalah asam lemak tidak jenuh. Asam linoleat, linolenat dan arakhidonat merupakan asam-asam lemak esensial, oleh sebab itu harus dalam ransum, meskipun dengan adanya piridoksin (Vitamin B6) arakhidonat dapat disintesis dari linoleat.

Dari keempat asam lemak tersebut (palmitat, stearat, oleat, linoleat) semuanya dapat disintesis oleh unggas, kecuali linoleat. Linoleat harus ada dalam ransum. Kekurangan asam linoleat dalam ransum mengakibatkan suatu penyakit defisiensi dengan gejala-gejala: pertumbuhan anak terganggu, hati berlemak dan ketahanan yang berkurang terhadap infeksi pernafasan, produksi telur berkurang, telur kecil dan daya tetas rendah.

Karena asam linoleat tidak dapat disintesis, maka jumlah asam lemak tersebut seluruhnya tergantung dari jumlah yang terdapat dalam ransum. Jadi kandungan asam lemak tidak jenuh ganda dari daging atau telur dapat dipengaruhi oleh keadaan ransum. Sumber utama asam linoleat di alam adalah minyak tumbuh-tumbuhan. Minyak jagung dan minyak kacang kedelai mengandung masing-masing lebih kurang 54,7% dan 49,1 %.

Bila ransum puyuh mengandung jagung dalam jumlah tinggi, maka minyak jagung dapat menyediakan asam linoleat dalam jumlah cukup dalam ransum. Kacang kedelai juga tinggi kadar asam linoleatnya, meskipun kadar lemak bungkil

kacang kedelai yang diekstraksi rendah kadarnya. Bungkil kacang kedelai yang diproses merupakan sumber asam linoleat dan sangat baik.

Kadar asam linoleat dapat berkisar antara hampir 0 - 40 % dari asam lemak telur, terutama dari ransumnya. Pada umumnya, dengan meningkatnya kadar asam linoleat lemak telur, maka kadar asam oleat turun, disertai dengan perubahan sedikit dalam kadar asam lemak jenuh yang biasanya berkisar antara 35 – 40 % dari jumlah asam lemak. Kadar asam lemak jenuh adalah agak tetap, meskipun dengan perubahan yang menyolok dalam kadar asam linoleat.

Sebagai sumber energi pakan, asam palmitat dan stearat hanya sedikit dapat dicerna, sedangkan asam oleat dapat dicerna dengan baik. Asam palmitat dan stearat lebih baik digunakan dalam bentuk lemak daripada dalam bentuk asam lemak bebas. Dengan perkataan lain, asam lemak tersendiri atau dalam campuran adalah kurang dapat dicerna daripada lemaknya yang utuh. Hal ini menunjang teori, bahwa sebagian besar lemak diserap tanpa hidrolisis dalam bentuk emulsi yang sangat halus atau sebagai garam-garam empedu.

Asam oleat (dalam tingkatan yang lebih sedikit) dan asam linoleat mempertinggi penyerapan asam lemak jenuh (palmitat, stearat). Dalam hal ini dapat diharapkan penyerapan yang lebih baik sebesar 20 %. Pada umumnya lemak dengan titik cair yang sama, mempunyai daya pencernaan yang kurang lebih sama.

Peranan Lemak dalam Ransum Pakan Puyuh

Penggunaan lemak dalam ransum pakan puyuh dimaksudkan untuk:

1. Menaikkan nilai energi. Indeks konversi ransum terbaik akan tercapai bila susunan ransum mengandung sekurang-kurangnya 2800 sampai 3400 Kkal energi metabolis per kilogram. Tingkat tersebut hanya dapat tercapai dengan penambahan lemak dalam ransum. Penambahan lemak akan menghasilkan daya produksi lebih tinggi dan bentuk telur lebih besar.
2. Penggunaan lemak dalam ransum menyebabkan ransum menjadi lebih menarik serta mempertinggi palatabilitas.

VITAMIN

Vitamin diperlukan dalam jumlah sedikit untuk menjaga fungsi metabolisme dalam tubuh agar tetap optimal. Vitamin diperlukan dalam jumlah sedikit, namun mempunyai peranan yang besar dibandingkan dengan jenis nutrisi lainnya. Vitamin sangat dibutuhkan terkait fungsinya sebagai katalis metabolisme. Dengan kata lain, bila tidak ada vitamin maka metabolisme akan terhambat. Hambatan metabolisme ini akan menyebabkan pertumbuhan menjadi tidak optimal, terbatasnya pembentukan energi untuk beraktivitas dan tidak terjadi regenerasi sel-sel yang rusak dalam tubuh.

Puyuh yang dipelihara dengan sistem tata laksana yang tidak baik, sangat peka terhadap kejadian defisiensi (kekurangan) vitamin. Hal tersebut disebabkan :

- a. Puyuh tidak memperoleh keuntungan dari sintesis vitamin oleh mikroorganisme di dalam alat pencernaan. Selain itu, meskipun puyuh mampu mensintesis vitamin seperti vitamin C, namun hasil sintesis tersebut sangat rendah. Rendahnya sintesis vitamin oleh puyuh disebabkan saluran pencernaan puyuh yang lebih pendek dan laju pencernaan ransum yang lebih cepat dibandingkan ternak lain seperti ruminansia.
- b. Puyuh mempunyai kebutuhan yang tinggi terhadap vitamin karena vitamin penting bagi reaksi- reaksi metabolis yang vital di dalam tubuh.
- c. Populasi yang padat menimbulkan berbagai macam stres, sehingga sangat berpotensi menyebabkan stres sehingga kebutuhan akan vitamin juga semakin tinggi.

A. Vitamin Larut Lemak

1. Vitamin A

Vitamin A sering disebut sebagai retinol. Vitamin A banyak terdapat dalam tepung ikan dan jagung. Vitamin A berfungsi dalam proses pertumbuhan, stabilitas jaringan epitel membran mukosa saluran pencernaan, pernapasan, saluran reproduksi serta mengoptimalkan indera penglihatan. Defisiensi vitamin A dapat menyebabkan ruffled feathers (bulu berdiri), ataxia (kehilangan keseimbangan saat berjalan) dan bisa berakibat pada penurunan produksi telur serta daya tetas. Bila defisiensi vitamin A berlangsung terus menerus dalam waktu yang cukup lama, maka akan mengakibatkan munculnya cairan putih susu (keruh) pada mata unggas, sehingga bisa mengganggu

penglihatan dan kadang terjadi kerusakan mata permanen. Defisiensi vitamin A juga dapat menyebabkan timbulnya bintik darah (*blood spot*) pada telur.



Gambar 8. Timbulnya *blood spot* pada telur akibat defisiensi vitamin A

2. Vitamin D

Vitamin D pada produk-produk vitamin seringkali ditulis sebagai vitamin D3. Vitamin D3 atau yang lebih dikenal sebagai *cholecalciferol* adalah satu-satunya metabolit dari vitamin D yang bisa digunakan oleh unggas. Secara umum vitamin ini dapat ditemukan pada tepung ikan yang berfungsi sebagai prekursor vitamin D. Vitamin D bermanfaat untuk metabolisme kalsium dan fosfor dalam pembentukan kerangka, membentuk paruh dan cakar yang keras serta kerabang telur yang kuat.

Defisiensi vitamin D akan menyebabkan metabolisme kalsium dan fosfor terhambat sehingga akan banyak ditemukan telur dengan kerabang tipis dan lembek serta dapat menurunkan produksi telur. Defisiensi vitamin D juga menyebabkan paruh dan cakar yang lembek, sehingga puyuh kesulitan untuk bergerak karena kakinya lemah sehingga terjadilah kelumpuhan/*ricketsia*.



Gambar 9. Kerabang telur lembek

3. Vitamin E

Vitamin E mempunyai aktivitas biologis sebagai α -tokoferol. Vitamin E sering ditemukan dalam biji kedelai, biji gandum. Vitamin E bermanfaat untuk meningkatkan fertilitas, pertumbuhan embrio dan sebagai antioksidan.

Defisiensi vitamin E akan menyebabkan menurunnya fertilitas dan daya tetas, encephalomalacia, serta kelainan pada koordinasi otot.

4. Vitamin K

Vitamin K sering disebut dengan vitamin antihemoragic, vitamin pembeku darah, faktor protrombin, philloquinon, dan 2-metil-1,4-naftoquinon. Beberapa senyawa mempunyai struktur yang sama dan semuanya mempunyai aktivitas sebagai vitamin K.

Vitamin K dapat ditemukan pada tepung ikan. Vitamin K berfungsi dalam pembentukan protrombin yang dapat digunakan untuk pengaturan proses pembekuan darah. Defisiensi vitamin K akan menyebabkan perdarahan pada jaringan/organ tertentu (hemoragi) akibat darah yang sukar membeku saat terjadi luka pada bagian tubuh yang terbuka. Defisiensi vitamin K juga dapat menyebabkan anemia.

B. Vitamin Larut Air

1. Vitamin B₁ (tiamin)

Vitamin B₁ sering disebut juga sebagai *aneurin* karena mempunyai sifat anti neuritis (anti radang neuron). Vitamin B₁ berfungsi untuk membantu proses metabolisme karbohidrat dan energi dalam tubuh. Defisiensi vitamin B₁ menyebabkan hilangnya nafsu makan, pertumbuhan terhambat serta terjadi pembengkakan pada sistem syaraf.

Fungsi tiamin sebagai penyusun sistem enzim dan esensial untuk menyokong penggunaan karbohidrat sebagai sumber energi untuk tubuh. Kelebihan tiamin segera disekresikan melalui urin, namun demikian kelebihan tiamin dalam ransum perlu dihindari.

2. Vitamin B₂ (riboflavin)

Vitamin B₂ berfungsi dalam metabolisme karbohidrat, asam amino dan asam lemak. Vitamin B₂ ditemukan pada tepung daging dan tepung ikan. Defisiensi vitamin B₂ menyebabkan pertumbuhan menjadi lambat, lemas dan mengalami kesulitan berjalan. Gejala yang paling dikenal adalah kelumpuhan pada kaki (*leg paralysis*) atau kelumpuhan pada jari kaki (*curled toe paralysis*). Beberapa gejala tersebut akhirnya akan berakibat pada menurunnya produksi telur dan daya tetas.

Defisiensi vitamin B₂ menyebabkan penurunan pertumbuhan dan penggunaan pakan. Vitamin B₂ esensial sebagai penyusun system enzim dalam tubuh. Penting dalam meningkatkan penggunaan energi pakan dan nutrisi dalam ransum.

3. Vitamin B₃ (nicotinamide)

Vitamin B₃ atau lebih dikenal sebagai niasin atau nicotinamide yang berfungsi dalam metabolisme karbohidrat, protein dan lemak menjadi energi. Vitamin B₃ banyak ditemukan pada jagung, biji bunga matahari dan hampir semua bungkil biji-bijian. Kekurangan vitamin B₃ menyebabkan hilangnya nafsu makan, pertumbuhan lambat, turunnya produksi dan daya tetas telur, membran mukosa berwarna merah gelap, gangguan pertumbuhan tulang paha serta kadang terjadi diare yang disertai darah.

4. Vitamin B₅ (asam pantotenat)

Vitamin B₅ atau yang lebih dikenal sebagai asam pantotenat berfungsi sebagai komponen koenzim A dalam metabolisme karbohidrat, asam lemak, asam amino dan steroid. Asam pantotenat banyak terdapat dalam bungkil biji bunga matahari. Defisiensi asam pantotenat menyebabkan hilangnya nafsu makan, pertumbuhan terhambat, pembengkakan pada beberapa bagian tubuh seperti paruh, kelopak mata dan jari kaki, warna bulu menjadi kasar dan buram, serta menyebabkan turunnya produksi dan daya tetas telur.

5. Vitamin B₆ (piridoxin)

Vitamin B₆ atau piridoxin berfungsi untuk metabolisme protein dan lemak dalam tubuh. Vitamin B₆ ditemukan hampir pada semua bungkil biji-bijian. Defisiensi vitamin B₆ menyebabkan nafsu makan berkurang dan pertumbuhan terhambat, bulu tumbuh jarang (tidak merata) dan kasar, produksi telur serta daya tetas telur menurun.

Fungsi Vitamin B₆ berhubungan dengan system enzim dan berperan dalam penggunaan karbohidrat, lemak, dan protein, oleh karena itu sangat penting dalam mencerna pakan. Tanpa adanya Vitamin B₆ asam amino triptofan tidak dapat digunakan oleh ternak. Defisiensi Vitamin B₆ menyebabkan rendahnya tingkat pertumbuhan dan kegagalan reproduksi, anemia, dermatitis, degenerasi sel saraf dan gangguan penglihatan.

6. Vitamin B₉ (asam folat)

Vitamin B₉ atau yang lebih sering disebut sebagai asam folat berfungsi untuk metabolisme karbohidrat. Asam folat dapat ditemukan pada biji gandum. Defisiensi asam folat akan menyebabkan pertumbuhan lambat, anemia, menurunnya daya tetas serta bulu yang kasar dan jarang

7. Vitamin B₁₂ (cyanocobalamin)

Vitamin B₁₂ atau sering disebut sebagai cyanocobalamin berfungsi untuk metabolisme karbohidrat dan lemak dalam tubuh. Tidak seperti vitamin B lainnya, vitamin B₁₂ bisa terakumulasi di jaringan, utamanya di hati dan sedikit di ginjal, otot, tulang dan kulit. Defisiensi vitamin B₁₂ akan mengakibatkan pertumbuhan lambat, ukuran telur kecil-kecil dan daya tetas menurun. Fungsi Vitamin B₁₂ berhubungan dengan penggunaan karbohidrat, lemak, dan protein, oleh karena itu sangat penting dalam penggunaan pakan.

8. Biotin

Biotin sering dikenal sebagai Vitamin B₇. Vitamin ini berfungsi dalam metabolisme karbohidrat dan lemak dalam produksi energi. Biotin dapat ditemukan pada tepung ikan dan biji gandum. Defisiensi biotin menyebabkan kulit mengeras pada daerah paruh dan mata, kelainan pada tulang rawan dan menurunnya daya tetas.

9. Vitamin C

Vitamin C yang sering disebut sebagai asam ascorbat. vitamin C berbentuk kristal, tidak berwarna (bening), larut dalam air, mengandung asam dan mempunyai daya reduksi yang besar, stabil pada larutan asam, larut dengan segera dalam larutan alkali dan mudah rusak apabila kena cahaya (panas), serta tahan terhadap pembekuan. Vitamin C ini mudah dioksidasi menjadi bentuk dehydro.

Asam ascorbat dapat disintesis pada tubuh, memungkinkan sintesis vitamin C ini karena mempunyai ketiga enzim yang diperlukan yaitu enzim NADPH, L-gulonolakton oxidase, D-glukuronolakton reduktase yang semuanya terdapat di dalam ginjal unggas. Dalam keadaan tercekam (stress) tidak dapat mensintesis asam ascorbat dalam jumlah cukup, sehingga perlu ditambahkan dalam pakannya.

Peranan vitamin untuk mempertahankan zat-zat interseluler normal tulang rawan, dentin dan tulang. Juga berperan sebagai katalisator pada berbagai reaksi kimia dalam tubuh. Peran vitamin C ini, yaitu :

1. Sebagai zat esensial untuk pembentukan kolagen dalam tulang.
2. Membantu merubah asam folic menjadi bentuk aktifnya yaitu asam tetra hydrofolic.
3. Ikut berperan dalam metabolisme asam amino yaitu dalam hydroxilase prolin, lysine dan anilin.
4. Membantu penyerapan zat besi, sehingga dapat mencegah terjadinya anemia. Vitamin C dalam tubuh banyak tersimpan dalam jaringan, hipofisis, korteks adrenal, korpus luteum dan thymus. Dalam jumlah sedikit terdapat pada organ ginjal, jantung dan paru-paru. Otot tidak banyak mengandung vitamin C. Kelenjar air liur dan dinding usus pada umumnya mengandung vitamin C dalam konsentrasi yang tinggi. Kandungan vitamin C pada jaringan binatang dan jaringan tumbuh-tumbuhan lebih besar bila dibandingkan dengan vitamin yang larut dalam air. Vitamin C mempunyai berperan dalam proses metabolisme tubuh. Beberapa fungsi fisiologis dari vitamin C diantaranya :

- Untuk pembentukan substansi cairan intraseluler pada jaringan skelet dan memelihara fungsi normal jaringan.
- Perangsang pada mekanisme pertahanan tubuh.
- Meningkatkan daya tahan tubuh terhadap infeksi
- Membantu perbaikan kualitas kerabang telur.

Sifat vitamin C yang lain, yaitu merupakan vitamin yang larut dalam air yang paling kurang stabil, paling mudah rusak oleh pemanasan dengan adanya sedikit logam seperti tembaga (Cu), tahan pembekuan. Tidak dikenal efek toksik dari vitamin C ini, tapi pada pemberian yang terlalu banyak akan menyebabkan tidak efektif lagi dan mempunyai beberapa efek sampingan, diantaranya :

- Pada anak-anak puyuh yang dalam ransumnya kekurangan unsur tembaga (Cu), tambahan vitamin C akan menyebabkan kematian.
- Bila diberikan dalam jumlah berlebihan pada puyuh petelur yang sedang memproduksi dapat menyebabkan penurunan produksi telur dan bobot badan akhir.

- Gangguan pencernaan, sehingga puyuh akan mengalami diare (mencret).

MINERAL

Semua mineral ditemukan dalam jaringan tubuh puyuh dan mempunyai fungsi sangat penting dalam proses metabolisme. Mineral mempunyai peranan penting dalam pemeliharaan fungsi tubuh, seperti untuk pengaturan kerja enzim-enzim, pemeliharaan keseimbangan asam-basa, membantu pembentukan ikatan yang memerlukan mineral seperti pembentukan haemoglobin. Mineral digolongkan atas makro mineral dan mikro mineral. Makro mineral adalah mineral yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah lebih dari 100 mg sehari, sedangkan mikro mineral dibutuhkan tubuh kurang dari 100 mg sehari. Makro mineral terdiri atas kalsium (Ca), fosfor (P), magnesium (Mg), sulfur (S), kalium (K), natrium (Na), dan klorida (Cl). Beberapa mikro mineral juga sering disebut dengan istilah *trace mineral*, yaitu mineral-mineral yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit namun sangat bermanfaat dalam menunjang berbagai proses di dalam tubuh. Contoh dari mineral tersebut antara lain iron/zat besi (Fe), iodine (I), zinc/seng (Zn), selenium (Se), copper/tembaga (Cu), mangan (Mn), kobalt (Co) dan beberapa mikro mineral lainnya.

Kalsium (Ca)

Kalsium sangat esensial dalam pembentukan tulang dan kerabang telur. Kalsium yang terkandung dalam kerabang telur berbentuk kalsium karbonat (CaCO_3). Tinggi rendahnya kebutuhan kalsium sangat dipengaruhi oleh kondisi hewan, ketika dalam kondisi cekaman/stres, maka akan menggunakan kalsium yang terdapat pada tulang dalam jumlah banyak.

Fungsi kalsium :

1. Mengatur kerja sistem syaraf
2. Penyusun tulang dan kerabang telur
3. Membantu dalam mekanisme penyerapan vitamin B₁₂
4. Mengatur kontraksi otot
5. Pertumbuhan yang normal
6. Mengatur pembekuan darah
7. Meningkatkan fungsi transport membran sel, stabilisator membran, dan transmisi ion melalui membrane organel sel

8. Katalisator reaksi biologi, seperti absorpsi vitamin B12, penyusun enzim pemecah lemak, lipase pancreas, eksresi insulin oleh pancreas, pembentukan dan pemecahan asetilkolin
9. Berperan dalam fungsi saraf, tekanan darah dan fungsi kekebalan.

Fosfor (P)

Fosfor memiliki fungsi metabolik dalam pembentukan mineralisasi tulang, berperan dalam proses pembentukan energi, berperan dalam fosforilasi dan oksidasi beberapa enzim dan mengatur keseimbangan asam basa di dalam tubuh. Fosfor (P) adalah mineral yang jumlahnya terbesar kedua setelah Ca yaitu 29% dari total mineral tubuh, atau sekitar 80%-85% total P tubuh. Fosfor juga merupakan pembentuk protein fosfor, asam nukleat dan lipida-lipida fosfor, dan mempunyai peranan dalam metabolisme Ca.

Magnesium (Mg)

Magnesium sangat dibutuhkan oleh puyuh yang berfungsi dalam perkembangan tulang dan aktivitas sistem enzim. Kadarnya dalam tulang sekitar 62% dan 1% dalam sel. Kadar Mg plasma dalam keadaan normal adalah 1,70—2,5 mg/dl atau 2—4 mg/dl. Mg berperan dalam membantu aktivitas enzim seperti thiamin pyrophosphat sebagai kofaktor. Ketersediaan Mg dalam ransum harus selalu tersedia.

Fungsi Magnesium:

1. Berperan penting dalam sistem enzim dalam tubuh
2. Berperan sebagai katalisator dalam reaksi biologi, termasuk metabolisme energi, karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat, serta dalam sintesis, degradasi, dan stabilitas bahan gen DNA di dalam semua sel jaringan lunak.
3. Di dalam sel ekstraselular, magnesium berperan dalam transmisi saraf, kontraksi otot dan pembekuan darah. dalam hal ini magnesium berlawanan dengan kalsium

Sulfur (S)

Sulfur (S) merupakan komponen penting protein pada semua jaringan tubuh. Sulfur adalah komponen penting dari beberapa asam amino (metionin dan sistein), vitamin (thiamin dan biotin), hormon insulin. Sulfur dalam bentuk asam

sulfat merupakan komponen penting dari *chondrotin*, *fibrinogen*, dan *taurin*. Beberapa enzim seperti koenzim A dari *glutathione*, keaktifan mereka tergantung kepada gugus sulphidril bebas. Sulfur juga terlibat dalam detoksifikasi senyawa-senyawa aromatik di dalam hewan.

Natrium (Na)

Natrium adalah kation utama dalam cairan ekstraseluler, 35-40 % diantaranya terdapat dalam kerangka tubuh. Cairan pada saluran pencernaan, cairan empedu dan pancreas mengandung banyak natrium. Fungsi Natrium yaitu:

1. Menjaga keseimbangan cairan ekstraseluler.
2. Mengatur tekanan osmosis sehingga dapat menjaga cairan tidak keluar dari darah dan masuk ke dalam sel.
3. Menjaga keseimbangan asam basa tubuh
4. Mempunyai peran dalam transmisi saraf dan kontraksi otot
5. Membantu absorpsi glukosa dan sebagai alat transport zat gizi lain melalui membran, terutama melalui membran usus sebagai pompa natrium

Klorida (Cl)

Klorida merupakan anion utama cairan ekstraselular. Konsentrasi klorida tertinggi adalah pada cairan *serebrospinal* (otak dan sumsum tulang belakang), lambung dan pancreas. Fungsi Klorida:

1. Memelihara keseimbangan cairan dan elektrolit dalam cairan ekstraseluler
2. Memelihara suasana asam dalam lambung sebagai bagian dari HCl, yang berperan untuk bekerjanya enzim-enzim pencernaan
3. Meliharaan keseimbangan asam dan basa bersama unsur-unsur pembentuk asam lainnya
4. Ion klor dengan mudah keluar dari sel darah merah dan masuk ke dalam plasma darah untuk membantu mengangkut karbondioksida ke paru-paru dan keluar dari tubuh
5. Mengatur system rennin-angiotensin-aldosteron yang berperan dalam mengatur keseimbangan cairan tubuh.

Kalium (K)

Kalium merupakan ion yang bermuatan positif dan terdapat banyak di dalam sel dan cairan intraseluler dari pada di cairan ekstraseluler. Fungsi Kalium:

1. Bersama natrium berperan dalam emelihara keseimbangan cairan dan elektrolit serta keseimbangan asam dan basa
2. Bersama kalsium berperan dalam transmisi saraf dan kontraksi otot
3. Berfungsi sebagai katalisator dalam banyak reaksi biologi, terutama metabolisme energi dan sintesis glikogen dan protein
4. Berperan dalam pertumbuhan sel.

TRACE MINERAL

Yodium (I)

Berfungsi sebagai bahan pembentukan hormon tiroksin. Hormon tiroksin mempunyai peran dalam mengatur metabolisme tubuh, mengatur pertumbuhan dan perkembangan tubuh.

Selenium (Se)

Selenium (Se) bisa ditemukan dalam bentuk organik maupun anorganik. Pada unggas petelur, selenium berfungsi meningkatkan kualitas kerabang, meningkatkan *haugh unit* (kualitas kuning dan putih telur), meningkatkan berat kuning dan putih telur, mempertahankan kualitas telur saat disimpan. *Haugh unit* (HU) adalah ukuran kualitas telur bagian dalam yang didapat dari hubungan antara tinggi putih telur dengan bobot telur.

Mikro Mineral

Mikro-mineral atau "trace mineral," adalah mineral-mineral yang dibutuhkan dalam jumlah yang sangat sedikit. Mikro mineral yang dianggap esensial, yaitu: Cr, Co, Cu, J, Fe, Mn, Mo, Se dan Zn.

Besi (Fe)

Besi berperan penting dalam berbagai reaksi biokimia di dalam tubuh puyuh, antara lain dalam memproduksi sel darah merah. Besi berfungsi sebagai

pembawa oksigen, bukan saja oksigen pernapasan menuju jaringan, tetapi juga dalam jaringan atau dalam sel. Lebih dari 90% besi yang terdapat dalam tubuh, terikat pada protein, dan terutama pada hemoglobin. Hemoglobin mengandung besi sebanyak 0,34%. Kebanyakan besi terdapat dalam molekul heme yang mempunyai porfirin dan merupakan bagian dari hemoglobin, yang terdiri atas empat lingkaran porfirin yang terikat pada globin. Besi juga terdapat dalam mioglobin. Mioglobin adalah serupa dengan hemoglobin yang hanya mengandung satu lingkaran porfirin. Ion Fe pada hemoglobin mengikat oksigen secara reversibel: Mioglobin mempunyai afinitas yang lebih besar daripada hemoglobin, dan berfungsi untuk menyimpan oksigen di dalam sel. Serum darah mengandung senyawa yang mengandung besi yang disebut transferitin, yang mengangkut Fe ke seluruh bagian tubuh, khususnya sumsum tulang, tempat-tempat pembuatan sel-sel darah merah. Besi juga terdapat dalam hati, limpa dan tulang sebagai ferritin dan hemosiderin.

Fungsi Fe yang terpenting adalah untuk absorpsi dan transport O_2 ke sel-sel dan di sel-sel ini dalam statusnya yang reversibel O_2 dilepaskan dan mengikat $CO_2 - O_2$ kemudian disimpan dalam ikatan dengan mioglobin di dalam sel. Fe merupakan pula komponen yang aktif dari beberapa enzim, yaitu sitokrom peroksidase dan katalase. Semua proses metabolisme yang menyangkut Fe tergantung pada perubahan ferro menjadi ferri. Fungsi Fe yang utama adalah sebagai mediator proses-proses oksidasi. Besi berfungsi untuk mengangkut O_2 dan CO_2 , juga sebagai pengangkut hidrogen kepada sel sebagai bagian dari sistem transport elektron dalam sel. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa Fe berfungsi dalam sintesa kollagen, yang diduga dengan jalan hidroksilasi terhadap prolin dan lisin.

Gejala defisiensi Fe menyebabkan hambatan sintesis sel-sel darah merah oleh sumsum tulang. Sel darah merah hanya mempunyai jangka hidup yang pendek, maka perlu penggantian yang kontinyu. Kebanyakan dari Fe dapat digunakan lagi. Kebutuhan Fe pada tubuh setiap hari untuk hewan yang sehat sangat sedikit, penambahan kebutuhan hanya pada saat kebuntingan dan perdarahan yang banyak. Jika sintesa terganggu maka jumlah sel darah merah berkurang dan kadar hemoglobin rendah, kondisi ini disebut anemia, itu karena kekurangan Fe banyak terjadi pada hewan yang cepat bertumbuh. Karena telur mengandung 1 mg Fe, petelur perlu mendapat banyak Fe, tetapi kebanyakan makanan unggas telah cukup mengandung Fe.

Tembaga (Cu)

Tembaga berperan dalam sistem enzim, sintesa hemoglobin (zat warna merah darah) dan pigmen. Tembaga dan besi mempunyai sifat dan kepentingan yang sama dalam pembentukan hemoglobin. Tetapi Fe adalah bagian dari molekul hemoglobin sedangkan Cu tidak. Cu terdapat disemua jaringan tubuh, hati, otak, jantung dan ginjal mengandung Cu dengan kadar yang tinggi. Cu dalam darah terdapat baik dalam plasma maupun dalam eritrosit dalam konsentrasi yang hampir sama. Sebagian besar Cu dalam plasma terdapat sebagai seruloplasmin dan yang dalam eritrosit sebagai eritrokuprein .

Fungsi fisiologik Cu adalah sebagai biokatalisator dalam tubuh. Enzim yang tergantung pada Cu adalah metallo-protein, yaitu protein yang mengikat Cu. Diantara kupro enzim adalah sitokrom oksidase, dopamine beta hidroksilase, super oksida dismutase, tirosinase dan livil oksidase.

Keadaan patologik akibat kekurangan kekurangan Cu adalah anemia pada hewan muda. Keadaan patologik lain adalah tidak berfungsinya jaringan pengikat, kerapuhan tulang dan gangguan kardiovaskuler. Gangguan tulang termasuk kelumpuhan, pembengkakan sendi dan kerapuhan tulang. Ini diduga berkaitan dengan kegagalan untuk mengendapkan tulang dalam matriks organikanya, yaitu kartilago. Hal ini karena kegagalan pembentukan kolagen, senyawa utama dalam kartilago, dan ini disebabkan karena kekurangan Cu. Pada defisiensi Cu, kolagen gagal untuk membentuk "cross linkage" dan pemasakan, karena kekurangan lisil oksidase, suatu metallo enzim. Lisil oksidase adalah amino oksidase yang diperlukan untuk oksidasi karbon epsilon dari lisin yang bereaksi dengan senyawa lain menjadi "cross-linkage" yang normalnya terdapat dalam kolagen yang kuat dari kartilago.

Mangan (Mn)

Mangan terdapat pada tulang, hati, otot, ginjal, jaringan gonad, serta kulit. Fungsi mangan dalam tubuh adalah sebagai aktivator enzim untuk enzim-enzim yang bekerja menghantarkan atau mentransfer fosfat, serta enzim yang berkaitan dengan siklus asam sitrat. Mangan juga merupakan komponen penting dari enzim karboksilase.

Berdasarkan fungsinya sebagai aktivator dari berbagai enzim penting tersebut, maka secara tidak langsung mangan ikut berperan dalam proses regenerasi sel-sel

darah merah, metabolisme karbohidrat, siklus reproduksi, metabolisme lemak dan fungsi-fungsi otak. Mn sebagai penyusun piruvat karboksilase sehingga defisiensinya menghambat metabolisme karbohidrat. Mn juga mempunyai peranan yang spesifik dalam sintesa mukopolisakarida dari kartilago, dan kekurangan Mn menyebabkan suatu sindrom yang pada ayam perosis atau "slipped tendon."

Kelainan tulang dan kebanyakan kejadian adalah pembengkokan kaki di mana tulang humeri lebih pendek dari normal. Tulang mengandung lebih sedikit abu, berat jenisnya rendah dan mudah patah. Defisiensi pada unggas mengurangi daya tetas dan ketebalan kulit telur. Kelumpuhan sering juga merupakan gejala kekurangan Mn. Kadar fosfatase dalam tulang rendah sehingga dapat diduga bahwa Mn berfungsi dalam oksidasi fosforilasi.

Bahan makanan dan hijauan cukup mengandung Mn. Jagung, ragi, dan produk hewan adalah sumber yang kurang baik. Makanan puyuh yang banyak mengandung jagung perlu diberi suplementasi Mn. Bekatul, dedak gandum, dan makanan hijau adalah sumber yang baik. Tanaman yang tumbuh dalam tanah asam sering mengandung Mn sampai 500 - 600 mg/kg bahan kering. Ayam dapat diberi Mn sampai 0,1 % tanpa gejala-gejala keracunan.

Seng (Zn)

Seng terdapat pada semua jaringan tubuh, sebagian besar terdapat dalam tulang, kulit dan bulu hewan. Zn bertanggung jawab pada perkembangan embrio dan pembentukan tulang. Zn berfungsi dalam metabolisme melalui dua cara:

1. sebagai komponen dari enzim
2. mempengaruhi konfigurasi struktur ligand-ligand organik non-enzim tertentu.

Metalloenzime yang mengandung Zn dan enzyme-enzim yang diaktifkan oleh Zn antara lain: alkali fosfatase, alkohol dehidrogenase, karbonat anhidrase, laktat dehidrogenase, glutamat dehidrogenase, karbopeptidase dan beberapa enzim seperti: RNA polimerase, DNA polimerase, timidine kinase dan lain-lain. Penurunan alkali fosfatase dalam darah menunjukkan gejala kekurangan Zn. Beberapa ligand non-enzim yang dengan Zn membentuk senyawa kompleks adalah alpha-2-makro-globulin glikoprotein dalam serum yang mengikat dengan kuat sekitar 30% Zn dalam plasma, dan albumin yang mengikat sekitar duapertiga

Zn dalam plasma, sedang asam amino tertentu mengikat kira-kira 2%. Zn juga mengikat ferritin, nukleoprotein dan lain-lainnya.

Proses-proses yang sangat dipengaruhi oleh kekurangan Zn adalah metabolisme DNA, RNA, protein, dan mukosakkharide. Defisiensi Zn pada semua hewan menyebabkan pertumbuhan terlambat sebagai akibat kurang dapat digunakannya protein dan sulfur. Defisiensi Zn menyebabkan gangguan metabolisme glukosa, yang mungkin karena berkurangnya pengambilan glukose oleh sel. Oleh karena Zn berperan dalam banyak proses-proses metabolisme yang penting, banyak sistem dalam tubuh yang terganggu kalau terjadi kekurangan, terutama dalam fase pertumbuhan yang cepat. Defisiensi Zn dapat diperhebat oleh adanya Ca yang tinggi dalam makanan. Kadar fosfor yang tinggi juga antagonik dengan Zn. Gejala defisiensi pada ayam yang bertumbuh adalah pertumbuhan yang jelek, pembentukan bulu yang jelek. Gangguan reproduksi juga dijumpai.

Molibdenum (Mo)

Meskipun Mo telah lama diketahui sebagai unsur yang penting pada tanaman, tetapi kepentingannya dalam tubuh hewan baru saja diketahui. Molibdenum dianggap sebagai unsur toksik daripada unsur yang diperlukan. Keracunan Mo ini berhubungan dengan tembaga dan belerang. Mo termasuk dalam unsur yang esensial dan merupakan penyusun enzyme xantin oksidase yang berfungsi dalam metabolisme dari purin. Molibdenum juga sebagai konstituen nitrat reduktase yang berguna untuk konversi nitrat menjadi nitrit dalam tanaman. Juga sebagai konstituen dehidrogenase dalam bakteri. Unsur ini tersebar luas dalam alam, sehingga tidak ada bahaya kekurangan Mo.

Selenium (Se)

Selenium penting untuk keperluan beberapa jenis hewan dan juga manusia. Selenium dapat mencegah terjadinya nekrosis hati pada tikus. Tanda-tanda defisiensi lainnya juga terjadi pada hewan-hewan yang lain, yaitu: diatesis exudatif pada ayam, miopatia lambung kalkun dan nekrosis hati pada babi. Gejala-gejala ini dijumpai pada hewan yang diberi makanan yang tumbuh dari tanah yang kekurangan selenium. Kekurangan Se juga menimbulkan distrofia otot pada domba yang disebut pula dengan "white muscle disease". Keadaan ini dapat

dijalankan secara eksperimental dengan pemberian makanan yang dimurnikan, tanpa mengandung Se.

Glutation peroksidase diketahui sebagai selenoenzyme dan aktivitasnya dihambat pada keadaan kekurangan Se. Kekurangan enzyme ini dapat untuk menerangkan adanya gejala defisiensi, karena ini sebagai katalisator untuk mentransfer pereduksi dari glutation yang tereduksi kepada hidrogen peroksida atau kepada lipida peroksidase. Se dalam glutation peroksidase melindungi jaringan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh lipida peroksidase dengan jalan merusak peroksidase tersebut, sedang asam amino yang mengandung S adalah prekursor glutation peroksidase. Vitamin C dan E adalah anti oksidan yang mungkin mencegah terjadinya pembentukan peroksidase.

Di Amerika, terjadi keracunan Se, yang disebut "alkali disease" dan "blind staggers." Alkali disease adalah bentuk kronik yang terjadi sefelafti dalam waktu yang lama makan spesies tanaman tertentu yang mengandung Se 30 mg/kg bahan kering. Keracunan Se terjadi pada kuda, sapi dan domba dan gejalanya sama, yaitu: kelesuan, kaku sendi, kelumpuhan, lepasnya kuku dan kelainan lainnya. "Blind staggers" adalah bentuk akut keracunan Se, terjadi kebutaan dan paralysis. Gulma tertentu dapat menimbun Se sehingga kadarnya 1,2 mg/kg bahan kering. Makanan yang mengandung 5 mg/kg dapat berbahaya terhadap ternak. Kadar dalam tanaman berhubungan erat dengan kadar Se dalam tanah, tanah dapat mencapai 40 mg/kg, sehingga tanah yang mengandung 0,5 mg/kg dapat dikatakan berbahaya.

Kelebihan Se menyebabkan gangguan reproduksi pada sapi, babi, domba dan ayam. Hewan-hewan muda lebih peka terhadap keracunan ini dan hambatan pertumbuhan adalah gejala pertamanya, yang kemudian diikuti dengan gejala lain yang telah disebutkan. Untungnya kejadian keracunan ini tidak tersebar luas di dunia dan kelihatannya kekurangan Se bahkan lebih tersebar dan suplementasi Se dapat dianjurkan dalam pemberian makanan secara praktis.

Kromium (Cr)

Kromium diketahui sebagai unsur yang diperlukan dalam metabolisme glukosa. Cr berhubungan dengan "Glukose Toleranse Faktor (GTF), Penelitian tentang Cr dimulai dari observasi dengan pemberian ransum Yeast pada tikus, yang menghasilkan kelainan GTF-nya. Dalam percobaan ini tikus yang

kekurangan Cr tidak dapat menggunakan glukose secepat tikus yang diberi suplementasi Cr dalam ransumnya.

Perhatian terhadap Cr dan GTF bertambah besar pada pertengahan tahun empat puluhan ketika didemonstrasikan pertambahan toleransi, glukose pada manusia dan orang-orang tua, setelah pemberian 150-250 mg Cr kloride per hari. Kemudian juga ditunjukkan adanya perbaikan terhadap anak-anak yang menderita malnutrisi dengan suplementasi Cr. Sekarang dapat diduga bahwa Cr adalah esensial bagi semua hewan.

GTF adalah mikronutrien yang penting yang mengandung Cr valensi tiga. Cr dalam bentuk sebagai GTF menyerupai cara kerja mirip hormon, dilepaskan dalam darah sebagai respons terhadap rangsangan insulin. GTF cepat ditransport ke perifer di mana menstimulasi reaksi yang mempercepat penggunaan glukose dalam darah yang apabila tidak ada GTF ini reaksi tersebut berlangsung lebih lambat. Apabila terjadi penambahan insulin dalam darah dengan cepat, GTF dilepaskan dan menambah potensi insulin. Gejala-gejala defisiensi terutama berhubungan fungsi GTF. Pada hewan yang diberi makan ransum kekurangan Cr menunjukkan pertumbuhan terhambat, degenerasi nekrotik dari hati dan penggunaan glukose yang kurang efisien.

Fluor (F)

Konsentrasi yang terbesar dalam tubuh terdapat dalam tulang. Fluor banyak terdapat dan tersebar luas dalam alam. Meskipun F dibutuhkan dalam jumlah yang kecil, tetapi jumlah yang besar adalah bersifat racun. Kelainan tulang dan sendi juga terjadi dengan tonjolan-tonjolan pada tulang panjang (exostosis).

Fluor adalah racun yang akumulatif sehingga gejala keracunan terjadi dalam waktu yang lama. Bahaya keracunan ini adalah air minum yang mengandung fluor Campuran mineral yang mengandung lebih dari 0,3% fluor berbahaya untuk semua ternak.

Nikel (Ni)

Nikel merupakan unsur yang esensial. Dalam percobaan dengan ayam yang diberi makanan tanpa Ni dan tidak mungkin adanya kontaminasi Ni melalui air ataupun udara memperlihatkan gejala-gejala: kaki lebih pendek dan lebih tebal, hematokrit dan plasma kolesterol lebih rendah dan tingginya kadar kolesterol

dalam hati, kulit kaki mengandung lebih sedikit pigmen lipokrome kuning. Kelainan ultra struktur adalah pembengkakan mitokhondria dalam sel-sel hepar. Apabila keadaan dan makanan yang sama diberikan pada tikus, tikus menunjukkan pertumbuhan yang lambat dan kematian anak yang baru lahir. Fungsi fisiologis Ni belum jelas, tetapi beberapa postulasi adalah kemungkinan peranannya dalam pemeliharaan membran, prolaktin, metabolisme asam nukleat atau sebagai kofaktor dari enzim. Meskipun Ni adalah unsur esensial, suplementasi Ni dalam ransum tidak diperlukan.

Vanadium (V).

Kekurangan unsur vanadium dapat menghambat pertumbuhan bulu pada sayap dan ekor. Kadar plasma kolesterol menjadi rendah pada ayam umur satu bulan yang kekurangan V. Perkembangan tulang abnormal. Pada tikus yang diberi makanan yang dipurifikasikan baik-baik dengan sumber protein asam-asam amino, dengan suplemen V terlihat adanya respon terhadap pertumbuhannya. Juga dilihat adanya penambahan PCV (packed cell volume) dan penambahan kadar besi dalam darah dan tulang pada tikus yang kekurangan V.

Reproduksi tikus-tikus ini terganggu. Fungsi tersifat V secara biologis atau biokimia belum diketahui dengan pasti, mungkin ikut serta dalam reaksi oksidasi-reduksi, sebagai katalisator dan dalam beberapa hal metabolisme tulang. Tidak pula diketahui kepentingannya secara praktis dalam makanan ternak.

Timah (Sn).

Timah adalah unsur esensial. Pertumbuhan menjadi lebih baik apabila Sn ditambahkan dalam makanan. Pemberian Sn dengan kadar 1-2 mg/kg makanan yang dengan asam amino sebagai bahan utamanya, terjadi perbaikan pertumbuhan sampai "60%.

Silikon (Si).

Semua jaringan tubuh hewan mengandung Si. Serum darah mengandung sekitar 1- 2 mg per 100 ml, dan ini terdapat dalam bulu. Beberapa bahan makanan mengandung Si sampai 0,7%, misalnya dedak sangat banyak mengandung Si. Peranan fisiologik dari Si terhadap pembentukan tulang belum diketahui. Tetapi penelitian in vitro menunjukkan Si berperan pada tempat-tempat pembentukan

tulang yang aktif. Diduga bahwa Si berperan bersama Ca dalam fase pertama kalsifikasi jaringan osteoid. Dalam hubungan ini, Si mungkin ikut serta dalam pembentukan kartilago. Oleh karena Si adalah komponen dari kolagen yang menjadi perlekatan mukosakarida maka fakta ini menguatkan pendapat bahwa Si adalah mineral esensial. Kadar Si dalam beberapa jaringan hewan menurun dengan makin tuanya hewan. Misalnya kadar Si dalam aorta, kulit, timus menurun dengan nyala pada umur tua. Meskipun kebutuhan Si telah diketahui untuk hewan-hewan percobaan tetapi kebutuhan untuk ternak tidak diketahui, Si mungkin mempunyai implikasi yang penting dalam ilmu makanan yang praktis.

Brom (Br).

Beberapa laporan menunjukkan bahwa Br diperlukan untuk puyuh. Laporan ini masih belum dikuatkan sehingga fungsi unsur ini dalam makanan belum jelas.

Aluminium (Al).

Baik tanaman maupun hewan mengandung sedikit unsur ini dalam tubuhnya, tetapi fungsi fisiologisnya belum dapat ditunjukkan, kecuali bahwa kadar Al yang tinggi akan bersenyawa dengan fosfor dan menyebabkan gangguan absorpsi fosfor.

Nitrat

Nitrat secara relatif tidak toksik dan toksisitasnya disebabkan oleh karena bentuk tereduksinya, nitrit. Nitrit mengoksidasi ion ferro dalam hemoglobin, menjadi ferri dan terjadi metemoglobin sehingga darah tidak dapat mengangkut oksigen dan terjadi gejala-gejala keracunan, yaitu: pernafasan cepat, jatuh dan mati karena gangguan respirasi.

Dosis lethalis dipengaruhi oleh beberapa faktor dan diduga sekitar 1% nitrat dalam bahan kering. Kalau bahan makanan mengandung nitrat dikonsumsi dengan cepat akan lebih berbahaya daripada kalau dikonsumsi secara pelan-pelan. Adanya karbohidrat dapat mengurangi bahaya keracunan ini.

SISTEM DIGESTI PADA PUYUH

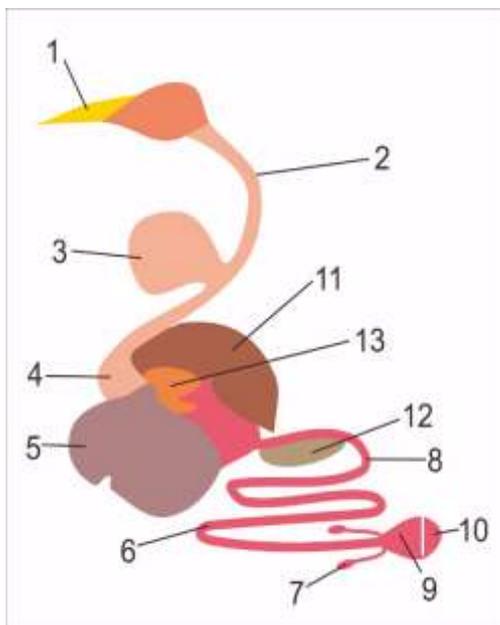
STRUKTUR DAN FUNGSI

Sistem digeti/pencernaan pada puyuh sangat sederhana namun efisien bila dibandingkan dengan banyak spesies lain, karena sistem pencernaan yang sederhana akan lebih ringan jika dipakai untuk terbang. Sistem pencernaan terdiri dari saluran pencernaan bersama-sama dengan keenjar pencernaan yaitu hati dan pankreas. Sistem pencernaan bertanggung jawab terhadap pakan yang dikonsumsi, pemecahan makanan menjadi bentuk yang sederhana, penyerapannya ke aliran darah, dan metabolisme serta eliminasi hasil buangan dari proses pencernaan tersebut. Hati memproduksi empedu dan berhubungan dengan metabolisme nutrisi bersama-sama dengan sejumlah fungsi lainnya. Fungsi utama dari pankreas adalah produksi enzim pencernaan dan hormon.

Saluran pencernaan

Saluran pencernaan pada puyuh dimulai dari paruh dan berakhir sampai kloaka. Umumnya saluran pencernaan memiliki lapisan otot yang tersusun sirkuler dan longitudinal dan dilapisi dengan membran mukosa. Terdapat kelenjar yang menghasilkan cairan pencernaan.

Struktur saluran pencernaan :



1. paruh / beak
2. Esofagus
3. Tembolok (Crop)
4. Lambung Kelenjar (Proventriculus)
5. Lambung Keras (Ventriculus/gizzard)
6. Usus Halus
7. Sekum (Caecum)
8. Usus Besar
9. Kloaka
10. Anus
11. Hati
12. Pankreas
13. Limfa

Gambar 10. Saluran pencernaan pada puyuh

Nutrisi dari makanan, setelah dicerna, diserap melalui dinding saluran pencernaan menuju sistem peredaran darah untuk transportasi ke hati atau bagian lain dari tubuh. Makanan yang tersisa dieliminasi dari tubuh melalui kloaka.

Paruh

Puyuh tidak mempunyai bibir, pipi dan gigi sejati. Peranan bibir dan gigi digantikan oleh rahang yang menanduk dan membentuk paruh. Bagian mulut atas dan bawah tersusun atas lapisan tanduk, bagian atas dan bawah mulut dihubungkan ke tengkorak dan berfungsi seperti engsel. Lidah puyuh keras dan runcing seperti mata anak panah dengan arah ke depan. Bentuk seperti kail pada belakang lidah berfungsi untuk mendorong makanan ke esofagus sewaktu lidah digerakkan dari depan ke belakang. Lidah berfungsi untuk membantu menelan makanan. Kelenjar saliva mengeluarkan sejenis mukosa yang berfungsi sebagai pelumas makanan untuk mempermudah masuk ke esofagus. Di dalam mulut tidak diproduksi amilase. Sel sensor rasa (*taste sensory cells*) terdapat di dalam rongga mulut atau lidah, namun sel sensor rasa pada unggas termasuk puyuh kurang berkembang dibandingkan dengan ternak mammalia. Makanan dan air diambil dengan cara seperti menyendok saat minum dengan menggunakan paruh (*beak*), dan masuk ke dalam esofagus setelah kepala menengadah dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Makanan tersebut disimpan dalam tembolok untuk dilunakkan dan dicampur dengan getah pencernaan proventrikulus.

Kelenjar ludah

Banyak saluran kelenjar ludah menembus langit-langit keras untuk melepaskan sekresinya ke dalam rongga mulut. Sebuah lapisan tebal yang permukaannya dilapisi oleh epitel skuamosa berlapis. Kelenjar ludah terdapat sepanjang palatum, sekelompok kelenjar yang bergabung untuk membentuk massa jaringan kelenjar di bawah epitelium. Jaringan limfoid ditemukan di sebagian besar kelenjar.

Kelenjar ludah terdapat pada :

1. Maxila/ rahang atas - di atap mulut
2. Palatine - pada kedua sisi nasal yang terbuka ke atap mulut

3. Kelenjar Aphenopteryoid - di atap faring pada setiap sisi biasanya terbuka ke tabung eustachius (tabung eustachius menghubungkan telinga tengah ke mulut dan fungsi mereka adalah untuk menyamakan tekanan udara pada setiap sisi membran timpani di telinga)
4. Anterior kelenjar sub-mandibula di sudut yang dibentuk oleh persatuan paruh atas dan bawah atau rahang
5. Kelenjar posterior sub-mandibula
6. Kelenjar Lingual - di lidah
7. kelenjar Crico-arytenoid - sekitar glottis
8. Sebuah kelenjar kecil di sudut mulut

Faring dan lidah

Faring berlanjut ke mulut. Kombinasi rongga mulut dan faring disebut orofaring. Biasanya terbuka ke kedua tabung eustachius yang terletak di tengah-tengah dinding dorsal (atap). Lidah panjang dan runcing dan sesuai dengan bentuk paruh di mana epitel lidah tebal dan mengeras, khususnya kearah ujung. Terdapat sederet papila ke arah belakang rongga mulut terletak di ujung posterior. Tulang hyoid untuk menyokong lidah. Tulang entoglossal meluas secara longitudinal pada bidang median. Jaringan limfatik terletak di seluruh corium. Kelenjar mukosa yang terletak di lidah dengan saluran pendek menuju ke arah belakang.

Mulut memiliki dua fungsi utama:

1. Untuk mengambil partikel makanan.
2. Untuk mengarahkan makanan ke kerongkongan

Pergerakan dalam mulut dan faring saat menelan didasarkan pada diinervasi oleh saraf lingual dan larngo-lingual dari cabang2 saraf glossopharyngeal.

Rongga mulut dan permukaan lidah dilapisi oleh epitel skuamosa berlapis. Sel-sel reseptor ini menanggapi rangsangan dengan cara yang mirip dengan sel mamalia terhadap garam, pahit atau asam. Kelenjar ludah secara luas tersebar di seluruh mulut dan faring. Setiap kelenjar mengandung sel-sel mukosa yang menghasilkan mukus yang dirangsang oleh adanya makanan dan oleh stimulasi parasimpatis.

Esofagus/kerongkongan

Esofagus merupakan saluran memanjang berbentuk seperti tabung, menghubungkan daerah mulut dengan ingluvies/crop dan berhubungan erat

dengan trakea. Dinding dilapisi selaput lendir yang membantu melicinkan makanan untuk masuk ke ingluvies. Setiap kali puyuh menelan secara otomatis esofagus menutup dengan adanya otot. Fungsi esofagus adalah menyalurkan makanan ke ingluvies. Dinding esofagus terdiri dari empat lapisan jaringan: Lapisan mukosa mengandung kelenjar mukosa yang mensekresikan mukus ke dalam lumen esofagus dan membantu untuk melumasi makanan yang melewati esofagus. Esofagus dilapisi oleh otot yang tersusun secara sirkuler (sebelah dalam) dan longitudinal (sebelah luar) serta dilapisi oleh lapisan adventisia yang elastis dan jaringan fibrosa yang mengandung pembuluh darah, nervus vagus dan saraf simpatik.

Crop (Ingluvies/ tembolok)

Ingluvies mempunyai bentuk seperti kantong adalah pelebaran besar dari esofagus terletak sebelum memasuki rongga dada. Ingluvies menyediakan kapasitas untuk menahan makanan untuk beberapa waktu sebelum pencernaan lebih lanjut dimulai. Pada bagian dindingnya terdapat banyak kelenjar mukosa yang menghasilkan getah yang berfungsi untuk melembekkan makanan. Ingluvies berfungsi menyimpan dan menerima makanan untuk sementara sebelum masuk ke proventriculus. Terjadi sedikit atau sama sekali tidak terjadi pencernaan di dalamnya kecuali jika ada sekresi kelenjar saliva dalam mulut. Pakan unggas yang berupa serat kasar dan bijian tinggal di dalam tembolok selama beberapa jam untuk proses pelunakan dan pengasaman.

Ingluvies mempunyai peran utama dalam penyimpanan makanan, melembabkan, serta hambatan bakteri pathogen melalui penurunan pH oleh fermentasi mikroba. Ingluvies memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi enzim eksogen (misalnya phytase dan amilase mikroba, β -glukanase), serta aktivitas bakteriosin. Fungsi dari Ingluvies tergantung pada sejumlah faktor termasuk umur, faktor makanan, infeksi serta manajemen.

Anatomi Ingluvies

Struktur ingluvies sama dengan esofagus namun jumlah jaringan limfoid lebih sedikit dan tidak ada kelenjar. Ingluvies adalah organ berbentuk tabung yang merupakan bagian yang diperbesar dari kerongkongan. Ingluvies ditandai dengan dinding tipis. Dinding ingluvies menempel pada kulit dan klavikula oleh jaringan

ikat longgar serta sternum oleh musculus(otot) kompresor ingluvialis. Selanjutnya, musculus pars cucullaris capitis clavicularis membentuk permukaan yaitu musculus levator ingluvies yang mendukung posisi ingluvies. Melalui pintu masuk ingluvies (ostium ingluviale), pakan ditransfer ke divertikulum tunggal dan kemudian turun ke ingluvialis fundus. Ingluvies terletak terutama di sebelah kanan trakea. Struktur penampang dinding ingluvies terdiri dari: epitel skuamosa berlapis dengan keratin, lamina propria, kelenjar mukosa – glandula ingluviales (dekat daerah esophagus), otot mukosa, submukosa, lapisan otot melingkar sebelah dalam dan lapisan otot longitudinal sebelah luar. Tunika mukosa ingluvieis mengandung plika ruge ingluvieis. lapisan otot berperan dalam menggiling makanan secara mekanik. sfingter esofagus burung tidak berkembang seperti mamalia.

Proventriculus

Proventrikulus merupakan perbesaran terakhir dari esophagus dan juga merupakan perut sejati dari unggas. Proventriculus merupakan bagian kelenjar saluran pencernaan (sering disebut perut kelenjar), tempat terjadinya pencernaan secara enzimatik, karena dindingnya disekresikan asam klorida, pepsin dan getah lambung yang berguna mencerna protein. Sel kelenjar secara otomatis akan mengeluarkan cairan kelenjar perut begitu makanan melewatinya dengan cara berkerut secara mekanis. Karena makanan berjalan cepat dalam jangka waktu yang pendek di dalam proventriculus, maka pencernaan pada material makanan secara enzimatik sedikit terjadi.

Proventriculus relatif kecil dan tubular, dinding sangat tebal dan terdiri dari lima lapisan:

1. membran serosa lapisan paling luar
2. lapisan otot terdiri dari tiga lapisan terpisah:
 - Dua lapisan otot tersusun longitudinal
 - Satu lapisan otot tersusun sirkuler
3. Lapisan jaringan areolar yang mengandung pembuluh darah dan limfe
4. lapisan tebal terutama terdiri dari jaringan kelenjar
5. membran mukosa

Kelenjar kelenjar membentuk lobulus yang masing-masing menyatu ke dalam rongga dekat permukaan. Rongga berkumpul untuk membentuk saluran yang mengarah ke permukaan melalui puncak dari papilla kecil. Kelenjar ini menghasilkan sejumlah jus atau enzim yang digunakan dalam pencernaan atau memecah makanan menjadi bentuk yang sederhana. Membran mukosa masuk ke dalam lipatan dan di antara lipatan ini banyak kelenjar tubular sederhana yang menghasilkan asam klorida serta terdapat jaringan limfoid.

Ventrikulus/Gizzard /Empedal/Rempela

Ventrikulus terletak setelah proventrikulus, sebagian di antara lobus hati dan sebagian di belakang lobus kiri hati. Setiap permukaan ditutupi oleh lapisan jaringan tendon yang tebal di tengah dan menjadi lebih tipis ke arah tepi. Di bawah lapisan luar terletak massa otot merah yang sangat kuat. Pada permukaan bagian dalam dilapisi dengan lapisan tebal. Ventrikulus hampir selalu mengandung sejumlah benda keras seperti kerikil atau pasir yang membantu dalam disintegrasi makanan, yang merupakan fungsi utama dari gizzard.

Ventrikulus berbentuk oval terletak diantara proventrikulus dan batas atas dari usus. Bagian atas lubang pemasukkan berasal dari proventrikulus dan bagian bawah lubang pengeluaran menuju ke duodenum. Besar kecilnya ventrikulus dipengaruhi oleh aktivitasnya, apabila unggas dibiasakan diberi pakan yang sudah digiling maka ventrikulus akan kurang berkembang. Ventrikulus mengandung sejumlah lapisan beberapa di antaranya mengandung kelenjar tubular. Lapisan paling dalam adalah kuat, fleksibel yang mampu menahan efek berpotensi merusak dari tindakan otot saat menggiling makanan, terusun dari jaringan otot yang tebal dan mempunyai mukosa yang tebal. otot pada ventrikulus dapat melakukan gerakan meremas kurang lebih empat kali dalam satu menit. Fungsi ventrikulus adalah untuk mencerna makanan secara mekanik dengan bantuan grit dan batu-batu kecil yang berada dalam ventrikulus yang ikut termakan oleh ayam. Grit dalam jumlah sedikit akan membantu di dalam menggerus makanan. Makanan yang sudah digiling halus, sedikit demi sedikit dilepas ke saluran pencernaan berikutnya atau ke usus halus.

Ventrikulus juga sebagai tempat pencernaan protein. Organ ini tersusun oleh 2 lapis otot tebal dan tipis. Ketika ventrikulus berkontraksi permukaan mukosa

dilindungi dari kerusakan oleh lapisan yang juga melindungi terhadap efek korosif dari campuran asam-enzim, yang mengalir dari proventrikulus. Ventrikulus menerima baik stimulasi dan penghambatan, dari vagus dan sistem saraf simpatik. Terdapat komunikasi yang ekstensif antara sel sel otot polos yang berdekatan dengan sistem saraf untuk perambat impuls secara cepat melalui masa otot dan oleh karena itu ventrikulus kontraktilitasnya cepat.

Usus halus

Usus halus memanjang dari ventrikulus sampai intestinum crasum. Usus halus relatif panjang dan memiliki diameter konstan. Usus halus terbagi atas tiga bagian yaitu duodenum, jejunum dan ileum. Duodenum berbentuk huruf V dengan bagian pars descendens sebagai bagian yang turun dan bagian pars ascendens sebagai bagian yang naik. Duodenum secara anatomis sejajar dengan pankreas. Pankreas mempunyai fungsi penting dalam pencernaan unggas, menghasilkan getah pankreas dalam jumlah banyak yang mengandung enzim-enzim yang berperan dalam pencernaan karbohidrat, lemak dan protein. Terdapat variasi panjang usus halus pada unggas yang dipengaruhi oleh kebiasaan makan. Usus halus akan lebih panjang pada unggas pemakan hijauan dan butiran sedangkan pada unggas pemakan daging lebih pendek. Proses pencernaan untuk pakan hijauan atau biji-bijian lebih lama dibandingkan dengan unggas pemakan daging hal ini dilihat dari perbandingan panjangnya usus halus pada unggas.

Selaput mukosa pada dinding usus halus memiliki vili vili yang menonjol seperti jari yang berfungsi sebagai penggerak aliran pakan dan memperluas permukaan penyerapan nutrisi. Penyerapan dilaksanakan melalui villi usus halus. Selain itu, ada dua plexi saraf utama yang mempersarafi usus halus. Plexus saraf submukosa mempersarafi pembuluh darah dan kelenjar sedangkan plexus saraf myenteric mempersarafi dua lapisan otot. Plexus saraf myenteric berhubungan dengan ventrikulus dan proventrikulus. Pada vili mamalia, bagian absorptive adalah central lacteal yang mengandung arteriol, venula dan pembuluh getah bening, namun pada unggas inti vili ditempati oleh kapiler.

Banyak dari pencernaan makanan dan semua penyerapan nutrisi terjadi di usus halus dan karenanya strukturnya cukup penting. Struktur adalah sebagai berikut:

1. Serosa – membrane serosa pada bagian luar intestinum
2. Lapisan otot longitudinal – sepanjang saluran intestinum
3. Lapisan otot sirkuler

Terletak di antara dua lapisan otot adalah

- Pembuluh darah
 - Pembuluh limfe
 - Jaringan serabut saraf
4. Sub-mucosa – areolar esofagus.
 5. Membran mukosa yang terdiri dari :
 - Muskularis mukosa, tebal, tersusun secara longitudinal dan sirkuler
 - Corium – banyak mengandung kelenjar, jaringan limfoid, serabut otot
 - Epithelium

Usus halus memiliki sejumlah fungsi yang sangat penting:

1. Menghasilkan sejumlah enzim yang terlibat dalam proses pencernaan
2. Tempat pencernaan makanan
3. Tempat penyerapan makanan

Vili

Vili - panjang pipih, meluas ke lumen (dalam) usus seperti jari-jari. Vili sangat aktif terlibat dalam proses penyerapan. Sebuah lapisan epitel kolumnar bersama-sama dengan sel goblet menyelimuti lapisan tersebut. Sel-sel goblet mensekresi mukus. Lipatan membran mukosa disebut “katup kerkring” yang terletak di ujung proksimal (paling dekat ke depan) dari duodenum. Sebuah lacteal (pembuluh getah bening), kapiler, bundel dari serat polos otot, saraf dan jaringan lain dan menempati di bagian pusat vili tersebut. Vili memiliki fungsi menyediakan luas permukaan untuk lebih meningkat penyerapan nutrisi yang lebih efisien. Efisiensi penyerapan dipengaruhi oleh luas permukaan yang tersedia untuk menggerakkan nutrien misalnya lebih banyak vili penyerapan lebih baik.

Duodenum

Setelah duodenum, usus halus membentuk kumparan dan tergantung dari dinding dorsal pada dinding abdominal oleh membran tipis yang disebut mesenterium. Membran ini membawa pembuluh darah yang berhubungan dengan usus. Duodenum dimulai dari ventrikulus dan membentuk lingkaran memanjang yang kira-kira 20 cm panjang. Pankreas terletak di antara loop (lengkung) dan melekat padanya.

Jaringan limfoid pada duodenum sangat berlimpah dan biasanya terletak di corium. Jaringan limfoid mengumpulkan getah bening dan pembuluh getah bening mantransport cairan, selain darah, yang ditemukan di ruang antara sel-sel dan jaringan sampai melewati sistem darah. Saluran empedu dari kandung empedu yang melekat pada hati dan dua sampai tiga saluran pankreas masuk ke usus halus oleh papilla pada akhir caudal (paling dekat ke belakang) dari duodenum. Pankreas adalah organ yang sangat penting dalam proses pencernaan makanan dan itu melekat pada setiap sisi loop duodenum dan terletak di antara lengkung duodenum.

Jejunum dan ileum

Jejunum dan ileum, dimulai pada ujung kaudal dari duodenum dimana empedu dan saluran pankreas berada dan berakhir di persimpangan ileo-sekum-kolik (usus besar). Persimpangan ini adalah di mana usus halus, dua caeca dan usus besar semua bertemu. Bagian dari usus halus mirip dengan struktur duodenum kecuali bahwa:

1. Tergantung di mesenterium
2. Vili lebih pendek
3. Sedikit jaringan limfoid

Divertikulum Meckel adalah tonjolan kecil pada permukaan luar dari usus halus sekitar setengah sepanjang usus halus. Pada daerah ini melekat kantung kuning telur selama perkembangan embrio.

Usus besar

Usus berupa saluran yang mempunyai diameter dua kali dari diameter usus halus dan berakhir pada kloaka. Usus besar sangat pendek dan tidak berbeda sampai batas tertentu dari usus halus. Usus besar berjalan di hampir garis lurus di bawah tulang belakang dan berakhir di kloaka. Bagian ini disebut sebagai kolon dan rektum (dubur menjadi bagian terminal). bursa Fabricius terletak tepat di atas kloaka burung muda tapi menghilang ketika burung dewasa.

Caeca /Sekum

Ceca merupakan saluran yang berakhir buntu yang menghubungkan antara usus halus dan usus besar dan dipisahkan oleh katup ileocecal. Secara histologi, ceca

mirip dengan usus halus dan menunjukkan tingkat aktivitas sekretori yang tinggi. Sekum merupakan tempat utama fermentasi mikroba pada saluran pencernaan.

Sekum mempunyai panjang sekitar 10 sampai 15 cm dan berisi calon tinja. Mereka memperpanjang sepanjang garis dari usus halus menuju hati dan melekat erat ke usus halus di sepanjang panjang mereka dengan mesenterium. Unggas yang memakan biji-bijian dapat memiliki dua sekum yang besar, sedangkan pada jenis unggas lainnya hanya terdapat kantung sekum yang rudimenter bahkan pada beberapa unggas tidak memiliki sekum sama sekali. Fungsi utama sekum secara jelas belum diketahui tetapi di dalamnya terdapat sedikit pencernaan karbohidrat dan protein dan absorpsi air. Di dalamnya juga terjadi digesti serat oleh aktivitas mikroorganisma.

Setiap usus buntu memiliki tiga bagian utama:

1. Sebuah dasar sempit dengan dinding tebal yang timbul di persimpangan ileo-kolik-sekum
2. Bagian Tengah dengan dinding tipis
3. Bagian apex lebar buntu dengan dinding cukup tebal

Usus besar berakhir di bagian depan kloaka. Kloaka adalah rongga berbentuk tabung terbuka ke arah luar tubuh dan biasanya untuk saluran digesti dan urogenitalia ke luar tubuh. Struktur kloaka sangat mirip dengan usus kecuali bahwa muskularis mukosa menghilang di dekat ventilasi. Ini terbagi menjadi tiga ruang, masing-masing dipisahkan oleh penyempitan tidak mudah didefinisikan:

1. Copradaeum - kelanjutan dari colon ke rectum
2. Urodaeum - bagian tengah di mana ureter dan saluran genital terbuka
3. Proktodeum membuka ke luar ventilasi. Burung berusia kurang dari satu tahun memiliki dorsal membuka, kantung bulat - bursa Fabricius

Kloaka

Kloaka merupakan bagian akhir dari saluran pencernaan. Kloaka merupakan lubang pelepasan sisa-sisa digesti, urin dan merupakan muara saluran reproduksi. Unggas tidak mengeluarkan urin cair. Urin pada unggas mengalir kedalam kloaka dan dikeluarkan bersama-sama feses. Warna putih yang terdapat dalam kotoran ayam sebagian besar adalah asam urat. Air kencing yang sebagian berupa endapan asam urat dikeluarkan melalui kloaka bersama tinja dengan bentuk seperti pasta putih.

Pada kloaka terdapat tiga muara saluran pelepasan yaitu *urodeum* sebagai muara saluran kencing dan kelamin, *coprodeum* sebagai muara saluran makanan dan *proctodeum* sebagai lubang keluar dan bagian luar yang berhubungan dengan udara luar disebut *vent*. Kloaka juga bertaut dengan *bursa fabricius* pada sisi atas berdekatan pada sisi luarnya. Kloaka pada bagian terluar mempunyai lubang pelepasan yang disebut *vent*, yang pada betina lebih lebar dibanding jantan, karena merupakan tempat keluarnya telur.

Organ tambahan

Organ tambahan mempunyai hubungan dengan saluran pencernaan dengan adanya suatu duktus yang berfungsi sebagai saluran untuk mengekskresikan material dari organ tambahan ke saluran pencernaan yang berguna untuk kelancaran proses pencernaan pakan. Ada tiga organ pencernaan tambahan yaitu hati, pankreas dan limpa.

Hati

Hati terletak diantara *gizzard* dan empedu, berwarna kemerahan dan terdiri dari dua lobus, yaitu *lobus dexter* dan *sinister*, yang terletak bagian ventral (bawah) dan posterior (di belakang) ke jantung dan berhubungan erat dengan proventriculus dan limfa.. Hati berwarna coklat gelap, ketika saat fase reproduksi warna hati cukup pucat karena akumulasi vitelogenin (bahan pembentuk kuning telur). Hati pada puyuh dewasa mempunyai berat sekitar..... Hati mensintesis empedu dan menyimpannya dalam kantong empedu yang terletak di lobus sebelah kanan. Puyuh memiliki dua saluran empedu yang berfungsi menyalurkan empedu dari hati ke intestinum. Saluran sebelah kanan membesar membentuk kantong empedu dimana sebagian besar empedu dilewatkan dan sementara disimpan. Saluran bagian kiri tidak membesar dan lebih sedikit empedu yang melewatinya. Makanan yang berada pada duodenum akan merangsang kantong empedu untuk mengkerut dan menumpahkan cairan empedu ke duodenum untuk mengemulsikan lemak

fungsi hati:

1. Pembentukan Empedu - yang terdiri dari empedu, berbagai pigmen dan garam empedu. Empedu terlibat dalam pencernaan lemak menjadi asam lemak dan

gliserol

2. Metabolisme: karbohidrat, lemak, protein
3. Produksi dan penghancuran sel darah
4. Sintesis protein plasma dan fibrinogen (yang berhubungan dengan pembekuan darah)
5. Penyimpanan glikogen, lemak dan vitamin yang larut dalam lemak misalnya vitamin A
6. Detoksifikasi zat tertentu (detoksifikasi - menghancurkan efek beracun). Sel-sel hati memiliki tingkat kerusakan dan kapasitas regeneratif yang baik (kemampuan re-generasi).
7. Tempat pembentukan vitelogenin (bahan pembentuk kuning telur)

Suplai darah dan drainase

Ada dua sistem suplai darah. Satu berasal dari arteri coelic untuk pemeliharaan normal dari hati sebagai organ dan yang kedua, yang disebut sistem portal hepatic, mengangkut nutrisi dari usus halus setelah penyerapan ke hati. Sistem terakhir ini memasuki hati melalui dua vena (satu untuk setiap lobus). Kedua sistem suplai darah bergabung bersama masuk ke dalam organ. Hati mengalirkan darah melalui vena hepatica ke dalam vena cava posterior (vena cava - salah satu pembuluh darah utama yang memasuki jantung). Hati memiliki jaringan sinusoid. Sistem portal hepatic, kapiler dari pembuluh darah arteri dan vena hepatica ber hubungan erat dengan satu sama lain dalam sinusoid ini.

Empedu

Empedu dibuat oleh sel-sel hati. Ketika pembuluh darah memasuki sinusoid, menjadi mudah untuk transfer material dari satu sistem ke sistem lain. Kanal yang disebut dengan kanalikuli memiliki tugas mengumpulkan dan mengangkut empedu berhubungan dengan sel-sel kanal akhirnya bergabung bersama untuk membentuk saluran empedu dengan satu akan langsung ke usus dan satu ke kandung empedu sebelum terhubung ke usus halus.

Pankreas

Organ ini memiliki tiga lobus yang menempati ruang antara dua loop (lengkung) duodenum. Dua atau tiga saluran melepaskan sekresi ke ujung distal duodenum melalui papila, biasanya dengan saluran dari kandung empedu dan hati. Struktur mirip dengan pankreas mamalia dan terdiri dari jaringan mensekresi khusus untuk jus pankreas serta kelompok lain dari sel-sel yang disebut “pulau Langerhans”. Ini terutama terkait dengan produksi hormon. Fungsi pankreas adalah menghasilkan jus pankreas yang merupakan campuran dari enzim pencernaan. Pankreas mensekresikan cairan pankreas ke duodenum melalui ductus pancreaticus dan menghasilkan enzim yang mendigesti karbohidrat, lemak dan protein yaitu amylase, lipase, dan tripsin.

Limpa

Limpa berbentuk agak bundar, berwarna kecoklatan dan terletak pada titik antara proventriculus, gizzard dan hati. Fungsi dari limpa diduga sebagai tempat untuk memecah sel darah merah dan untuk menyimpan Fe dalam darah, transport lemak. Tingkat serat kasar dalam ransum berpengaruh terhadap komposisi asam lemak volatil (VFA) isi sekum. Profil VFA tersebut didapatkan dengan makanan sumber serat, tepung selulosa serta perlakuan suplementasi enzim. Ayam kampung dan puyuh juga mengkonsumsi sejumlah pakan hijauan meskipun hanya dalam jumlah sedikit, artinya serat kasar dapat dicerna oleh mikrobial dalam sekum. Sebagian produk VFA (mmol/kg) di digesta di dalam gizzard unggas mencapai 5 (mmol/kg), usus halus 10 (mmol/kg), sekum 107 (mmol/kg), kolon 51 (mmol/kg), sebagian besar komponen VFA berupa asam asetat (61%). Proses fermentasi anaerob ikut memberi kontribusi pada kebutuhan energi dan protein.

DIGESTI DAN METABOISME PAKAN PADA PUYUH

PENCERNAAN

Prinsip pencernaan pada puyuh ada tiga macam :

1. Pencernaan secara mekanik (fisik): Pencernaan ini dilakukan oleh kontraksi otot polos. Puyuh tidak bergigi dan sebagai-gantinya maka makanan yang besar atau yang keras dipecah menjadi partikel-partikel kecil yang dibantu oleh bebatuan (grit). Pencernaan ini dilakukan di empedal (gizzard).
2. Pencernaan secara kimiawi (enzimatik). Pencernaan secara kimia dilakukan oleh enzim pencernaan yang dihasilkan:
 - kelenjar saliva di mulut
 - enzim yang dihasilkan oleh proventrikulus
 - enzim dari pankreas
 - enzim empedu dari hati dan
 - enzim dari usus halus. Peranan enzim-enzim tersebut sebagai pemecah ikatan protein, lemak, dan karbohidrat.
3. Pencernaan secara mikrobiologik (jumlahnya sedikit sekali) dan terjadi di caecum dan kolon.

Secara umum pencernaan pada puyuh meliputi aspek:

- a. Digesti (**pencernaan**) yang terjadi pada paruh, tembolok, proventrikulus, ventrikulus (empedal/gizzard), usus halus, usus besar, dan ceca;
- b. Absorpsi (**penyerapan**) yang terjadi pada usus halus (small intestine) melalui vili-vili (jonjot usus). Penyerapan zat-zat makanan sebagian besar terjadi di dalam usus halus (duodenum) karena permukaan dinding usus ini diperluas oleh adanya lipatan-lipatan dan villi, zat-zat makanan yang tidak dapat dicerna, tidak banyak bermanfaat bagi puyuh karena mikroorganisme (bakteri) yang seharusnya membantu pemecahan bahan-bahan makanan tidak mempunyai tempat khusus, dalam sistem pencernaan puyuh. Air sebagai zat makanan yang berada di dalam bahan makanan tersisa, diserap kembali oleh dinding usus besar dan dimanfaatkan kembali oleh tubuh.
- c. **Metabolisme** yang terjadi pada sel tubuh yang kemudian disintesis menjadi protein, glukosa, dan hasil lain untuk pertumbuhan badan, produksi telur

atau daging, pertumbuhan bulu, penimbunan lemak, dan menjaga/memelihara tubuh pada proses kehidupannya.

DIGESTI/ PENCERNAAN PADA PUYUH

Pencernaan utama mulai dari mulut sampai dengan kolon berturut-turut adalah proses hidrolisis, hidrolisis mekanis, hidrolisis enzimatik dan fermentatif.

Pencernaan di dalam mulut

Di dalam mulut belum banyak terjadi proses pencernaan walaupun puyuh sudah berusaha dengan paruh untuk memecah makanannya dan saliva disekresikan oleh kelenjar maksilaris, palatini, pterigoidea dan mandibularis. Saliva mengandung enzim amilase dalam konsentrasi yang rendah dan mempunyai aktivitas sampai di tembolok dan gizzard. Makanan bergerak sepanjang saluran pencernaan oleh gelombang peristaltik yang disebabkan karena adanya kontraksi otot sirkuler di sekeliling saluran.

Pencernaan di Ingluvies/ Tembolok

Fungsi tembolok adalah sebagai tempat penyimpanan sementara makanan yang masuk. Selanjutnya makanan dilunakkan dengan bantuan saliva dari kelenjar mulut, esofagus dan tembolok. Pencernaan Karbohidrat dimulai di tembolok oleh aktivitas enzim alfa amilase yang berasal dari kelenjar ludah. Alfa amilase ini digunakan untuk memecah pati (amilosa) menjadi gula lebih sederhana yaitu dekstrin dan maltosa. Pada tembolok terjadi proses fermentasi oleh bakteri yang didukung kondisi pH tembolok sekitar 6,3 dengan hasil akhir berupa asetat.

Tembolok banyak terdapat saraf yang berhubungan dengan pusat lapar-kenyang di hipotalamus sehingga banyak sedikitnya pakan di dalam tembolok mempengaruhi tindakan makan atau menghentikan makan. Bila tembolok kosong atau hampir kosong, maka akan dikirim sinyal ke susunan saraf pusat yang menandakan bahwa ayam tersebut “lapar”. Namun demikian perilaku makan pada unggas seperti puyuh juga dipengaruhi oleh kebiasaan bahwa puyuh akan ikut makan bila melihat temannya makan, karena mempunyai sifat *Alloimimetic Behaviour* (Jika salah satu anggota berbuat sesuatu yang lain cenderung berbuat sama).

Setelah melewati pelumasan di dalam tembolok, selanjutnya makanan akan menuju pada lambung kelenjar atau proventriculus

Pencernaan di Lambung (Proventrikulus dan Ventrikulus)

Lambung puyuh terdiri dari dua yaitu lambung kelenjar (proventrikulus) dan lambung (gizzard/ventrikulus) yang berhubungan dengan usus halus. Di proventrikulus tidak terjadi pencernaan pati karena pH disini rendah (2-4), sehingga aktivitas enzim alfa amilase menurun. Proses pencernaan yang terjadi di dalam proventrikulus yaitu pencampuran makanan dengan getah lambung (HCL, pepsin). Di proventrikulus terjadi pemecahan hemiselulosa dengan bantuan HCL menjadi gula yang lebih sederhana yaitu : Arabinosa dan xylosa.

Di Ventrikulus/gizzard juga tidak terjadi pencernaan pati karena alfa amilase membutuhkan pH 4,5 untuk beraktivitas, sedangkan pencernaan hemiselulosa tetap berlanjut disini. Di ventrikulus tidak terjadi pencernaan secara enzimatik. Selanjutnya makanan digiling dalam ventrikulus secara mekanis dibantu oleh adanya grit yang mampu meningkatkan kecernaan biji-bijian sampai 10%. Pemecahan bahan makanan dan molekul karbohidrat secara mekanis dari partikel yang lebih besar menjadi partikel yang lebih halus.

Asam lambung menyebabkan cairan dalam lambung bersifat asam dengan pH antara 1,0 – 2,0, sehingga proses pencernaan protein oleh enzim pepsin dengan cara hidrolisis berjalan dengan baik. Pencernaan protein mulai terjadi di proventrikulus. Makanan akan mengalami proses pencernaan hidrolisis atau enzimatik. Pencernaan tersebut dimulai dengan kontraksi otot proventrikulus yang akan mengaduk-aduk makanan dan mencampurkannya dengan getah pencernaan yang terdiri atas HCl dan pepsinogen (enzim yang tidak aktif). Apabila bereaksi dengan HCl, pepsinogen akan berubah menjadi pepsin (enzim aktif). HCl dan pepsin akan memecah protein menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti polipeptida, proteosa, pepton dan peptida. Aktivitas optimum pepsin dijumpai pada pH sekitar 2,0. Apabila makanan sudah berubah menjadi kimus (bubur usus dengan warna kekuningan dan bersifat asam) maka kimus akan didorong masuk ke ventrikulus. Keasaman (pH) ventrikulus berkisar antara 2,0 sampai dengan 3,5. Pepsin (kemungkinan besar berasal dari proventrikulus) masih bekerja memecah protein dalam ventrikulus. Dalam ventrikulus kimus akan mengalami proses pencernaan mekanis dengan cara penggilasan dan pencampuran oleh kontraksi otot-otot ventrikulus. Setelah itu, kimus kemudian didorong ke dalam usus halus.

Pencernaan di Usus Halus

Pencernaan di dalam usus halus oleh enzim pankreas, empedu serta getah usus. Pankreas menghasilkan getah pankreas dalam jumlah banyak yang mengandung enzim-enzim amilolitik, lipolitik dan proteolitik, yang berupa enzim amilase, lipase dan tripsin. Enzim-enzim tersebut berturut-turut menghidrolisa pati, lemak, proteosa dan pepton. Pankreas juga menghasilkan bikarbonat. Bikarbonat berfungsi untuk menetralkan keasaman atau pH isi usus, akibat asam klorida yang dikeluarkan oleh proventrikulus. Selain itu, duodenum juga menerima cairan empedu yang dihasilkan oleh hati melalui kantong empedu.

Pada pencernaan karbohidrat, proses pencernaan ini hanya mampu menghidrolisis karbohidrat sederhana sedangkan serat kasar tidak mampu didegradasi. Di usus halus terdapat bermacam-macam enzim pencerna karbohidrat : alfa-amilase, maltase (glukosidase), isomaltase (oligo-1,6 -glukosidase), sukrase (invertase), laktase. Karbohidrat oleh amilase akan diubah menjadi disakarida dan kemudian menjadi monosakarida (monosakarida). Pencernaan karbohidrat dalam usus halus puyuh terjadi pada bagian jejunum karena pada bagian ini enzim – enzim pencerna karbohidrat mempunyai aktivitas tertinggi, diikuti pada bagian ileum dan paling rendah aktivitasnya pada duodenum. Rendahnya aktivitas pencerna karbohidrat pada duodenum disebabkan oleh pH yang rendah yaitu sekitar 4,0.

Pencernaan protein yang terjadi di dalam usus halus dilakukan oleh enzim-enzim pencernaan dengan hidrólisis menjadi peptida sederhana dengan produk akhir asam-asam amino. Di dalam usus halus kimus akan bercampur dengan empedu yang dihasilkan oleh sel hati. Fungsi garam empedu adalah untuk menetralkan kimus yang bersifat asam dan menciptakan pH yang baik (sekitar 6 sampai dengan 8) untuk kerja enzim pankreas dan enzim usus. Pankreas menghasilkan endopeptidase berupa enzim tripsinogen dan kimotripsinogen. Proses pencernaan protein oleh khemotripsin akan diubah menjadi asam amino. Erepsin menyempurnakan pencernaan protein. eripsin memecah bentuk intermediet protein menjadi asam amino. Beberapa kontraksi menyebabkan kontraksi lokal yang disebut segmentasi, membantu dalam pencampuran kimus. Kontraksi lain yang disebut peristalsis lebih menyerupai gelombang. Satu lapisan otot dinding usus berkontraksi sepanjang beberapa sentimeter dan diikuti dengan lapisan lainnya. Kontraksi demikian ini menggerakkan makanan dalam jarak

pendek. Mukosa usus terdiri atas lapisan otot, jaringan ikat dan akhirnya epitel kolumnar sederhana dekat lumen. Pada epitel pelapis tersebut terdapat banyak sel goblet yang menghasilkan lendir dan sekresinya membantu melicinkan makanan dan melindungi lapisan usus terhadap kelecetan dan luka-luka karena zat-zat kimia.

Proses pencernaan lemak secara aktif dimulai secara hidrolisis dibagian usus halus, oleh adanya aktivasi garam empedu sebagai emulsifier yaitu mengemulsikan lemak dan selanjutnya lemak akan dipecah oleh enzim lipase menjadi asam-asam lemak dan gliserol, dan penyerapan vitamin-vitamin yang larut di dalam lemak seperti vitamin A, D, E dan K. Zat gizi hasil pencernaan tersebut kemudian diteruskan ke bagian usus halus berikutnya (jejunum dan ileum). Kedua bagian usus halus ini dipisahkan oleh suatu benjolan atau bintil kecil di bagian luar usus halus yang disebut *Meckel's diverticulum*. Penyerapan zat gizi hasil pencernaan makanan, sebagian besar terjadi pada bagian usus ini.

Caecum

Terdiri atas 2 ceca atau saluran buntu. Nutrien yang tidak tercerna akan mengalami dekomposisi oleh mikroba caecum. Tetapi penyerapan sangat sedikit. Di caecum pakan mengalami pencernaan secara mikrobiologi.

Usus besar

Pada usus besar terjadi perombakan partikel pakan yang tidak tercerna oleh mikroorganisme menjadi feses. Terjadi reabsorpsi air untuk meningkatkan kandungan air pada sel tubuh dan mengatur keseimbangan air pada unggas. Di bagian ini juga bermuara saluran urin dari ginjal, sehingga urin dan feses yang keluar akan menjadi satu dan disebut ekskreta. Feses dan urin juga akan mengalami penyerapan air sekitar 72-75%. Disini juga terdapat muara saluran reproduksi.

Kloaka

Saluran terakhir dari pencernaan puyuh adalah kloaka yang merupakan tempat pembentukan feces. Kloaka pada puyuh betina adalah daerah pertemuan antara saluran telur, urin, serta feces. Sebagian serat kasar lewat dari organ pencernaan utama masuk ke bagian akhir saluran pencernaan dan terjadi pencernaan fermentasi. Dengan demikian pencernaan nutrisi yang meliputi karbohidrat, lemak protein dan vitamin dapat diselesaikan oleh ternak unggas dan langsung diabsorpsi ke dalam tubuh, sedangkan nutrisi yang tidak dicerna yaitu

serat kasar yang lewat organ penyerapan utama akan didegradasi secara fermentatif terutama di sekum.

DIGESTI MIKROBIOLOGIS/FERMENTATIF

Pencernaan fermentatif pada ternak puyuh berlangsung dibagian tembolok, sekum, rectum dan kolon. Fermentasi terjadi oleh adanya serat kasar pakan dalam bagian saluran pencernaan tersebut. Mikriflora saluran pencernaan berasal dari luar tubuh yang masuk bersama makanan, yang mampu tumbuh baik di dalam saluran pencernaan dan dapat beradaptasi, tumbuh berkembang di dalam saluran pencernaan. Degradasi serat kasar oleh enzim selulase merupakan protein fermentasi dan pentosa yang terkandung dalam pakan menjadi asam organik terutama asetat propionat dan butirir atau dikenal sebagai Volatile Fatty Acid (VFA). Kondisi substrat yang mengisi sekum berasal dari usus halus yang masuk ke dalam sekum karena tidak dapat didegradasi oleh sistem pencernaan di usus halus, juga mengisi rectum. Hal ini didukung oleh kondisi saluran pencernaan yang lebih lentur dan lebih banyak menampung makanan. Pertumbuhan mikroflora tidak cukup hanya didasarkan pada ketersediaan sumber karbon tanpa sumber nitrogen.

KARBOHIDRAT

Serat kasar pada tanaman merupakan karboidrat struktural yang terdiri dari: selulosa, hemiselulosa dan lignin, selulosa disusun oleh 5000 unit molekul glukosa yang dihubungkan oleh ikatan beta 1,4 glikosida. Ikatan beta 1,4 glikosida hanya dapat dipecah oleh enzim selulase. Di dalam alat pencernaan puyuh/unggas dan hewan tingkat tinggi lainnya tidak ada enzim selulase. Puyuh tidak dapat memanfaatkan serat kasar sebagai sumber energi sehingga pemberiannya dalam ransum terbatas yaitu: 5.23% pada puyuh, 3-6% untuk ayam broiler dan sampai 8% untuk ayam petelur dan itik. Serat kasar dibutuhkan dalam jumlah yang kecil yang berperan sebagai *Bulky*, yaitu untuk memperlancar feses.

Pemberian laktosa pada ransum puyuh hanya diberikan sampai 10% dalam ransum karena jika lebih dapat menurunkan pertumbuhan. Terganggunya pertumbuhan ini disebabkan oleh 2 hal yaitu:

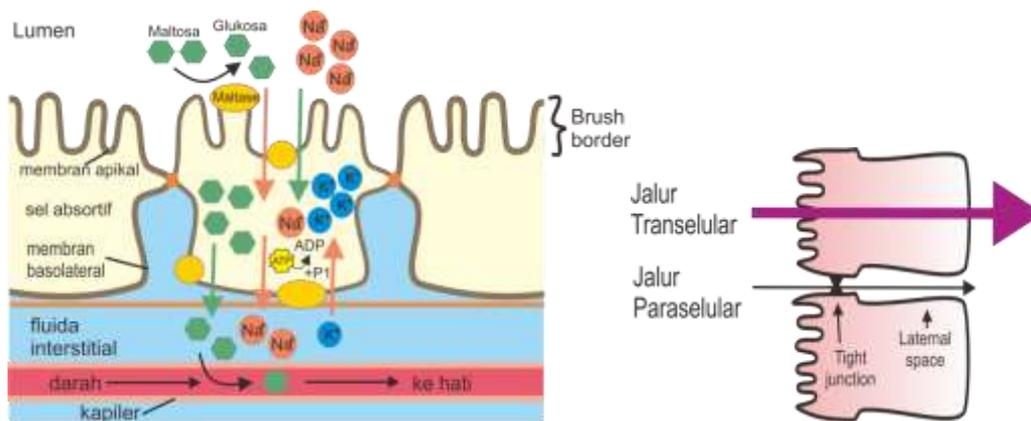
- a. Hidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa lambat karena jumlah enzim laktase pada saluran cerna (usus halus) terbatas, akibatnya glukosa yang

tersedia dalam darah menurun, sehingga energi menurun yang dapat menekan pertumbuhan.

- b. Laktosa yang tidak dihidrolisis akan menumpuk dalam usus halus dan akan menarik air yang ada disekitarnya karena sifatnya higroskopis. Keadaan seperti ini sangat disukai oleh mikroba yang dapat menimbulkan diare, akhirnya pertumbuhan puyuh juga menurun. Polimer gula dengan 5 atom C seperti araban dan xylan tidak bisa dicerna oleh unggas sebab tidak memiliki enzim untuk mencerna golongan pentosan tersebut, Araban dan xylan ini bisa dipecah oleh larutan asam dalam proventriculus dan ventriculus menjadi Arabinosa dan Xylosa. Arabinosa dan xylosa ini bisa diserap, tetapi jumlahnya terbatas.

ABSORPSI (PENYERAPAN) KARBOHIDRAT PADA PUYUH

Karbohidrat diserap dalam bentuk monosakarida, seperti: glukosa, fruktosa, galaktosa dan mannososa. Glukosa dan galaktosa diserap lebih cepat karena ia menggunakan sistem transport yang terikat pada protein pembawa (carrier) bersama-sama dengan sodium (Na^+). Fruktosa dan mannososa diserap lebih lambat karena menggunakan transport pasif atau secara difusi yang difasilitasi. Tempat penyerapan utama pada bagian Jejunum. Sebagian besar penyerapan merupakan suatu proses yang diperlihatkan dari kemampuan sel-sel epitel untuk menyerap secara selektif zat-zat seperti glukosa, galaktosa dan fruktosa dalam konsentrasi yang tidak sama. Glukosa diserap lebih cepat dari fruktosa, sepanjang epitelnya tidak rusak. Akan tetapi, sel sel epitel rusak/ mati, ke tiga macam gula sederhana itu akan melintasi mukosa dengan kecepatan yang sama, karena yang bekerja hanyalah kekuatan fisik dalam bentuk penyerapan pasif.



Gambar 11. Absorpsi glukosa oleh sel enterosit

Karena glukosa adalah molekul polar, maka tidak mudah berdifusi melewati membran plasma yang bersifat hidrofobik, oleh karena itu harus terdapat molekul pembawa untuk bisa masuk ke dalam sel. Glukosa diserap oleh intestinum unggas baik secara aktif oleh Na^+ tergantung glukosa transporter yang terletak di dalam membran luminal dari sel epitel intestinum dan transport pasif melalui rute paracellular. Transportasi glukosa meningkat selama 2-3 minggu pasca menetas, respon yang telah dikaitkan dengan peningkatan ketersediaan carier daripada peningkatan afinitas substrat.

Terdapat beberapa perbedaan Na^+ tergantung glukosa subtype transporter sepanjang sumbu usus dari duodenum ke ileum. Transporter berbeda dalam afinitas relatif mereka untuk glukosa dan galaktosa. Penyerapan gula di usus burung mengikuti pola $\text{D-galaktosa} > \text{D-glukosa} > \text{Dxylose} > \text{D-fruktosa}$. Transporter Na^+ tergantung glukosa ditemukan di membran apikal enterosit di villus atas dari jejunum, dan di tengah segmen dari usus kecil yang paling aktif dalam transportasi karbohidrat. Interaksi glukosa dan Na^+ dengan transporter memulai perubahan konformasi dan transportasi intraseluler dari 1 mol glukosa disertai oleh translokasi 2 mol Na^+ . Setelah ion Na^+ dan glukosa diinternalisasi, transporter kembali ke konformasi aslinya mengekspos situs substrat mengikat ke lumen usus. Energi yang dibutuhkan untuk proses ini dihasilkan oleh Na^+ - tergantung gradien elektrokimia dan ion Na^+ didorong oleh Na^+/K^+ ATPase yang terletak pada membran basolateral dari enterosit. Protein fasilitatif glukosa transporter (GLUT), GLUT1, GLUT2, dan GLUT3, serta GLUT5 fruktosa transporter ditemukan di usus halus dan ginjal. GLUT2 transporter adalah isoform utama yang bertanggung jawab untuk transportasi glukosa melintasi

membran basolateral sel epitel usus ke ruang ekstraselular serosa, sedangkan, Na⁺-tergantung transporter glukosa terlokalisasi dekat-perbatasan membran. GLUT5 isoform berlimpah di apikal dan membran basolateral dari usus dan memfasilitasi penyerapan fruktosa dari lumen usus dan eksodus yang dari epitel usus. Pengaturan GLUT2 dan GLUT5 dikendalikan oleh konsentrasi gula diet. GLUT2 mRNA meningkat dengan D-glukosa, D-galaktosa dan D-fruktosa, sedangkan GLUT5 mRNA diatur hanya dengan D-fruktosa.

TRANSPORTASI DAN METABOLISME KARBOHIDRAT

Setelah proses penyerapan melalui dinding usus halus, sebagian besar monosakarida dibawa oleh aliran darah ke hati melalui vena porta hepatica. Di dalam hati, monosakarida mengalami proses sintesis menghasilkan glikogen, oksidasi menjadi CO₂ dan H₂O, atau dilepaskan untuk dibawa dengan aliran darah ke bagian tubuh yang memerlukannya. Sebagian lain, monosakarida dibawa langsung ke sel jaringan organ tertentu dan mengalami proses metabolisme lebih lanjut. Monosakarida yang diserap oleh usus halus akan memasuki lintasan glikolisis. Hasil akhir glikolisis yaitu 2 asam piruvat dan 2 molekul ATP. Piruvat masuk ke dalam mitokondria dan di ubah menjadi asetil CoA sebelum memasuki siklus Krebs. Reaksi pada siklus Krebs yaitu: asetil CoA bersatu dengan OAA membentuk asam sitrat, selanjutnya asam sitrat berubah menjadi iso-sitrat, terus alfa-ketoglutarat, suksinil CoA, suksinat, fumarat, malat dan akhirnya terbentuk OAA kembali. Pada siklus Krebs ini dihasilkan sebanyak 12 ATP, pembentukan ATP terjadi melalui proses transpor elektron. Total ATP yang terbentuk pada pemecahan 1 molekul glukosa menjadi 6CO₂ dan 6H₂O 36 ATP. Energi yang dihasilkan KH yaitu 4,15 Kkal/gram KH, hampir sama dengan protein yaitu 4,10 Kkal/gram protein, sedangkan energi lemak sebesar 9,40 Kkal/gram lemak.

Glukosa dari katabolisme karbohidrat atau anabolisme non karbohidrat yang sangat penting dipertahankan kadarnya. Beberapa peran karbohidrat diketahui bukan hanya sebagai prekursor energi, namun beberapa hasil penelitian terdahulu melaporkan fungsi glukosa sebagai molekul penyangga tekanan osmotik agar tekanan osmotik darah dapat dipertahankan meskipun dalam keadaan dehidrasi dan stress panas dan menjaga ritme tekanan pembuluh darah serta kardiovaskuler. Insulin yang dihasilkan oleh kelompok sel-sel endokrin pankreas, yaitu pulau Langerhans, mengontrol pengambilan glukosa oleh sel-sel dan sintesis glikogen. Peningkatan

gula dalam darah merangsang sel-sel pankreas untuk memproduksi insulin. Insulin diangkut melalui darah ke seluruh tubuh tempat hormon ini untuk meningkatkan permeabilitas membran sel terhadap glukosa dan merangsang sintesis glikogen dalam sel otot dan hati. Reaksi kebalikannya, yaitu perombakan glikogen menjadi glukosa diatur oleh enzim pankreas, glukagon, dan oleh epinefrin. Tetapi sel-sel otot tidak mempunyai enzim untuk mengubah glukosa-6-fosfat menjadi glukosa, sehingga glikogen otot hanya dapat dipergunakan sebagai penimbunan energi untuk sel otot. Glukosa berfungsi sebagai prekursor untuk sintesis glikoprotein, trigliserida dan glikogen dan menyediakan sumber energi yang penting dengan menghasilkan ATP melalui glikolisis.

Gula disimpan dalam bentuk glikogen atau lemak. Glikogen disimpan dalam hati dan otot rangka, sedangkan lemak dalam jaringan lemak(adiposa) banyak terdapat dalam rongga perut dan dibawah kulit.

PROTEIN

Protein adalah senyawa organik yang sangat kompleks dengan berat molekul tinggi. Seperti halnya karbohidrat dan lemak, protein tersusun dari unsur-unsur C, H, dan O. Umumnya protein mengandung 16% unsur N dan kadang-kadang mengandung unsur fosfor atau sulfur. Protein mempunyai struktur dasar yang berbeda dari makromolekul biologi penting lainnya seperti karbohidrat dan lemak. Karbohidrat dan lemak mempunyai struktur dasar yang disusun oleh unit-unit yang sama atau pengulangan unit yang sama (misalnya pengulangan unit glukosa dalam pati, glikogen dalam selulosa). Sedangkan protein mempunyai lebih dari 100 unit dasar penyusun yang berbeda. Unit dasar penyusun protein adalah asam-amino. Dengan demikian protein dapat tersusun oleh rangkaian asam-amino yang bervariasi dan berderet, tidak hanya dalam komposisi protein tetapi juga dalam bentuk protein.

DIGESTI /PENCERNAAN PROTEIN

Pencernaan dimulai dari paruh dan diakhiri pada kloaka. Proses utama dari pencernaan adalah secara mekanik, enzimatik, ataupun mikroba. Proses mekanik terdiri dari penelanan makanan ke dalam mulut dan gerakan peristaltik alat pencernaan karena kontraksi otot usus. Pencernaan secara enzimatik atau kimiawi

dilakukan oleh enzim yang dihasilkan sel-sel kelenjar dari bagian alat saluran pencernaan, berupa getah-getah pencernaan. Disamping itu enzim dapat pula dihasilkan oleh mikroba usus yang dapat berasal dari ransum. Keasaman bagian-bagian alat pencernaan mempunyai efek terhadap kehidupan mikroba pencernaan yang erat sekali hubungannya dengan produk enzim pencernaan maupun enzim produk mikroorganisme dari ransum. Komponen ion H^+ dapat bersifat membunuh bakteri patogen ditambah dengan suasana pH yang rendah.

Setelah makanan melewati paruh akan disimpan sementara dalam tembolok, kemudian makanan akan menuju bagian proventrikulus. Pencernaan tersebut dimulai dengan kontraksi otot proventrikulus yang akan mengaduk-aduk makanan dan mencampurkannya dengan getah pencernaan yang terdiri atas HCl dan pepsinogen (enzim yang tidak aktif). Apabila bereaksi dengan HCl, pepsinogen akan berubah menjadi pepsin (enzim aktif). HCl dan pepsin akan memecah protein menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti polipeptida, proteosa, pepton dan peptida. Aktivitas optimum pepsin dijumpai pada pH sekitar 2,0. Apabila makanan sudah berubah menjadi kimus (bubur usus dengan warna kekuningan dan bersifat asam) maka kimus akan didorong masuk ke ventrikulus. Keasaman (pH) ventrikulus berkisar antara 2,0 sampai dengan 3,5. Pepsin (kemungkinan besar berasal dari proventrikulus) masih bekerja memecah protein dalam ventrikulus. Dalam ventrikulus, kimus akan mengalami proses pencernaan mekanis dengan cara penggilasan dan pencampuran oleh kontraksi otot-otot ventrikulus. Setelah itu, kimus kemudian didorong ke dalam usus halus. Usus halus terdiri atas duodenum, jejunum dan ileum. Kimus kemudian akan bercampur dengan empedu yang dihasilkan oleh sel hati. Fungsi garam empedu adalah untuk menetralkan kimus yang bersifat asam dan menciptakan pH yang baik (sekitar 6 sampai dengan 8) untuk kerja enzim pankreas dan enzim usus. Pankreas menghasilkan endopeptidase berupa enzim tripsinogen dan kimotripsinogen.

ABSORPSI (PENYERAPAN) PROTEIN (ASAM AMINO)

Penyerapan dimulai dengan kejadian pembesaran usus akibat kehadiran kimus. Beberapa kontraksi menyebabkan kontraksi lokal yang disebut segmentasi, membantu dalam pencampuran kimus. Kontraksi lain yang disebut peristalsis lebih menyerupai gelombang. Satu lapisan otot dinding usus berkontraksi

sepanjang beberapa sentimeter dan diikuti dengan lapisan lainnya. Kontraksi demikian ini menggerakkan makanan dalam jarak pendek. Mukosa usus terdiri atas lapisan otot, jaringan ikat dan akhirnya epitel kolumnar sederhana dekat lumen. Pada epitel tersebut terdapat banyak sel goblet yang menghasilkan lendir dan sekresinya membantu melicinkan makanan dan melindungi lapisan usus terhadap kelecetan dan luka-luka karena zat-zat kimia. Pada mukosa terdapat banyak vilus (jonjot) kecil berbentuk jejari tempat terdapat banyak pembuluh darah dan pembuluh limfa kecil. Lipatan sirkular dalam mukosa usus, vilus dan mikrovilus membentuk suatu tempat yang sangat luas untuk absorpsi (penyerapan). Pada dasar vilus terdapat bagian yang berbentuk tabung yang disebut kript Lieberkuhn. Pembelahan mitosis sel-sel epitel pada dasar kript akan terus menerus menghasilkan sel baru yang pindah ke luar melalui vilus dan terlepas. Dalam perjalanan ke luar, sel-sel itu berubah menjadi sel-sel goblet yang menghasilkan lendir dan sel-sel absorpsi. Lapisan epitel ini akan menyerap air dan zat-zat makanan. Eksopeptidase usus terdapat juga pada tempat membran sel absorpsi dari vilus dan sel-sel yang sama ini juga merupakan tempat absorpsi asam amino. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa asam-asam amino isomer L lebih siap diabsorpsi dibandingkan dengan asam-asam amino isomer D. Perbedaan ini ditandai dengan tingkat absorpsi di antara asam-asam amino itu sendiri. Tingkat absorpsi asam amino bergantung pada berat molekul, tetapi asam amino dengan ujung rantai non polar seperti metionin, valin, dan leusin lebih siap diabsorpsi dibandingkan dengan asam amino dengan rantai polar. Dijumpai juga bahwa L-metionin dan L-histidin diabsorpsi lebih cepat dibandingkan dengan isomer D.

Transport asam amino dari lumen usus halus ke sel mukosa melalui proses aktif dengan menggunakan gradien konsentrasi. Proses absorpsi ini ialah proses transpor aktif yang memerlukan energi. Asam-asam amino dikarboksilat atau asam diamino diabsorpsi lebih lambat daripada asam amino netral. Mekanisme transport membutuhkan energi khusus untuk asam amino bentuk L. Asam amino bentuk D lebih lambat diserap dibandingkan dengan bentuk L. Tiga mekanisme transport dideteksi dalam mukosa intestinal. Sistem pertama khusus untuk asam amino monoamino-monokarboksilat atau asam amino netral, sistem ke dua untuk arginin, lisin dan asam amino basa seperti sistin, dan sistem ke tiga untuk asam amino dikarboksilat atau asam amino asam.

Ada beberapa mekanisme bahwa penyerapan protein, karbohidrat dan lemak dapat dipengaruhi oleh kehadiran mikroflora usus. Secara fisiologis pengaruh tersebut ditunjukkan melalui mekanisme :

1. Mereduksi protein turnover dan kebutuhan energi dalam usus sebagai akibat dari menurunnya proliferasi sel crypt dan berkurangnya masa usus.
2. Sedikit mengurangi permintaan protein dalam hati untuk melakukan proses imunologis.
3. Meningkatkan jumlah persediaan asam amino untuk jaringan lain, terutama untuk sintesis otot rangka.
4. Meningkatkan penyerapan nitrogen.

Lebih jauh pada masa sekarang ini dikembangkan penggunaan probiotik karena dapat pula bermanfaat dalam :

- meningkatkan aktivitas enzim sukrase, laktase, tripeptidase dalam jonjot vili usus.
- kehadiran probiotik menyebabkan adanya bakteri patogen dalam usus babi dan unggas tidak membahayakan inangnya. Gangguan kronis dan akut hanya terjadi jika over populasi mikroba patogen.

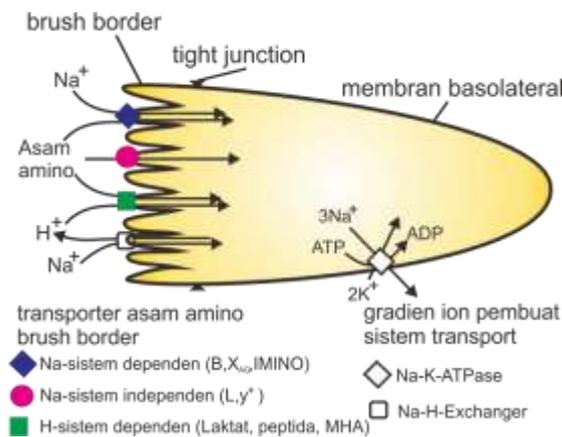
SISTEM TRANSPORT ASAM AMINO PADA USUS HALUS

Metabolisme asam amino dimulai dari uptake asam amino dari pakan yang dicerna dalam usus halus. Asam amino harus diabsorpsi melewati epithelium usus puyuh. Absorpsi asam amino, dipeptida dan tripeptida dari lumen usus halus ke dalam tubuh membutuhkan 2 sistem transport. Pertama adalah transporter asam amino yang terdapat pada brush border epitel usus. Mereka mentranspor asam amino bebas dan di atau tri peptida dari lumen usus ke bagian dalam sel epithelium. Kedua transporter asam amino yang terdapat pada membran basolateral sel epitel dan mentransport asam amino ke dalam serosa dimana mereka masuk ke sirkulasi sistemik. Transporter asam amino pada brush border dapat dikategorikan dalam 3 sistem : sistem tergantung Na^+ , sistem tidak tergantung Na^+ , sistem tergantung H^+ . sistem transporter asam amino tergantung Na^+ pada brush border meliputi sistem $\text{B}, \text{X}_{\text{AG}}$ dan sistem Imino. Sistem B mempunyai mekanisme absorptif untuk uptake asam amino netral. Mempunyai afinitas yang tinggi atau intermediate terhadap semua asam amino netral (met, thr, gly, val, ser, ile, leu, phe, his, tyr, cys, asn) dan juga mempunyai afinitas yang

rendah terhadap asam, basa, asam amino (glu, asp,lys,arg,pro.OH-pro). Sistem X_{AG} adalah sistem transport asam amino tergantung Na^+ yang lain terdapat pada semua tipe sel di dalam tubuh dan bertanggung jawab untuk transport glutamat dan aspartat. Sistem transportir asam amino tergantung Na^+ yang ketiga adalah sistem Imino yang mempunyai spesifisitas terbatas terhadap prolin dan hidroksi prolin. Sistem Imino hanya terdapat pada brush border usus.

Sistem transport tidak tergantung Na^+ terdapat pada brush border meliputi sistem y^+ dan L. Sistem y^+ mempunyai spesifisitas terbatas pada arginin dan lisin dan melakukan mekanisme absorpsi untuk asam amino basa. Transport disebabkan oleh potensial elektro negatif di dalam sel melewati membran sel. Sistem L spesifik terhadap asam amino netral rantai panjang dan bercabang.

Sistem transport di dan tripeptida tergantung H^+ . Sistem transport peptida ini bertanggungjawab untuk transport kurang lebih 20 -30 % asam amino diet yang diabsorpsi. Secara umum asam-asam amino setelah diserap oleh usus akan masuk ke dalam pembuluh darah, yang merupakan percabangan dari vena portal. Vena portal membawa asam-asam amino tersebut menuju sinusoid hati, di mana akan terjadi kontak dengan sel-sel epitel hati. Darah yang berasal dari sinusoid hati kemudian melintas menuju ke sirkulasi umum melalui vena-vena sentral dari hati menuju ke vena hepatic, yang kemudian masuk ke vena kava kaudal.



Gambar 12. Absorpsi asam amino pada enterosit (usus)

METABOLISME PROTEIN

Dalam sel, asam amino akan dibentuk kembali menjadi protein dengan melalui beberapa tahapan. Tahapan tersebut meliputi proses pembukaan (inisiasi), perpanjangan (elongasi) dan pengakhiran (terminasi). Proses sintesis protein melibatkan asam amino, molekul transfer RNA (tRNA), messenger RNA

(mRNA) dan ribosom. Dalam sel yang tidak aktif, terdapat asam amino bebas, tRNA, ribosom dan prekursor mRNA (yaitu nukleoside trifosfat bebas). Bila sel memerlukan protein, maka akan terjadi berbagai rangkaian aktivitas sebagai berikut. Pertama-tama adalah transkripsi mRNA dalam inti sel, kemudian mRNA masuk ke dalam sitoplasma. Tahap ke dua adalah pengikatan asam amino bebas dengan tRNA untuk membentuk asam amino asil tRNA. Tahap ke tiga adalah penempelan amino asil tRNA ke mRNA yang cocok di ribosom, yang selanjutnya akan menyebabkan asam-asam amino saling berikatan membentuk polipeptida. Tahapan ke empat setelah terjadi proses sintesis protein berakhir, mRNA akan terurai menjadi ribonukleosidetrifosfat dan ribosom akan kembali terpisah menjadi unit-unitnya.

PROSES PENGURAIAN PROTEIN DALAM TUBUH

Dalam tubuh, protein mengalami perubahan-perubahan tertentu dengan kecepatan yang berbeda untuk tiap protein. Ada tiga kemungkinan mekanisme perubahan protein yaitu :

1. Sel-sel mati, lalu komponennya mengalami proses penguraian atau katabolisme dan dibentuk sel-sel baru.
2. Masing-masing protein mengalami proses penguraian dan terjadi sintesis protein baru, tanpa ada sel yang mati.
3. Protein dikeluarkan dari dalam sel diganti dengan sintesis protein baru.

Protein dalam makanan diperlukan untuk menyediakan asam amino yang akan digunakan untuk memproduksi senyawa nitrogen yang lain, untuk mengganti protein dalam jaringan yang mengalami proses penguraian dan untuk mengganti nitrogen yang telah dikeluarkan dari tubuh dalam bentuk urea. Ada beberapa asam amino yang dibutuhkan oleh tubuh, tetapi tidak dapat diproduksi oleh tubuh dalam jumlah yang memadai. Oleh karena itu asam amino tersebut dinamakan asam amino esensial, harus diperoleh dari makanan.

Jumlah Asam Amino dalam darah tergantung dari jumlah yang diterima dan jumlah yang digunakan. Pada proses pencernaan makanan, protein diubah menjadi asam amino oleh beberapa reaksi hidrolisis serta enzim-enzim yang bersangkutan. Enzim-enzim yang bekerja pada proses hidrolisis protein antara lain

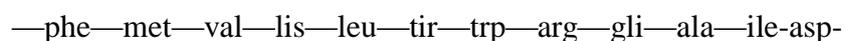
ialah *pepsin*, *tripsin*, *kimotripsin*, *karboksi peptidase*, *amino peptidase*, *tripeptidase* dan *dipeptidase*. Setelah protein diubah menjadi asam-asam amino, maka dengan proses absorpsi melalui dinding usus, asam amino tersebut sampai ke dalam pembuluh darah. Proses absorpsi ini ialah proses transpor aktif yang memerlukan energi. Asam-asam amino dikarboksilat atau asam diamino diabsorpsi lebih lambat daripada asam amino netral. Perpindahan asam amino dari dalam darah ke dalam sel-sel jaringan juga melalui proses transpor aktif yang membutuhkan energi.

Jenis Reaksi Dalam Metabolisme Protein

Degradasi protein (katabolisme) terjadi dalam dua tahap.

1. Protein mengalami modifikasi oksidatif untuk menghilangkan aktivitas enzimatis.
2. Degradasi protein dikatalis oleh enzim protease

Protein yang terdapat di dalam sel dan makanan didegradasi menjadi monomer penyusunnya (asam amino) oleh enzim protease yang khas. Protease tersebut dapat berada di dalam lisosom maupun dalam lambung dan usus. Katabolisme protein makanan pertama kali berlangsung di dalam lambung. Di tempat ini protease khas (*pepsin*) mendegradasi protein dengan memutuskan ikatan peptida yang ada di sisi NH_2 bebas dari asam amino aromatik, hidrofobik, atau dikarboksilat.



Kemudian di dalam usus protein juga didegradasi oleh protease khas seperti *tripsin*, *kimotripsin*, *karboksipeptidase* dan *elastase*. Hasil pemecahan ini adalah bagian-bagian kecil polipeptida. Selanjutnya senyawa ini dipecah kembali oleh aktivitas aminopeptidase menjadi asam-asam amino bebas. Produk ini kemudian melalui dinding usus halus masuk ke dalam aliran darah menuju ke berbagai organ termasuk ke dalam sel.

Pepsin, *kimotripsin*, *tripsin* termasuk golongan enzim protease endopeptidase. Golongan enzim ini menyerang protein dari tengah molekul dan sering juga disebut sebagai enzim proteinase karena menyerang polipeptida tinggi atau protein. *Tripsin* menyerang ikatan lisil dan ikatan arginil sehingga peptida

yang dihasilkan mempunyai ujung lisin atau arginin pada terminal karboksil. Pepsin bersifat kurang khas namun lebih mengutamakan serangan pada titik asam amino aromatik atau asam amino asam. Hasil degradasi golongan enzim endopeptidase ini adalah oligopeptida atau fragmen kecil protein.

Enzim karboksilase dan aminopeptidase merupakan golongan enzim protease eksopeptidase yang menyerang ujung dan pangkal oligopeptida atau fragmen kecil protein. Golongan enzim ini hanya membebaskan asam-asam amino pada ujung oligopeptida. Karboksipeptidase membebaskan asam amino pada ujung COOH fragmen kecil protein sedangkan aminopeptidase membebaskan ujung amino pada oligopeptida. Degradasi golongan enzim ini menghasilkan berbagai asam amino penyusun protein.

1. Reaksi Transaminasi asam amino

Katabolisme asam amino terjadi melalui reaksi transaminasi yang melibatkan pemindahan gugus amino secara enzimatik dari satu asam amino ke asam amino lainnya. Enzim yang terlibat dalam reaksi ini adalah *transaminase* atau *aminotransaminase*. Enzim ini spesifik bagi ketoglutarat sebagai penerima gugus amino namun tidak spesifik bagi asam amino sebagai pemberi gugus amino.

Transaminase mempunyai gugus prostetik, piridoksal fosfat, pada sisi aktifnya yang berfungsi sebagai senyawa antara pembawa gugus amino menuju ketoglutarat. Molekul ini mengalami perubahan dapat balik di antara bentuk aldehidnya (*piridoksal fosfat*), yang dapat menerima gugus amino, dan bentuk teraminasinya (*piridoksamin fosfat*), yang dapat memberikan gugus aminonya seperti terlihat pada reaksi berikut.

transaminase

Asam L-amino + ketoglutarat ===== Asam keto + L-glutamat

alanin transaminase

Alanin + ketoglutarat ===== piruvat + glutamat

Aspartat transaminase

Aspartat + ketoglutarat ===== oksaloasetat + glutamat

leusin transaminase

Leusin + ketoglutarat ===== ketoisokaproat + glutamat

tirosin transaminase

Tirosin + ketoglutarat ===== hidrosifenilpiruvat + glutamat

Tujuan keseluruhan reaksi transaminasi adalah mengumpulkan gugus amino dari berbagai asam amino ke bentuk asam amino glutamat. Ada sekitar 12 asam amino protein yang mengalami reaksi transaminasi dalam proses degradasinya. Beberapa asam amino lain mengalami proses deaminasi dan dekarboksilasi.

2. Reaksi Deaminasi Asam amino

Proses deaminasi asam amino dapat terjadi secara oksidatif dan non oksidatif. Contoh asam amino yang mengalami proses deaminasi oksidatif adalah asam glutamat. Reaksi degradasi asam glutamat dikatalis oleh enzim L- glutamat dehidrogenase yang dibantu oleh NAD atau NADP

Deaminasi Oksidatif Glutamat

Deaminasi non oksidatif yaitu penghilangan gugus amino dari asam amino serin yang dikatalis oleh enzim serin dehidratase. Asam amino treonin juga dapat mengalami deaminasi non oksidatif dengan katalis treonin dehidratase menjadi keto butirat. Dekarboksilasi asam amino merupakan cara lain dalam degradasi asam amino penyusun protein. Reaksi ini menghasilkan senyawa amin. Contoh reaksi dekarboksilasi adalah sebagai berikut :

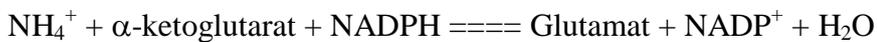
histidin dekarboksilase
Histidin ----- Histamin + CO₂

Proses dekarboksilasi histidin ini dikatalis oleh enzim histidin dekarboksilase. Triptofan dapat juga mengalami proses dekarboksilasi seperti di atas menjadi *triptamin*.

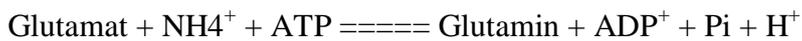
Biosintesis Asam Amino

Sintesis ke-20 macam asam amino penyusun protein berbeda-beda pada setiap makhluk hidup. Tumbuhan umumnya mampu mensintesis sendiri 20 asam amino tersebut, sedangkan hewan hanya dapat melakukan sintesis 10 dari 20 asam amino unit pembangun protein. Asam amino yang dapat disintesis sendiri oleh makhluk hidup tersebut dikenal dengan sebutan *asam amino nonesensial*, sedangkan asam amino yang tidak dapat disintesis sendiri dan harus diperoleh dari makanan disebut *asam amino esensial*.

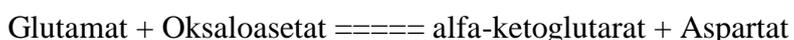
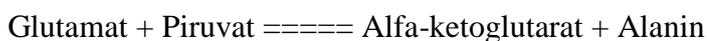
Glutamat, glutamin dan prolin mengambil bagian dalam lintas biosintetik bersama. Proses biosintesis ketiganya identik dalam semua bentuk kehidupan. Glutamat dibentuk dari amonia dan alfa-ketoglutarat, suatu senyawa antara siklus asam sitrat, melalui kerja enzim *glutamat dehidrogenase* dengan tenaga pereduksi NADPH.



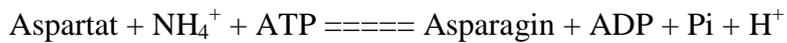
Glutamat adalah donor gugus asam amino dalam biosintesis asam amino lain melalui reaksi transaminasi. Glutamin dibentuk dari glutamat melalui kerja *glutamin sintetase* dengan bantuan ATP.



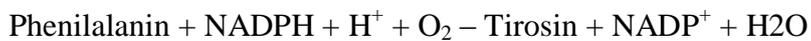
Prolin juga disintesis dari glutamat melalui reaksi bertahap. Mula-mula glutamat direduksi menjadi α -semi aldehida dengan bantuan glutamat *kinase dehidrogenase*. Kemudian metabolit ini mengalami penutupan menjadi pirolin 5-karboksilat dan reduksi lebih lanjut menjadi prolin dengan bantuan enzim *pirolin karboksilat reduktase*. Prolin adalah penghambat alosterik pada reaksi awal biosintesisnya. Asam-asam amino alanin, aspartat dan asparagin juga berasal dari metabolit sentral glutamat. Umumnya alanin berasal dari piruvat dan aspartat dari oksaloasetat oleh reaksi transaminasi dari glutamat.



Biosintesis asparagin dalam banyak bakteri menggunakan aspartat sebagai prekursor dalam reaksi dengan katalis *asparagin sintetase*. Sedangkan dalam sel mamalia biosintesis asparagin melalui pemindahan gugus amino dari gugus amida glutamin menjadi (3 karboksil aspartat dengan enzim *asparagin sintetase* bergantung ATP.



Asam amino non esensial tirosin disintesis oleh hewan dari asam amino esensial fenilalanin. Sementara sistein dibuat dari asam amino esensial metionin dan asam amino non-esensial serin. Metionin menyumbangkan atom sulfur dan serin memberikan kerangka karbon pada sintesis tersebut



Metabolisme protein dalam cekaman suhu pada unggas

Unggas darat memiliki sensitivitas paling tinggi terhadap cekaman lingkungan panas, baik itu cekaman lingkungan dalam tubuh maupun lingkungan luar tubuh. Lingkungan luar tubuh yang rentan mengalami perubahan yaitu suhu dan kelembaban. Suhu dan kelembaban lingkungan dapat menentukan zona nyaman pada unggas, nilai suhu dan kelembaban biasa disebut *temperature humidity index* (THI).

Cekaman panas lingkungan menyebabkan ACTH meningkat sehingga kortek adrenal meningkatkan sekresi glukokortikoid. Meningkatnya glukokortikoid menyebabkan naiknya metabolisme protein dan glukoneogenesis, karena perlu segera menyediakan substrat energi untuk proses thermoregulasi dan homoeostasis.

Glukoneogenesis merupakan proses yang dapat mensintesis glukosa salah satunya dengan menggunakan senyawa asam amino. Asam amino merupakan senyawa pembentuk protein dalam sel-sel tubuh baik itu dibentuk dari asam amino esensial maupun non esensial, selain itu dapat pula dibentuk melalui transaminasi dengan menggunakan nitrogen amino dari asam amino lain, setelah dideaminasi nitrogen amino selanjutnya disekresikan menjadi urea sedangkan

kerangka karbon yang tersisa setelah transaminasi dapat dioksidasi menjadi CO₂, glukoneogenesis dan untuk membentuk badan keton.

Jika ada kelebihan asam amino untuk biosintesis protein, kelebihan tersebut akan diubah menjadi urea atau masuk ke dalam siklus asam sitrat. Urea dibentuk di dalam hati dari metabolisme protein (asam amino). Profil urea dalam darah mampu menunjukkan keterkaitan yang erat untuk menerangkan pemanfaatan protein (asam-asam amino), antara lain untuk pembentukan glukosa. Urea adalah produk akhir dari metabolisme protein yang jika terlalu tinggi profilnya dalam tubuh akan dibuang melalui urin. Tingginya profil urea dalam tubuh ayam akan mengganggu metabolisme tubuh terutama pada hati dan ginjal sehingga menyebabkan keracunan bahkan kematian.

Sama halnya dengan urea darah, meningkatnya konsentrasi asam urat juga terkait dengan meningkatnya pemakaian asam-asam amino dalam lintasan glukoneogenesis untuk membentuk glukosa dalam rangka memenuhi ketercukupan energi dalam cekaman panas. Diketahui bahwa beberapa asam amino glukogenik (dapat dirombak menjadi glukosa). Asam amino glisin, serin, methionine dan glutamat, valin, histidin dan aspartate merupakan kelompok asam amino glukogenik. Selain itu, kelompok asam amino ini merupakan kelompok asam amino yang mengandung inti purin yaitu adenine dan guanine.

Terkait dengan cekaman panas yang ditandai dengan peningkatan indeks THI dengan penyediaan glukosa melalui lintasan glukoneogenesis, maka dapat dijelaskan bahwa peningkatan aktivitas anabolisme glukosa dari prekursor asam amino menyebabkan peningkatan konsentrasi asam urat dengan dirombaknya asam-asam amino yang berinti purin.

Asam urat mempunyai peran sebagai antioksidan bila konsentrasinya tidak berlebihan dalam darah, tetapi apabila konsentrasi asam urat dalam darah berlebih akan bersifat prooksidan atau menjadi radikal bebas.

Asam Urat

Asam urat berasal dari uric acid. Kata uric artinya urin, sedangkan acid artinya asam. Asam urat adalah asam berbentuk kristal-kristal, yang merupakan hasil akhir dari metabolisme purin (bentuk turunan nukleoprotein), yaitu salah satu komponen asam nukleat yang terdapat pada inti sel-sel tubuh. Secara

alamiah, purin terdapat pada semua makanan dari sel hidup, yakni makanan dari tanaman atau pun hewan.

Pembentukan Asam Urat

Asam urat berasal dari asam amino purin dan pirimidin, yang merupakan kelompok senyawa siklik heterosiklus yang mengandung nitrogen dengan cincin mengandung unsur lain (heteron). Kedua senyawa ini merupakan salah satu dari 3 komponen penyusun nukleotida yang unit monomer asam nukleat yang memiliki banyak fungsi dalam tubuh makhluk hidup. Purin terdiri dari adenosin dan guanin sedangkan pirimidin terdiri dari sitosin, timin dan urasil.

Biosintesis purin dan pirimidin diatur dan dikoordinasikan melalui mekanisme umpan balik sehingga menjamin produksi kedua zat tersebut selalu sesuai dengan kebutuhan fisiologis.

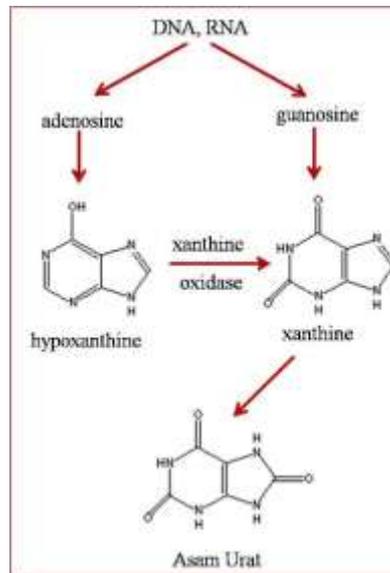
Mekanisme biosintesis purin

Katabolisme purin menjadi asam urat merupakan suatu proses pemecahan gugus purin menjadi asam urat. Pembentukan asam urat dimulai dengan katabolisme DNA dan RNA menjadi Adenosine dan Guanosin. Proses ini berlangsung secara terus menerus di dalam tubuh. Adenosine yang terbentuk kemudian dimetabolisme menjadi hipoksantin. Hipoksantin kemudian dimetabolisme menjadi xanthine, sedangkan guanosin dimetabolisme menjadi xantin. Kemudian xanthine dari hasil metabolisme hipoksantin dan guanosin dimetabolisme dengan bantuan enzim xanthine oxidase menjadi asam urat. Keberadaan enzim xanthine oxidase menjadi sangat penting dalam metabolisme purin, karena mengubah hipoksantin menjadi xanthine, dan kemudian xanthine menjadi asam urat.

Selain enzim xanthine oxidase, pada katabolisme purin terlibat juga enzim Hypoxanthine - Guanine Phosphoribosyl Transferase yang biasa disebut HGPRT. Enzim ini berperan dalam mengubah purin menjadi nukleotida purin agar dapat digunakan kembali sebagai penyusun DNA dan RNA. Jika enzim ini mengalami defisiensi, maka peran enzim menjadi berkurang, akibatnya purin dalam tubuh dapat meningkat.

Purin yang tidak dimetabolisme oleh enzim HGPRT akan dimetabolisme oleh enzim xanthine oxidase menjadi asam urat. Pada akhirnya kandungan asam

urat pada tubuh meningkat atau tubuh dalam kondisi hiperurisemia. Pada intinya enzim xanthine oxidase berfungsi membuang kelebihan purin dalam bentuk asam urat, sekitar dua per tiga asam urat yang sudah terbentuk didalam tubuh secara alami akan dikeluarkan bersama urin melalui uretra. Proses katabolisme purin menjadi asam urat dapat digambarkan dengan gambar bagan dibawah ini :



Gambar 13. Metabolisme asam urat

LIPID

PENCERNAAN LIPID

Partikel lipid meninggalkan gizzard mengalami emulsifikasi dengan garam empedu dan mencapai duodenum sebagai trigliserida dan fosfolipid. Garam empedu memungkinkan adsorpsi colipase pada permukaan hidrofilik dan bertindak mengikat lipase pankreas dan juga menstabilkan enzim terhadap inaktivasi. Karboksilat ester hidrolase (esterase kolesterol) juga disekresi oleh pankreas bertindak untuk menghidrolisis ester kolesterol dan mengkatalisis re sintesis kolesterol dan asam lemak bebas. Sekresi fosfolipase A1 dan fosfolipase A2 dari pankreas bertindak untuk menghidrolisis ikatan dari masing-masing gliserol. Produk yang dihasilkan lipolisis adalah 2-monogliserida dan asam lemak bebas dengan kolesterol, lysophospholipids, 1,2-digliserida dan gliserol sebagai komponen minor. Senyawa ini membentuk misel dengan garam empedu dan secara pasif diserap oleh mekanisme tidak tergantung energi dimana produk lipolitik lepas dari misel ke mukosa.

Ketika digestibilitas intestinum terhadap lemak sangat tinggi, sering mencapai lebih dari 80%. Digestibilitas meningkat seiring dengan bertambahnya umur. Digestibilitas dapat berbeda antara sub tipe asam lemak. Digestibilitas menurun ketika terdapat peningkatan asam lemak rantai panjang untuk asam lemak jenuh dengan panjang karbon 14-18. Digestibilitas asam lemak bervariasi sesuai dengan posisinya di molekul gliserol dan lebih tinggi untuk asam lemak tidak jenuh. Adanya interaksi antara asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh meningkatkan pencernaan lemak jenuh.

Absorpsi and transport lipid

Absorpsi lipid ke dalam enterosit melalui proses difusi. Tingkat absorpsi lebih tinggi untuk asam lemak tak jenuh ganda linoleat (C18: 2) dan asam linoleat (C18: 3) dibandingkan dengan asam stearat (C18: 0). Saat memasuki sel-sel mukosa, asam lemak mengikat protein intraseluler yang memiliki afinitas tertentu tergantung pada derajat kejenuhan dan rantai panjangnya. Resintesis trigliserida dari asam lemak rantai panjang terjadi di epitel usus halus menggunakan jalur monogliserida yang dan gliserol-3-fosfat. Pada monogastrik, bahwa antara 75-85% trigliserida diet dapat dimetabolisme melalui jalur monogliserida. Tempat penyerapan lipid pada unggas adalah jejunum meskipun absorpsi dapat juga terjadi di ileum dan duodenum.

Pada burung karena sistem limfatik kurang berkembang, lipid yang terabsorpsi selanjutnya ditransport sebagai trigliserida dari fraksi VLDL. Dibandingkan dengan kilomikron mamalia, VLDL unggas ditandai dengan kandungan yang relatif rendah trigliserida, tapi kandungan protein secara signifikan lebih tinggi dari fraksi VLDL serum babi dan manusia. Kilomikron dan VLDL diproduksi di usus halus masuk ke sirkulasi dan berinteraksi dengan lipoprotein darah lainnya. Permukaan kilomikron juga memperoleh apoprotein, apo-C dan apo-E. Dalam sirkulasi, trigliserida dalam partikel chylomicron dan VLDL

dihidrolisis oleh lipoprotein lipase, enzim ini terdapat pada dinding kapiler beberapa jaringan. Lipoprotein lipase disintesis pada sel sel parenkim jaringan. Sekitar empat puluh molekul lipoprotein lipase bereaksi terhadap partikel chylomicron dan VLDL. Terdapat perbedaan level lipoprotein lipase dalam jaringan yang berbeda dan berkorelasi positif dengan status gizi hewan dan kebutuhan jaringan terhadap asam lemak.

Dalam keadaan makan, lipoprotein lipase diaktifkan di jaringan lemak putih dan diatur dalam otot rangka dan otot jantung dan oleh karena itu asam lemak diarahkan ke jaringan adiposa untuk esterifikasi dan penyimpanan pada saat surplus energi. Selama puasa, lipoprotein lipase akan diatur dalam otot dan ditekan dalam jaringan adiposa, dengan asam lemak yang diarahkan ke jaringan di mana mereka dibutuhkan sebagai bahan bakar oksidatif. Ketika trigliserida habis, permukaan dari kilomikron hilang mengakibatkan transfer apo-C dan apo-A ke high-density lipoprotein (HDL), Sebagai konsekuensi dari perubahan ini ada pengurangan dalam afinitas untuk lipoprotein lipase dan kilomikron yang ditransfer dari kapiler ke hati di mana lipid dan komponen protein terdegradasi oleh katabolisme lisosom. Metabolisme VLDL ini mirip dengan partikel trigliserida sisa yang dikonversi ke low-density lipoprotein sebelum dihilangkan dari peredaran oleh hati atau jaringan ekstrahepatik.

Metabolisme lipid

Lipid sebagai sumber energi utama adalah dari lipid netral, yaitu trigliserid (ester antara gliserol dengan 3 asam lemak). Secara ringkas, hasil dari pencernaan lipid adalah asam lemak dan gliserol, selain itu ada juga yang masih berupa monogliserid. Karena larut dalam air, gliserol masuk sirkulasi portal (vena porta) menuju hati. Asam-asam lemak rantai pendek juga dapat melalui jalur ini.

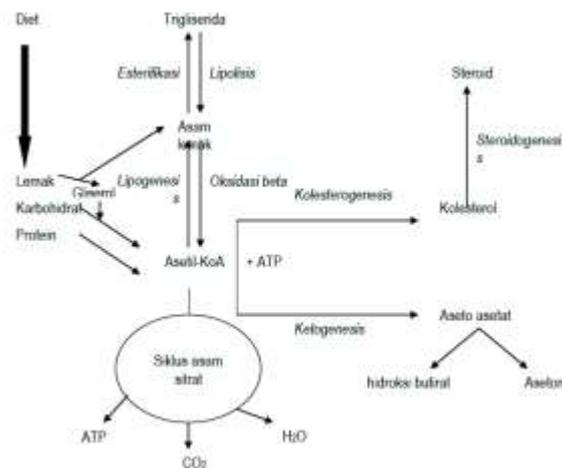
Sebagian besar asam lemak dan monogliserida karena tidak larut dalam air, maka diangkut oleh miselus (dalam bentuk besar disebut emulsi) dan dilepaskan ke dalam sel epitel usus (enterosit). Di dalam sel ini asam lemak dan monogliserida segera dibentuk menjadi trigliserida (lipid) dan berkumpul berbentuk gelembung yang disebut kilomikron. Selanjutnya kilomikron ditransportasikan melalui pembuluh limfe dan bermuara pada vena kava, sehingga bersatu dengan sirkulasi darah. Kilomikron ini kemudian ditransportasikan menuju hati dan jaringan adiposa.

Di dalam sel-sel hati dan jaringan adiposa, kilomikron segera dipecah menjadi asam-asam lemak dan gliserol. Selanjutnya asam-asam lemak dan gliserol tersebut, dibentuk kembali menjadi simpanan trigliserida. Proses pembentukan trigliserida ini dinamakan esterifikasi. Sewaktu-waktu jika membutuhkan energi dari lipid, trigliserida dipecah menjadi asam lemak dan

gliserol, untuk ditransportasikan menuju sel-sel untuk dioksidasi menjadi energi. Proses pemecahan lemak jaringan ini dinamakan lipolisis. Asam lemak tersebut ditransportasikan oleh albumin ke jaringan yang memerlukan dan disebut sebagai asam lemak bebas (free fatty acid/FFA).

Secara ringkas, hasil akhir dari pemecahan lipid dari makanan adalah asam lemak dan gliserol. Jika sumber energi dari karbohidrat telah mencukupi, maka asam lemak mengalami esterifikasi yaitu membentuk ester dengan gliserol menjadi trigliserida sebagai cadangan energi jangka panjang. Jika sewaktu-waktu tak tersedia sumber energi dari karbohidrat barulah asam lemak dioksidasi, baik asam lemak dari diet maupun jika harus memecah cadangan trigliserida jaringan. Proses pemecahan trigliserida ini dinamakan lipolisis. Proses oksidasi asam lemak dinamakan oksidasi beta dan menghasilkan asetil KoA. Selanjutnya sebagaimana asetil KoA dari hasil metabolisme karbohidrat dan protein, asetil KoA dari jalur inipun akan masuk ke dalam siklus asam sitrat sehingga dihasilkan energi. Di sisi lain, jika kebutuhan energi sudah mencukupi, asetil KoA dapat mengalami lipogenesis menjadi asam lemak dan selanjutnya dapat disimpan sebagai trigliserida.

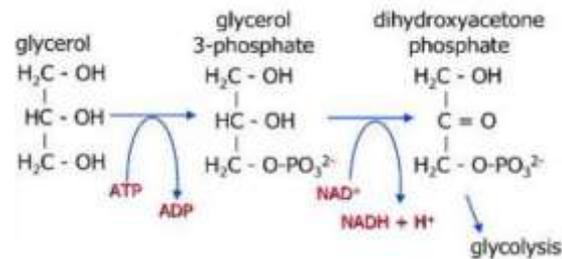
Beberapa lipid non gliserida disintesis dari asetil KoA. Asetil KoA mengalami kolesterogenesis menjadi kolesterol. Selanjutnya kolesterol mengalami steroidogenesis membentuk steroid. Asetil KoA sebagai hasil oksidasi asam lemak juga berpotensi menghasilkan badan-badan keton (aseto asetat, hidroksi butirat dan aseton). Proses ini dinamakan ketogenesis. Badan-badan keton dapat menyebabkan gangguan keseimbangan asam-basa yang dinamakan asidosis metabolik. Keadaan ini dapat menyebabkan kematian.



Gambar 14. Ikhtisar Metabolisme lipid

Metabolisme gliserol

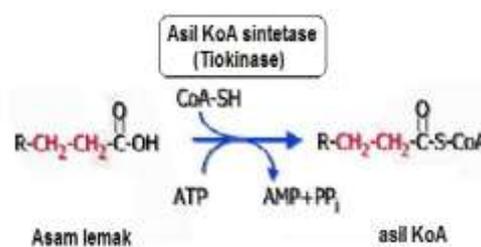
Gliserol sebagai hasil hidrolisis lipid (trigliserida) dapat menjadi sumber energi. Gliserol ini selanjutnya masuk ke dalam jalur metabolisme karbohidrat yaitu glikolisis. Pada tahap awal, gliserol mendapatkan 1 gugus fosfat dari ATP membentuk gliserol 3-fosfat. Selanjutnya senyawa ini masuk ke dalam rantai respirasi membentuk dihidroksi aseton fosfat, suatu produk antara dalam jalur glikolisis.



Gambar 15. Metabolisme gliserol

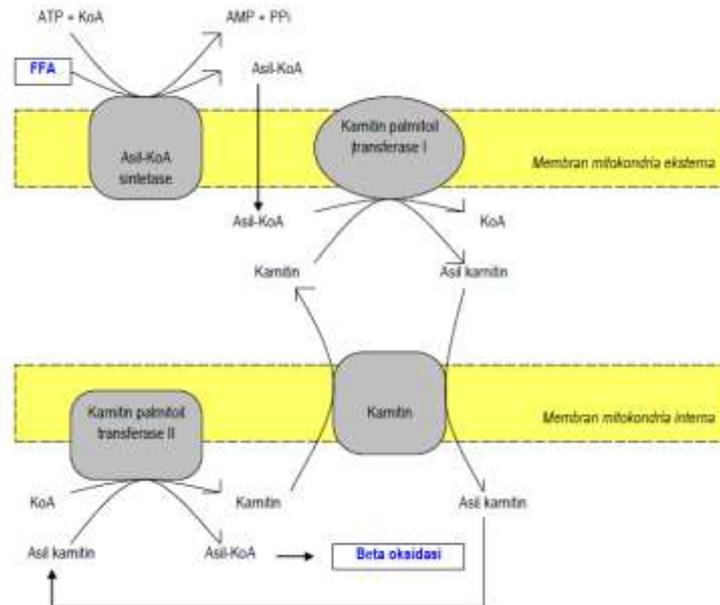
Oksidasi asam lemak (oksidasi beta)

Untuk memperoleh energi, asam lemak dapat dioksidasi dalam proses yang dinamakan oksidasi beta. Sebelum dikatabolisir dalam oksidasi beta, asam lemak harus diaktifkan terlebih dahulu menjadi asil-KoA. Dengan adanya ATP dan Koenzim A, asam lemak diaktifkan dengan dikatalisir oleh enzim asil-KoA sintetase (Tiokinase).



Gambar 16. Aktivasi asam lemak menjadi asil KoA

Asam lemak bebas pada umumnya berupa asam-asam lemak rantai panjang. Asam lemak rantai panjang ini akan dapat masuk ke dalam mitokondria dengan bantuan senyawa karnitin, dengan rumus $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{COO}^-$.



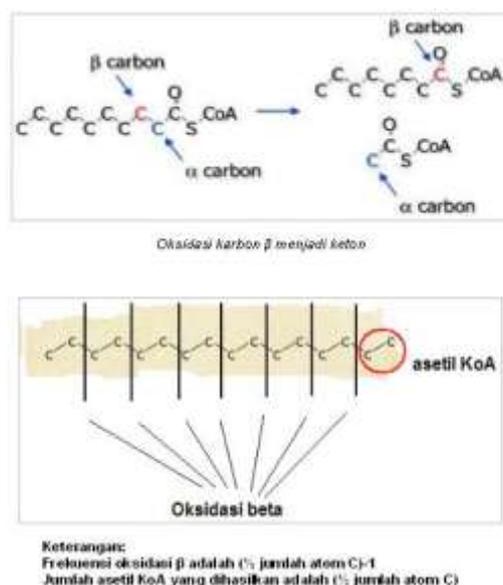
Gambar 17. Mekanisme beta oksidasi

Langkah-langkah masuknya asil KoA ke dalam mitokondria dijelaskan sebagai berikut:

Asam lemak bebas (FFA) diaktifkan menjadi asil-KoA dengan dikatalisir oleh enzim tiokinase. Setelah menjadi bentuk aktif, asil-KoA dikonversikan oleh enzim karnitin palmitoil transferase I yang terdapat pada membran eksterna mitokondria menjadi asil karnitin. Setelah menjadi asil karnitin, barulah senyawa tersebut bisa menembus membran interna mitokondria.

Pada membran interna mitokondria terdapat enzim karnitin asil karnitin translokase yang bertindak sebagai pengangkut asil karnitin ke dalam dan karnitin keluar. Asil karnitin yang masuk ke dalam mitokondria selanjutnya bereaksi dengan KoA dengan dikatalisir oleh enzim karnitin palmitoiltransferase II yang ada di membran interna mitokondria menjadi Asil Koa dan karnitin dibebaskan. Asil KoA yang sudah berada dalam mitokondria ini selanjutnya masuk dalam proses oksidasi beta.

Dalam oksidasi beta, asam lemak masuk ke dalam rangkaian siklus dengan 5 tahapan proses dan pada setiap proses, diangkat 2 atom C dengan hasil akhir berupa asetil KoA. Selanjutnya asetil KoA masuk ke dalam siklus asam sitrat. Dalam proses oksidasi ini, karbon β asam lemak dioksidasi menjadi keton.



Gambar 18. Oksidasi asam Palmitat. Oksidasi asam lemak dengan 16 atom C. Setiap proses pemutusan 2 atom C adalah proses oksidasi β dan setiap 2 atom C yang diputuskan adalah Asetil KoA.

Telah dijelaskan bahwa asam lemak dapat dioksidasi jika diaktifkan terlebih dahulu menjadi asil-KoA. Proses aktivasi ini membutuhkan energi sebesar 2P. Setelah berada di dalam mitokondria, asil-KoA akan mengalami tahap-tahap perubahan sebagai berikut:

1. Asil-KoA diubah menjadi delta2-trans-enoil-KoA. Pada tahap ini terjadi rantai respirasi dengan menghasilkan energi 2P (+2P)
2. delta2-trans-enoil-KoA diubah menjadi L(+)-3-hidroksi-asil-KoA
3. L(+)-3-hidroksi-asil-KoA diubah menjadi 3-Ketoasil-KoA. Pada tahap ini terjadi rantai respirasi dengan menghasilkan energi 3P (+3P)
4. Selanjutnya terbentuklah asetil KoA yang mengandung 2 atom C dan asil-KoA yang telah kehilangan 2 atom C.

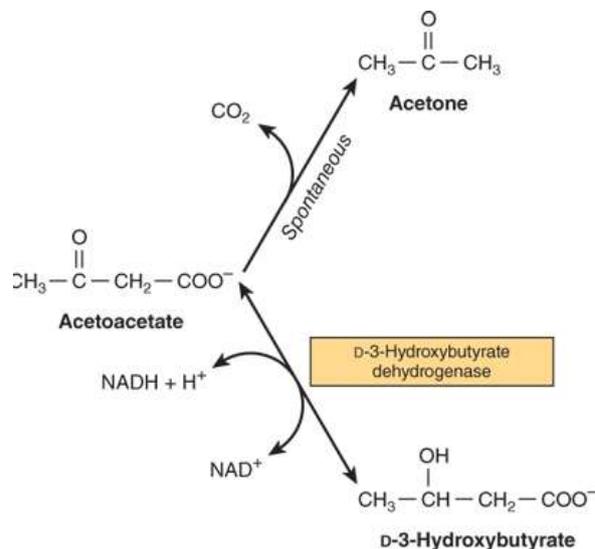
Dalam satu oksidasi beta dihasilkan energi 2P dan 3P sehingga total energi satu kali oksidasi beta adalah 5P. Karena pada umumnya asam lemak memiliki banyak atom C, maka asil-KoA yang masih ada akan mengalami oksidasi beta kembali dan kehilangan lagi 2 atom C karena membentuk asetil KoA. Demikian seterusnya hingga hasil yang terakhir adalah 2 asetil-KoA.

Asetil-KoA yang dihasilkan oleh oksidasi beta ini selanjutnya akan masuk siklus asam sitrat.

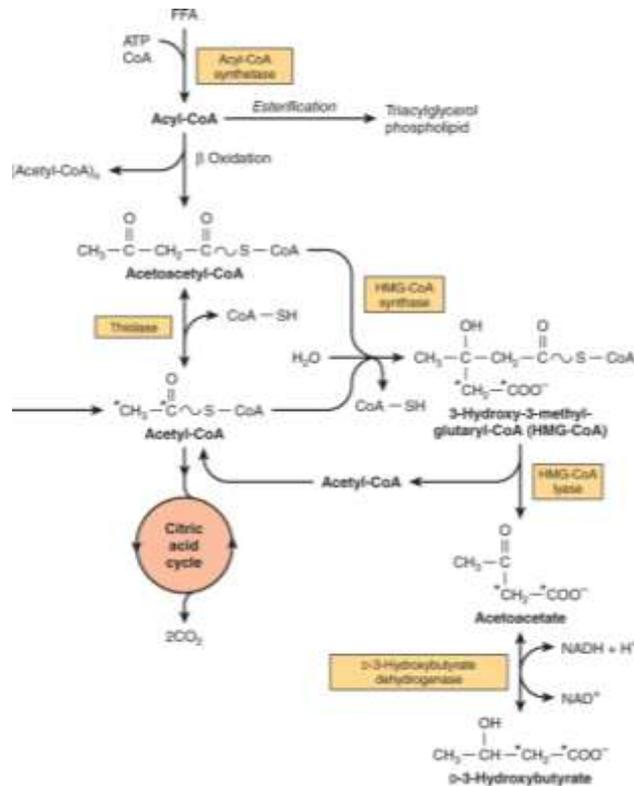
Penghitungan energi hasil metabolisme lipid

Dari uraian di atas kita bisa menghitung energi yang dihasilkan oleh oksidasi beta suatu asam lemak. Misalnya tersedia sebuah asam lemak dengan 10 atom C, maka kita memerlukan energi 2 ATP untuk aktivasi, dan energi yang di hasilkan oleh oksidasi beta adalah 10 dibagi 2 dikurangi 1, yaitu 4 kali oksidasi beta, berarti hasilnya adalah $4 \times 5 = 20$ ATP. Karena asam lemak memiliki 10 atom C, maka asetil-KoA yang terbentuk adalah 5 buah. Setiap asetil-KoA akan masuk ke dalam siklus Kreb's yang masing-masing akan menghasilkan 12 ATP, sehingga totalnya adalah $5 \times 12 \text{ ATP} = 60 \text{ ATP}$. Dengan demikian sebuah asam lemak dengan 10 atom C, akan dimetabolisir dengan hasil -2 ATP (untuk aktivasi) + 20 ATP (hasil oksidasi beta) + 60 ATP (hasil siklus Kreb's) = 78 ATP .

Sebagian dari asetil-KoA akan berubah menjadi asetoasetat, selanjutnya asetoasetat berubah menjadi hidroksi butirat dan aseton. Asetoasetat, hidroksi butirat dan aseton dikenal sebagai badan-badan keton. Proses perubahan asetil-KoA menjadi benda-benda keton dinamakan ketogenesis.

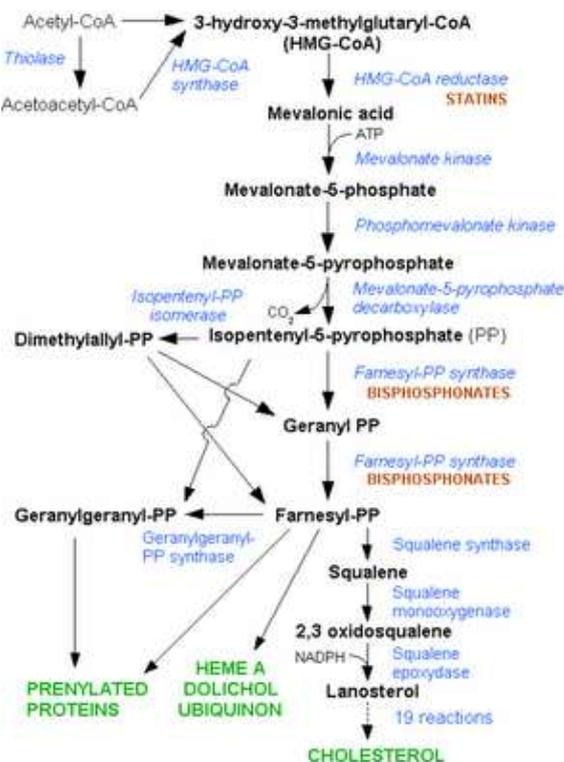


Gambar 19. Badan badan keton



Gambar 20. Oksidasi asam lemak

Sebagian dari asetil KoA dapat diubah menjadi kolesterol (prosesnya dinamakan kolesterologenesis) yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan untuk disintesis menjadi steroid (prosesnya dinamakan steroidogenesis).

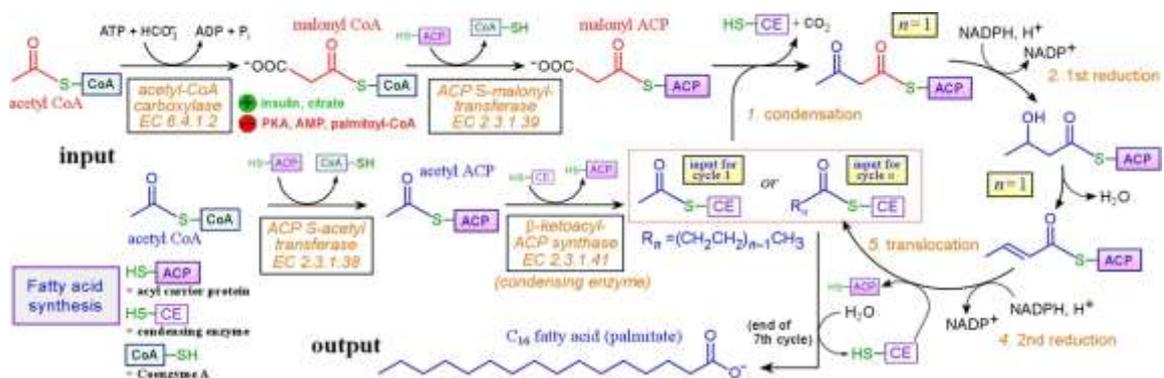


Gambar 21. Pembentukan kolesterol

Sintesis asam lemak

Makanan bukan satu-satunya sumber lemak. Semua organisme dapat men-sintesis asam lemak sebagai cadangan energi jangka panjang dan sebagai penyusun struktur membran. kelebihan asetil KoA dikonversi menjadi ester asam lemak. Sintesis asam lemak sesuai dengan degradasinya (oksidasi beta). Sintesis asam lemak terjadi di dalam sitoplasma. ACP (acyl carrier protein) digunakan selama sintesis sebagai titik pengikatan. Semua sintesis terjadi di dalam kompleks multi enzim-fatty acid synthase. NADPH digunakan untuk sintesis.

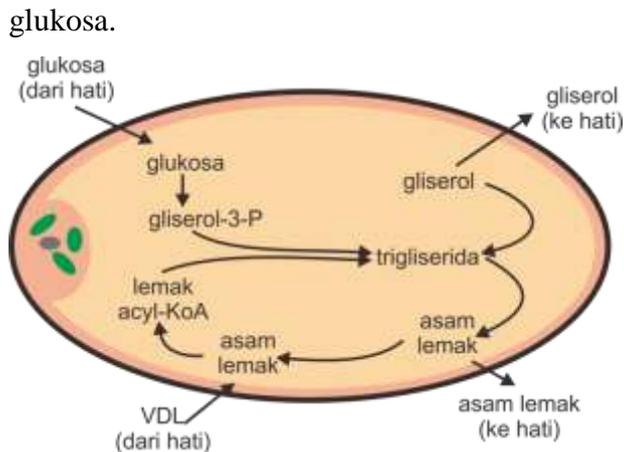
Tahap-tahap sintesis asam lemak ditampilkan pada skema berikut.



Gambar 22. Biosintesis asam lemak

Penyimpanan lemak dan penggunaannya kembali asam-asam lemak akan disimpan jika tidak diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Tempat penyimpanan utama asam lemak adalah jaringan adiposa. Adapun tahap-tahap penyimpanan tersebut adalah: Asam lemak ditransportasikan dari hati sebagai kompleks VLDL.

Asam lemak kemudian diubah menjadi trigliserida di sel adiposa untuk disimpan. Gliserol 3-fosfat dibutuhkan untuk membuat trigliserida. Ini harus tersedia dari



Gambar 23. .Dinamika lipid dalam jaringan adiposa

Jika kebutuhan energi tidak dapat tercukupi oleh karbohidrat, maka simpanan trigliserida ini dapat digunakan kembali. Trigliserida akan dipecah menjadi gliserol dan asam lemak. Gliserol dapat menjadi sumber energi (lihat metabolisme gliserol). Sedangkan asam lemak pun akan dioksidasi untuk memenuhi kebutuhan energi pula (lihat oksidasi beta).

Biosintesis lipid

Puyuh memiliki kapasitas yang tinggi untuk biosintesis lipid yang terjadi sejak awal kehidupan. Pada puyuh hati merupakan tempat utama sintesis asam lemak dan memiliki kapasitas 20 kali lebih besar dari jaringan adipose. Sebaliknya, pada babi, ruminansia dan tikus laboratorium tempat utama dari sintesis lipid adalah jaringan adipose. sedikit lipogenesis dalam jaringan adipose unggas.

Sintesis asam lemak juga terjadi pada kelenjar uropygial, yang merupakan sumber utama minyak yang digunakan untuk melumaskan bulu. Jalur yang terlibat dalam sintesis asam lemak pada burung yang sama dengan yang terjadi pada mamalia. Jalur ini melibatkan acetyl CoA karboksilase mengkatalisis konversi asetil-CoA ke Malonyl-CoA dan pembentukan palmitat dari asetil-CoA dan Malonyl-CoA oleh asam lemak sintetase. Asam lemak sintetase adalah multi-enzim polipeptida, dan pada vertebrata mengandung tujuh aktivitas enzim yang diperlukan untuk meningkatkan sintesis asam lemak rantai panjang dari Malonyl-CoA. Urutan enam langkah meningkatkan rantai asam lemak oleh 2 atom karbon dengan melepaskan asam lemak bebas sebagai langkah terakhir. Segera setelah disintesis asam lemak ditransport ke jaringan adiposa sebagai trigliserida dalam

VLDL dimana lipoprotein lipase ekstraseluler mengkatalisis hidrolisis trigliserida sehingga asam lemak dapat masuk ke jaringan adiposa.

Gizi dan hormonal mengatur jumlah asam lemak yang disintesis. Pada unggas, sebagian besar lemak yang terakumulasi berasal dari makanan dengan tingkat asupan diet. Sintesis asam lemak meningkat sebagai respon terhadap asupan diet rendah lipid dan menurun ketika asupan tinggi. Hormon utama yang mempengaruhi biosintesis lipid pada hati adalah insulin, glukagon, triiodothyronine (T3) dan glukokortikoid. Insulin dan T3 mempromosikan sintesis asam lemak dengan mempengaruhi transkripsi gen. Glukokortikoid dan glukagon memiliki efek antilipogenik, dengan glukagon menghambat akumulasi sintetase mRNA asam lemak.

Mobilisasi lipid

Trigliserida adalah sumber utama energi pada burung, dan tempat penyimpanan terbesar ditemukan di jaringan adiposa dan hati pada burung dewasa. Mobilisasi lipid dari jaringan adipose terjadi ketika jaringan mengikat hormon dan kemudian mengaktifkan reseptor pada permukaan adiposit dan menyebabkan kaskade reaksi biokimia yang mengakhiri dengan aktivasi hormon sensitif lipase hormon-sensitif lipase. Aktivasi hormon sensitif lipase membutuhkan fosforilasi pada tempat regulatorynya dan melibatkan protein kinase A, yang pada gilirannya diaktifkan dengan meningkatkan cAMP. Siklik AMP mengikat subunit regulasi protein kinase A yang menghasilkan pelepasan aktivasi subunit katalitik. Siklik AMP diregulasi oleh aktivitas enzim adenyl siklase yang kegiatannya tergantung pada keseimbangan antara aktivasi oleh Gs, (stimulasi nukleotida guanin binding protein, G protein) dan penghambatan oleh Gi, (penghambatan protein G). Hormon mengatur aktivitas protein Gs dan Gi dengan mengikat reseptor digabungkan ke protein G ini. Glukagon dianggap hormon lipolitik utama pada unggas.

Aksi fisiologis glukagon adalah untuk meningkatkan pelepasan gliserol dan asam lemak bebas dari jaringan adiposa unggas. Sementara T3 merangsang lipogenesis pada unggas juga dapat mempengaruhi lipolisis. Pra-inkubasi adiposit dengan T3 meningkatkan sensitivitas mereka terhadap pengaruh lipolitik baik dari glukagon dan adrenalin. Seperti pada mamalia, hormon pertumbuhan (GH) yang diberikan kepada ayam mempromosikan lipolisis dan meningkatkan sirkulasi

asam lemak bebas sedangkan somatostatin adalah anti-lipolitik di unggas. Asam lemak dilepaskan dari jaringan adiposa yang diangkut dalam plasma terikat albumin dan dibawa ke jaringan perifer melewati membran plasma.

Dalam sitosol asam lemak dikonversi ke asil-CoA dan kemudian acylcarnitine sebelum memasuki matriks mitokondria di mana ia dioksidasi melalui β -oksidasi untuk menghasilkan ATP. Enzim-enzim mitokondria yang mengangkut kelompok asil melewati membran mitokondria sebelum dalam berperan sebagai regulator utama dalam oksidasi asam lemak. Enzim karnitin palmitoil-transferase dan inhibitor nya, Malonyl-CoA, telah diidentifikasi baik pada mamalia dan burung.

Pada mamalia ketika aktif mensintesis asam lemak, β -oksidasi dihambat oleh peningkatan Malonyl-CoA yang mencegah asil-CoA memasuki mitokondria. Namun, dalam unggas peningkatan konsentrasi malonyl-CoA saja tidak cukup untuk menghambat karnitin palmitoil-transferase dan baik lipogenesis dan oksidasi asam lemak dapat terjadi secara bersamaan.

Pada unggas, β -hidroksibutirat dan asetoasetat, adalah badan keton utama yang bertanggung jawab untuk transport lipid endogen ke jaringan perifer di mana mereka dikonversi menjadi asetoasetil-CoA dan dimetabolisme secara oksidatif. Selama periode puasa konsentrasi β hidroksibutirat meningkat secara substansial dibandingkan dengan konsentrasi acetoacetate. Ada keistimewaan pemanfaatan baik badan keton atau asam lemak oleh jaringan sebagai sumber energi metabolisme. Konsentrasi β -hidroksibutirat rendah di semua jaringan unggas kecuali di otak dan ginjal, sementara otot rangka dan otot jantung secara selektif dapat memanfaatkan asam lemak.

VITAMIN

Vitamin berasal dari kata “vitae-amine” dan didefinisikan sebagai senyawa organik yang diperlukan dalam jumlah kecil untuk menjaga fungsi metabolisme dalam tubuh agar tetap optimal. Vitamin umumnya tidak disintesis oleh tubuh sehingga harus dipasok dari makanan. Vitamin sebagai salah satu bagian dari nutrisi mikro, memiliki peranan yang tidak kalah besar dibandingkan dengan jenis nutrisi lainnya. Jika dilihat secara kuantitatif, persentase kebutuhan vitamin pada ransum unggas pasti lebih kecil dibandingkan dengan nutrisi lain seperti karbohidrat, protein dan lemak. Meskipun begitu, vitamin tetap wajib diberikan terkait fungsinya sebagai katalis metabolisme nutrisi makro. Dalam arti lain, bila tidak ada vitamin maka metabolisme nutrisi makro akan terhambat. Hambatan metabolisme ini akan menyebabkan pertumbuhan unggas menjadi tidak optimal, terbatasnya pembentukan energi untuk beraktivitas dan tidak terjadi regenerasi sel-sel yang rusak dalam tubuh.

Unggas yang dipelihara dengan sistem tata laksana yang tidak baik, sangat peka terhadap kejadian defisiensi (kekurangan) vitamin. Hal tersebut disebabkan :

- a. Unggas tidak memperoleh keuntungan dari sintesis vitamin oleh mikroorganisme di dalam alat pencernaan unggas itu sendiri karena unggas harus bersaing dengan mikroorganisme dalam menggunakan vitamin tersebut. Selain itu, meskipun unggas mampu mensintesis vitamin seperti vitamin C, namun hasil sintesis tersebut sangat rendah. Rendahnya sintesis vitamin oleh unggas disebabkan saluran pencernaan unggas yang lebih pendek dan laju pencernaan ransum yang lebih cepat dibandingkan ternak lain seperti ruminansia.
- b. Unggas mempunyai kebutuhan yang tinggi terhadap vitamin karena vitamin penting bagi reaksi- reaksi metabolis yang vital di dalam tubuh unggas.
- c. Populasi yang padat dalam peternakan unggas modern menimbulkan berbagai macam stres. Ditambah dengan kondisi lingkungan akibat *global warming*, dimana cuaca selalu berubah-ubah dan tidak menentu sehingga sangat berpotensi menyebabkan stres sehingga kebutuhan akan vitamin juga semakin tinggi

Jenis dan Fungsi Vitamin

Vitamin dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu vitamin larut dalam lemak dan larut dalam air. Vitamin larut dalam lemak adalah vitamin yang bisa dengan mudah menyatu dengan lemak tubuh sehingga tubuh pun bisa menyimpannya selama waktu tertentu. Sedangkan vitamin larut dalam air adalah vitamin yang bisa dengan mudah menyatu dengan air tubuh. Tubuh tidak bisa menyimpannya karena dengan cepat vitamin tersebut akan dikeluarkan lagi lewat cairan tubuh. Vitamin yang termasuk dalam vitamin larut lemak adalah vitamin A, D, E dan K, sedangkan vitamin yang termasuk dalam vitamin larut air adalah vitamin B kompleks (B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₇, B₉, B₁₂) dan C.

Vitamin yang larut lemak atau minyak, jika berlebihan tidak dikeluarkan oleh tubuh, melainkan akan disimpan. Sebaliknya, vitamin yang larut dalam air, yaitu vitamin B kompleks dan C, tidak disimpan, melainkan akan dikeluarkan oleh sistem pembuangan tubuh. Akibatnya, selalu dibutuhkan asupan vitamin tersebut setiap hari. Vitamin yang alami bisa didapat dari sayur, buah dan produk hewani. Seringkali vitamin yang terkandung dalam makanan atau minuman tidak berada dalam keadaan bebas, melainkan terikat, baik secara fisik maupun kimia. Proses pencernaan makanan, baik di dalam lambung maupun usus halus akan membantu melepaskan vitamin dari makanan agar bisa diserap oleh usus. Vitamin larut lemak diserap di dalam usus bersama dengan lemak atau minyak yang dikonsumsi.

Vitamin diserap oleh usus dengan proses dan mekanisme yang berbeda. Terdapat perbedaan prinsip proses penyerapan antara vitamin larut lemak dengan vitamin larut air.

Vitamin yang larut dalam lemak

Vitamin yang larut dalam lemak merupakan molekul hidrofobik apolar, yang semuanya adalah derivat isoprene. Molekul-molekul ini tidak disintesis tubuh dalam jumlah yang memadai sehingga harus disuplai dari makanan. Pemasokan vitamin- vitamin yang larut dalam lemak ini memerlukan absorpsi lemak yang normal agar vitamin tersebut dapat diabsorpsi secara efisien. Vitamin larut lemak akan diserap secara difusi pasif dan kemudian di dalam dinding usus digabungkan dengan (lipoprotein).

VITAMIN A

Vitamin A terutama terdapat pada mentega, telur, hati dan daging. Vitamin A dapat juga berasal dari karoten yang merupakan pigmen tumbuh-tumbuhan. Karoten, yang disebut juga provitamin A, banyak terdapat pada sayuran berwarna hijau atau kuning dan buah-buahan seperti wortel, pepaya, tomat. Terdapat beberapa jenis karoten alfa, beta, dan gama dan bentuk yang paling aktif ialah beta karoten. Hanya 1/3 karoten diubah menjadi vitamin A pada dinding usus.

Diet retinoid

Serum mengandung β -karoten, α -karoten, kriptoksanthin, lycopene, dan lutein sebagai komponen utama, dengan konsentrasi zeaxanthin lebih sedikit, xantofil lain, dan poliena seperti phytofluene dan phytoene, yang semuanya diperoleh dari makanan.. Retinol diet diambil langsung dari lumen ke dalam enterosit; Namun, ester retinil diet harus terlebih dahulu menjalani hidrolisis enzimatis di dalam lumen atau pada brush border enterocyte untuk memungkinkan pengambilan produk retinol terhidrolisis.

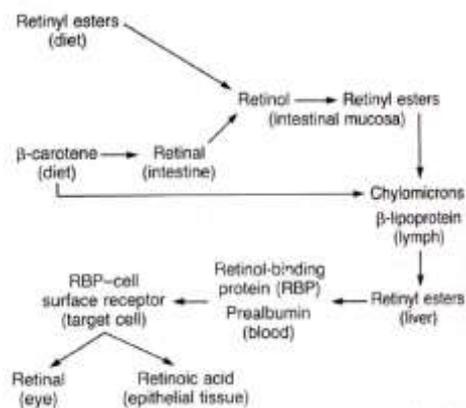
Pencernaan dan Penyerapan Karotenoid dan Vitamin A

Retinoid berasal dari makanan, yang sebagian besar terdiri dari retinol dan ester retinil, atau sebagai proretinoid karotenoid, yang dapat dikonversi menjadi retinoid di dalam usus dan jaringan lainnya. Proses pencernaan utama yang terjadi di dalam lumen usus mencakup pelepasan fisik retinoid diet dan proretinoid karotenoid dari matriks makanan dan emulsifikasi mereka dengan asam lemak makanan dan asam empedu. Emulsifikasi dengan asam lemak bebas dan garam empedu diperlukan untuk memfasilitasi pengambilan retinoid dan karotenoid yang sangat tidak larut ke dalam enterosit dari lumen. Setelah makan, vitamin A yang sudah terbentuk dan karotenoid dilepaskan oleh kerja pepsin dalam lambung dan oleh berbagai enzim-enzim proteolitik dalam saluran usus bagian atas. Karotenoid dan turunan-turunan vitamin A mengumpul ke dalam globula globula lipid yang kemudian terdispersi dalam usus bagian atas oleh asam-asam empedu yang terkonjugasi. Ester-ester xantofil dan vitamin A dalam emulsi lipida ini selanjutnya dihidrolisis oleh berbagai enzim esterase dalam cairan pancreas, menghasilkan karotenoid dan vitamin A yang bebas. Bersamaan dengan itu juga trigliserida, fosfolipida dan ester-ester kolesteril juga dihidrolisis. Partikel-

partikel teremulsi yang dihasilkannya pertama-tama berdifusi ke dalam lapisan glikoprotein di sekitar mikrovili dari sel-sel epitel usus dan kemudian diserap. Berbagai faktor yang mempengaruhi efisiensi penyerapan karotenoid dan vitamin A adalah : terdapatnya lemak, protein, dan antioksidan dalam makanan; terdapatnya cairan empedu dan komponen normal dari enzim-enzim pankreas dalam lumen usus; dan kesempurnaan sel-sel mukosa.

Transformasi Vitamin A dan Karotenoid dalam Sel-sel Mukosa

Sebagian besar retinol yang diserap, diesterifikasi dengan asam palmitat di dalam sel-sel mukosa. Koenzim A dan ATP biasanya dibutuhkan untuk esterifikasi ini, meskipun mungkin juga terjadi esterifikasi-trans dengan fosfolipida atau berbagai donor asil lainnya. Beberapa retinol mungkin juga dioksidasi menjadi retinaldehida, dan sejumlah kecil aldehida ini selanjutnya dioksidasi menjadi asam retionat. β - karoten dan karotenoid provitamin A lainnya sebagian besar membelah pada ikatan rangkap 15,15' menghasilkan dua molekul all-trans retinaldehida. Enzim-enzim yang mengkatalisis reaksi ini yaitu 15,15' karotenoid dioksigenase adalah suatu enzim yang larut yang keaktifannya tertekan oleh kurangnya konsumsi protein. Beberapa karotenoid yang terhidroksilasi tunggal mungkin juga diubah menjadi satu molekul retinaldehida oleh pembelahan keluar dari rantai karotenoid diikuti oleh pemendekan rantai. Sebagian besar retinaldehida yang terbentuk direduksi oleh enzim retinaldehida reduktase menjadi retinol yang kemudian diesterifikasi. Ester retinil bersama-sama dengan trigliserida, fosfolipida dan ester kolesteril kemudian bersatu ke dalam kilomikron.

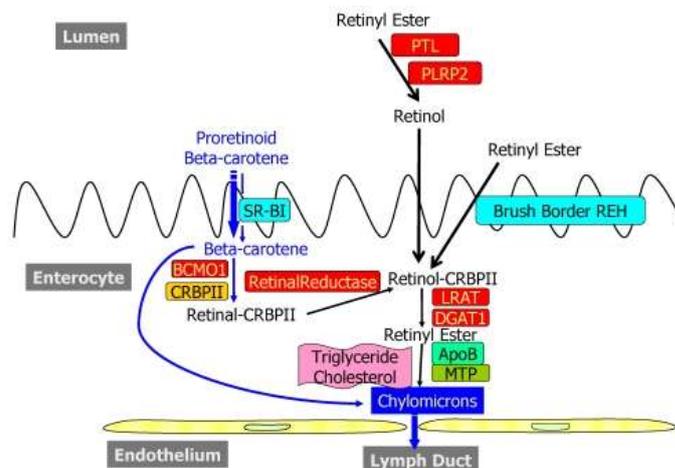


Gambar 24. Jalur diet vitamin A mencapai sel target

Metabolisme dalam Saluran Gastrointestinal (GI)

Metabolisme retinoid di dalam saluran GI terjadi terutama di dalam bagian proksimal usus halus dan melibatkan kejadian metabolik yang terjadi baik di dalam lumen, maupun di dalam enterosit. Peristiwa ini dirangkum dalam Gambar... . Untuk penyerapan retinoid secara optimal, lemak harus dikonsumsi bersamaan dengan retinoid yang baru tertelan. Lemak ini dibutuhkan untuk memudahkan masuknya retinoid ke dalam enterocytes dari lumen usus. Selain itu, diperlukan penambahan lemak untuk memungkinkan terbentuknya chylomicron secara optimal, karena retinoid, seperti halnya diet lipid lainnya, masuk ke dalam tubuh sebagai komponen dari chylomicron.

Usus adalah organ utama di dalam tubuh dimana proretinoid karotenoid diet, seperti β karoten, diubah menjadi retinoid. Diet proretinoid karotenoid, serta karotenoid non-proretinoid seperti lycopene dan lutein, dimasukkan ke dalam chylomicrons nascent dan dengan demikian memasuki sirkulasi umum dan tubuh



Gambar 25. Skema umum untuk pengambilan dan metabolisme retinoid diet dan proretinoid karotenoid di dalam usus.

Diet proretinoid karotenoid, seperti β -karoten, dimasukkan ke dalam enterosit melalui proses yang melibatkan SR-B1. Begitu berada di dalam enterocyte, β -karoten dapat ditindaklanjuti oleh BCMO1 dan diubah menjadi retinal, yang mengikat CRBP II, atau dapat digabungkan utuh dan tidak dimodifikasi bersamaan dengan lemak dan kolesterol makanan menjadi chylomicron nascent. Retinal yang dihasilkan dari pembelahan β -karoten harus mengalami reduksi retinol. Hal ini dikatalisis oleh satu atau lebih retinal reduktase. Setelah di konversi ke retinol, retinol yang terbentuk dari diet

proretinoid karotenoid secara metabolik tidak dapat dibedakan dari retinoid yang masuk sebagai retinoid diet. Diet ester retinil juga dihidrolisis dalam lumen usus oleh PTL atau PLRP2 atau mengalami hidrolisis pada brush border usus yang dikatalisis oleh REH brush border. Retinol masuk ke dalam enterosit berikatan dengan CRBP II dan diesterifikasi menjadi ester retinil. Sebagai tanggapan terhadap tantangan fisiologis retinol, LRAT akan mengkatalisis sekitar 90% pembentukan ester retinil, sedangkan asil CoA: retinol asiltransferase, DGAT1, mengkatalisis sisa pembentukan ester retinil. Ester retinil yang dihasilkan kemudian dikemas bersama dengan lemak diet dan kolesterol menjadi chylomicron muda (nascent), yang disekresikan ke dalam sistem limfatik

Esterifikasi retinol pada enterosit

Retinol diet yang baru diserap dalam enterosit harus diesterifikasi sebelum pengemasannya sebagai ester retinil dalam kilomikron nascent. Usus memiliki dua aktivitas enzim yang berbeda yang dapat mensintesis ester retinil dari retinol. Salah satunya, lesitin: retinol asiltransferase (LRAT), mengkatalisis transesterifikasi retinol yang menggunakan gugus asil lemak yang ada dalam posisi A1 dari molekul fosfatidil kolin membran. Yang lainnya, asil-CoA: retinol asiltransferase (ARAT), mengkatalisis esterifikasi asil-CoA-dependent dari retinol.

Protein Pengikat Retinol Cellular, Tipe II (CRBP II)

Retinoid sangat tidak larut dalam air dan akibatnya di dalam lingkungan air mereka biasanya ditemukan terikat pada protein pengikat retinoid spesifik, CRBP II dilaporkan diekspresikan hanya di mukosa usus dan digunakan untuk memfasilitasi penyerapan retinol secara optimal dari makanan. Dalam enterocyte, CRBP II mewakili 0,4-1,0% dari total protein sitosol.

Pengambilan dan Penyimpanan Vitamin A dalam hati

Seperti telah disebutkan sebelumnya, β -karoten dan karotenoid provitamin A yang lain diubah menjadi retinal dalam sel mukosa usus, dan reaksi pembelahan yang sama terjadi dalam hati dan kemungkinan juga dalam organ lainnya. Retinal dan retinol bersifat reversibel dengan adanya enzim-enzim yang membutuhkan NAD atau NADP. Sebagian enzim-enzim dihidrogenase tersebut

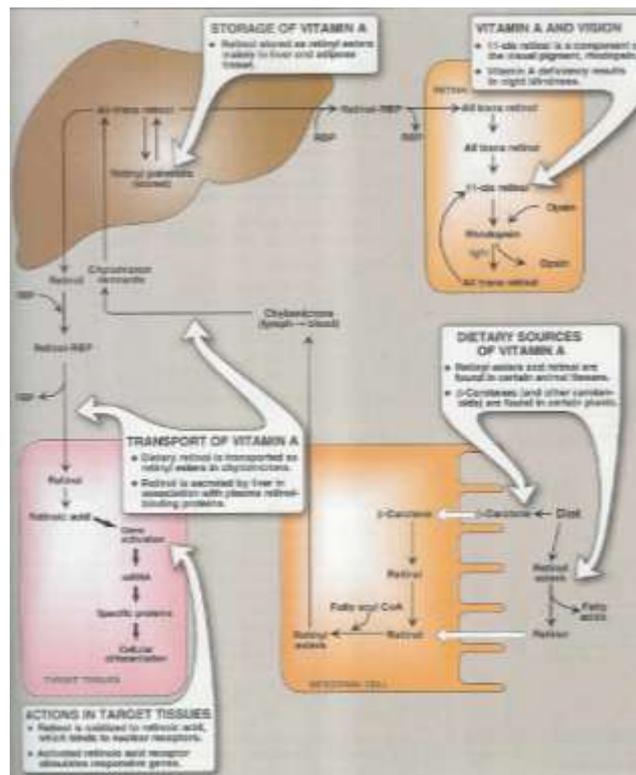
tidak begitu spesifik seperti enzim pada hati, sedangkan enzim lainnya, seperti terdapat pada retina bersifat sangat spesifik. Esterifikasi dan de-esterifikasi vitamin A yang terjadi secara luas dalam usus, hati dan juga dalam jaringan lainnya, dikatalisis oleh dua.

Kelompok enzim yang berbeda yaitu retinil ester sintetase dan hidrolase. Apabila vitamin A terdapat sebagai lapisan tipis, dengan adanya oksigen atau cahaya akan segera teroksidasi membentuk epoksida, hidroperoksida dan produk-produk hasil siklisasi yang tidak diinginkan. Dengan adanya nikotinamid adenine dinukleotida (NAD) dan flavin adenine dinukleotida (FAD), secara biologis retinaldehid diubah menjadi asam retinoat yang selanjutnya akan dioksidasi oleh enzim hidrolase yang bergantung pada NADPH, menjadi asam-4-hidroksiretinoat. Asam retinoat atau metabolitnya kemungkinan akan mengalami pemendekan rantai secara bertahap dengan kehilangan karbon dioksida dan fragmen 3-karbon atau 2-karbon. Akhirnya suatu enzim epoksidase dapat mengubah asam retinoat menjadi asam 5,6-epoksi-retinoat. Pada umumnya produk-produk berantai pendek dari vitamin A yang mempunyai aktivitas biologis kecil atau tidak memiliki aktivitas biologis sama sekali, akan dipisahkan dalam urin, sedangkan produk-produk oksidasi yang mengandung rantai utuh sebagian besar dipisahkan dalam empedu. Pemisahan dalam empedu, produk-produk utamanya adalah komponen-komponen yang sangat polar termasuk beta-glukuronida dari retinol dan asam retinoat. Senyawa beta-glukuronida dan beberapa turunannya yang terdapat dalam empedu, akan diserap kembali ke dalam usus dan kemudian diangkut menuju ke hati. Sirkulasi yang demikian tersebut dikenal dengan sirkulasi vitamin A enterohepatik. Selain itu, beberapa retinol yang diangkut ke jaringan oleh suatu protein akan diesterifikasikan dan diangkut kembali menuju organ hati. Di dalam tubuh, sebagian besar vitamin A disimpan dalam hati dan sisanya ditemukan di dalam jaringan-jaringan. Vitamin A tersebut sebagian besar merupakan suatu kompleks lipoprotein atau glikoprotein yang 90 persen berbentuk ester retinil dan sisanya berbentuk retinil yang tidak teresterifikasikan. Retinil akan mengalami hidrolisis oleh adanya enzim ester retinil hidrolase yang bergabung dengan senyawa kompleks dan memindahkan retinil ke protein penerima (akseptor). Proses hidrolisis tersebut dikatalisis oleh retinil palmitat hidrolase dengan memindahkan senyawa trans-retinol ke protein pengikat retinol (Retinol Binding Protein = RBP), yaitu apo-retinol intrasel. Selanjutnya, holo-RBP diolah melalui

badan golgi dan dikeluarkan ke dalam plasma. Pergantian holo-RBP terjadi sangat cepat. Waktu paruhnya berkisar antara 11 sampai 16 jam, sedangkan dalam keadaan bebas atau apo-RBP waktu paruhnya sekitar 4 jam. Pada kondisi kekurangan RBP plasma akan turun sebesar 50 persen dari jumlah normal dan sebagian besar berbentuk apo-RBP. Dan sebaliknya, konsentrasi apo-RBP di dalam hati meningkat. Pada kondisi normal, konsentrasi RBP di dalam plasma sukar dikontrol. Meskipun demikian, perlakuan dengan asam retinoat akan menurunkan konsentrasi RBP dalam plasma. Diduga bahwa asam retinoat tersebut yang memberikan isyarat kepada hati untuk membebaskan holo-RBP.

Chylomicrons dan Metabolisme retinoid dalam Sirkulasi

Untuk pengambilan retinoid diet, ester retinil dikemas bersama dengan lipid dalam pakan lainnya menjadi chylomikron nascent, yang disekresikan ke dalam sistem limfatik. Karotenoid diet yang belum mengalami konversi ke retinoid juga dimasukkan ke dalam chylomicrons nascent. Setelah memasuki sirkulasi umum, chylomicrons nascent menjalani proses remodeling yang terutama melibatkan hidrolisis trigliserida dengan lipoprotein lipase (LpL) dan perolehan apolipoprotein E (apoE) dari sirkulasi, menghasilkan pembentukan sisa-sisa chylomikron. 66-75% retinoid diet (Chylomikron dan chylomikron remnant retinoid) diambil oleh hati dimana disimpan dalam sel stellate hepatic (HSCs), dan sisanya dibersihkan oleh jaringan perifer. Jaringan mendapatkan retinoid yang dibutuhkan karena retinol terikat pada protein pengikat spesifiknya, protein pengikat retinol (RBP, juga disebut sebagai RBP4), namun 25-33% dari semua retinoid diet yang diserap oleh usus dikirim melalui chylomicrons dan sisa-sisanya ke jaringan selain hati. LpL dapat menghidrolisis ester retinil yang ada dalam chylomikron, dan hidrolisis ester retinil memfasilitasi pengambilan retinol oleh jaringan perifer. LpL bertindak untuk memodulasi pengambilan retinoid oleh jaringan otot, jantung dan adiposa, jaringan mammae, susu dan paru-paru



Gambar 26. Metabolisme vitamin A dalam tubuh

- (1) penyerapan usus dan metabolisme retinoid dalam enterosit; (2) pengambilan, pengolahan, dan penyimpanan retinoid di dalam hati, di mana 70% retinoid yang tersimpan di dalam tubuh; (3) penyimpanan dan metabolisme retinoid di sejumlah jaringan ekstrahepatik pengambilan dan metabolisme retinoid dapat menjadi komponen integral fisiologi jaringan.

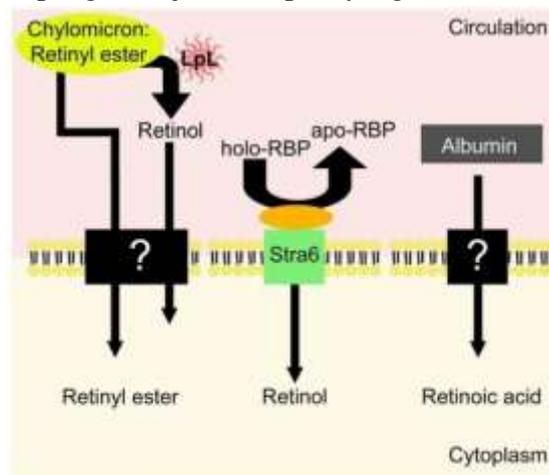
Metabolisme Retinoid Hepatik

Hati adalah tempat utama metabolisme dan penyimpanan retinoid di tubuh. Ada dua jenis sel hepatic yang penting untuk proses ini: sel parenkim (juga dikenal sebagai hepatosit) dan sel stellate (juga dikenal sebagai sel penyimpanan lemak, sel lipid, sel Ito, dan sel perisinusoid). Hepatosit terdiri dari sekitar 66% sel di hati dan mengandung 90% dari total massa protein. Sel stellata hepatic (HSCs) relatif lebih kecil dan kurang melimpah. HSCs hanya terdiri dari 6-8% sel di hati dan mengandung 1% protein hati. hepatosit terlibat secara terpusat dalam pengambilan dan pengolahan retinol di hati, dan HSC memainkan peran sentral dalam penyimpanan retinoid hepatic. pemahaman tentang metabolisme retinoid pada hepatosit dan HSC, termasuk pengambilan dan pengolahan ester retinil

chylomikron oleh hepatosit, transfer retinoid ke HSC, penyimpanan retinoid pada HSC dan retinol hati. Mobilisasi retinol hepatic.

Penyerapan dan Pengolahan Ester Retinyl Chylomicron oleh Hepatosit Reseptor Chylomicron remnant hepatic

Bila ester retinyl yang terkandung dalam chylomicron remnant sampai di hati, ia masuk ke ruang Disse (terletak di antara endotelium dan hepatosit). Hanya sisa-sisa ukuran yang sesuai yang bisa dilewati, sementara partikel yang lebih besar, termasuk keseluruhan chylomicrons, tidak disertakan. Begitu masuk, sisa-sisa diambil secara eksklusif oleh hepatosit oleh salah satu dari dua jalur yang dimediasi reseptor. Satu jalur yang dimediasi reseptor melibatkan pengambilan langsung oleh reseptor lipoprotein densitas rendah (LDL), yang memiliki afinitas tinggi untuk partikel sisa chylomicron yang kaya apoE, dan internalisasi melalui endositosis. Jika reseptor LDL tidak ada, sisa-sisa tersebut dapat diasingkan di tempat Disse dengan mengikat proteoglikan heparin sulfat (HSPGs), yang dimediasi oleh apoE. Sisa-sisa juga dapat diasingkan melalui pengikatan lipase hati, yang disempurnakan dengan adanya apoB. Sisa-sisa pada akhirnya dapat dipindahkan ke reseptor LDL saat tersedia atau, jika sisa-sisa memperoleh cukup apoE, dipindahkan ke reseptor alternatif, protein terkait reseptor LDL (LRP). LpL, yang diperoleh oleh sisa-sisa selama pembentukannya, dapat memfasilitasi pengambilan sisa-sisa oleh LRP. Ini belum ditentukan sejauh mana masing-masing reseptor berkontribusi terhadap penghapusan ester retinyl kromomikron, tetapi kemungkinannya bergantung pada keadaan metabolik hewan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi jumlah apoE yang disekresikan.



Gambar 27. Serapan retinoid ke jaringan ekstrahepatik

Retinoid dalam sirkulasi hadir dalam beberapa bentuk, termasuk retinol yang terikat pada RBP (holo-RBP), ester retinil dalam lipoprotein (terutama chylomicrons, tetapi juga VLDL, LDL, dan HDL), dan asam retinoat terikat pada albumin. Mekanisme yang memediasi serapan seluler dari retinil ester dan asam retinoat. LpL dapat menghidrolisis retinil ester menjadi retinol, yang kemudian dapat diambil oleh jaringan dan sel. Protein transmembran Stra6 mampu mengikat holo-RBP dan memfasilitasi penyerapannya ke dalam sel.

Fungsi Vitamin A

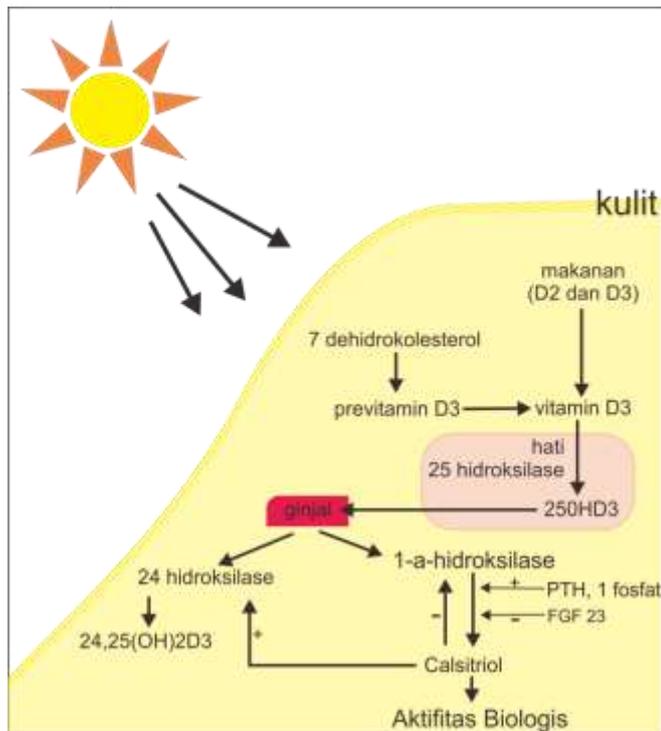
Di dalam tubuh vitamin A berfungsi dalam penglihatan, regulasi membrane, mereduksi pembentukan kolesterol, serta berperan dalam sintesis glikoprotein di dalam membran sel, yaitu sebagai pengangkut mono- atau oligo-sakarida. Di antara berbagai fungsi tersebut, peranan vitamin A dalam proses penglihatan adalah yang paling utama.

Mekanisme penglihatan terjadi karena fungsi vitamin A dan protein. Menunjukkan bahwa siklus penglihatan terjadi di dalam sel batang retina mata. Sel tersebut akan berfungsi dengan adanya rangsangan sinar yang berintensitas rendah, dan bukan oleh adanya rangsangan warna. Komponen aktif yang berperan dalam proses penglihatan adalah senyawa retinol teroksidasi, yang dikenal dengan nama opsin. Kompleks retinal-opsin tersebut disebut rodopsin, yang menyusun membran sel batang. Pada saat rodopsin memperoleh rangsangan sinar, retinal yang mempunyai ikatan ganda pada posisi 11 bentuk cis-(ikatan ganda lainnya berbentuk trans) akan mengalami perubahan yang sangat cepat dan kompleks menjadi bentuk all-trans-retinal. Perubahan tersebut diduga menyebabkan perubahan konfigurasi geometris retinal yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk molekul rodopsin secara keseluruhan. Peristiwa tersebut akan memberikan rangsangan syaraf optik secara cepat yang pada akhirnya akan diteruskan ke otak. Selanjutnya senyawa all-trans-retinal yang dibentuk selama iluminasi, melalui berbagai reaksi enzimatik akan diubah kembali menjadi bentuk 11 cis-retinal yang berlangsung dalam reaksi gelap (tanpa adanya rangsangan sinar). Pada unggas rangsangan sinar sangat berpengaruh dalam regulasi proses reproduksi.

VITAMIN D

Vitamin D dikenal sebagai prohormon. Vitamin D, juga dikenal sebagai calciferol, terdiri dari sekelompok sterol yang larut dalam lemak. Dua bentuk utamanya adalah vitamin D2 dan vitamin D3. Vitamin D2 (ergocalciferol) sebagian besar ditambahkan pada makanan, sedangkan vitamin D3 (cholecalciferol) disintesis di kulit dari 7-dehidrocholesterol dan juga dikonsumsi dalam makanan melalui asupan makanan berbasis hewani. Bentuk D2 dan D3 hanya berbeda dalam struktur rantai sampingnya. Perbedaannya tidak mempengaruhi metabolisme (yaitu aktivasi), dan keduanya bentuknya berfungsi sebagai prohormon. Bila diaktifkan, bentuk D2 dan D3 telah dilaporkan menunjukkan respons yang identik dalam tubuh.

Langkah aktivasi yang terlibat dalam mengubah vitamin D dari sintesis diet dan kutaneous diilustrasikan pada Gambar..... Vitamin D, baik dalam bentuk D2 maupun D3, dianggap tidak aktif secara biologis sampai mengalami dua reaksi hidroksilasi enzimatis. Yang pertama terjadi di hati, dimediasi oleh 25-hidroksilase (kemungkinan sitokrom P450 2R1 [CYP2R1]) yang membentuk 25-hydroxyvitamin D (selanjutnya disebut 25OHD). Reaksi kedua terjadi di ginjal, dimediasi oleh 1α -hydroxylase (CYP27B1), yang mengubah 25OHD menjadi hormon aktif biologis, calcitriol (1,25-dihydroxyvitamin D). Gen 1α -hydroxylase juga diekspresikan dalam beberapa jaringan ekstra-ginjal, namun kontribusinya terhadap pembentukan kalsitriol pada jaringan ini tidak diketahui. 25OHD, prekursor calcitriol, adalah bentuk sirkulasi utama vitamin D; Itu beredar terikat ke protein pembawa plasma spesifik, protein pengikat vitamin D (DBP). DBP juga mengangkut vitamin D dan calcitriol.



Gambar 28. Gambaran umum tentang sintesis, asupan, dan aktivasi vitamin D

Sintesis kalsitriol oleh ginjal diatur secara ketat oleh dua hormon, dengan regulasi melalui hormon paratiroid (PTH) dan regulasi melalui faktor pertumbuhan seperti fibroblas-23 (FGF23). Kadar fosfor serum yang rendah merangsang sintesis calcitriol, sedangkan kadar fosfor serum yang tinggi menghambatnya. Setelah sintesisnya di ginjal, calcitriol mengikat DBP untuk diangkut ke organ target. Tindakan biologis kalsitriol, melibatkan regulasi ekspresi gen pada tingkat transkripsi, dan dimediasi melalui pengikatan reseptor vitamin D (VDR), yang terletak terutama di nukleus sel target. Reaksi hidroksilasi tambahan, seperti yang dimediasi oleh CYP24A1.

Sintesis pada kulit

Vitamin D3 disintesis pada kulit dari 7-dehydrocholesterol setelah terpapar radiasi ultraviolet B (UVB) dengan panjang gelombang 290 sampai 320 nm. Proses konversi 7-dehydrocholesterol yang dimediasi UVB ke bentuk previtamin D3 dan isomerisasi termal berikutnya ke vitamin D3 yang terjadi di epidermis

Produksi vitamin D3 di kulit merupakan fungsi dari jumlah radiasi UVB yang mencapai dermis serta ketersediaan 7-dehydrocholesterol. Dengan demikian, tingkat sintesis dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti yang dijelaskan di bawah pada bagian "Tindakan Terkait dengan Vitamin D: Serum 25OHD," termasuk

musim tahun ini, pigmentasi kulit, lintang, penggunaan tabir surya, pakaian, dan jumlah kulit yang terpapar. Usia juga merupakan faktor, dalam sintesis vitamin D menurun seiring bertambahnya usia, karena jatuh ke level 7-dehidrocholesterol dan sebagian disebabkan oleh perubahan morfologi kulit.

Metabolisme Vitamin D

Absorpsi Vitamin D

Karena sifatnya yang mudah larut dalam lemak, vitamin D diet (baik D₂ atau D₃) diserap dengan lemak diet lainnya di usus halus. Penyerapan vitamin D yang efisien bergantung pada keberadaan lemak di lumen, yang memicu pelepasan asam empedu dan lipase pankreas. Asam empedu memulai emulsifikasi lipid. Lipase pankreas menghidrolisis trigliserida menjadi monogliserida dan asam lemak bebas, dan asam empedu mendukung pembentukan misel yang mengandung lipid, yang berdifusi melalui enterosit. Vitamin D dari makanan diserap pada bagian proksimal usus halus

Di dalam dinding enterosit, vitamin D, kolesterol, trigliserida, lipoprotein, dan lipid lainnya dikemas bersama menjadi chylomicrons dan diangkut dalam sistem limfatik. Sebagian kecil dari kandungan vitamin D yang baru diserap juga diangkut bersamaan dengan asam amino dan karbohidrat ke dalam sistem portal untuk mencapai hati secara langsung, jalur utama pengambilan vitamin D digabungkan ke dalam chylomicrons yang mencapai sirkulasi sistemik melalui limfatik. Dari sistem limfatik vitamin D dilepaskan, dari kilomikron dan masuk ke saluran darah. Di dalam plasma darah, vitamin D diikat oleh suatu protein transportir, yaitu *vitamin D-binding protein (DBP)* atau globulin. Melalui saluran darah tersebut, vitamin D ditransportasikan ke hati dan oleh mikrosom/mitokondria hati, vitamin D₃ dihidroksilasi pada posisi ke-25, menjadi kalsidiol (*calcidiol*, atau 25-hidroksi-kolekalsiferol/ 25-hidroksi vitamin D₃) dengan bantuan enzim 25-D₃-hidroksilase. Selanjutnya 25-hidroksi vitamin D₃ memasuki sirkulasi menuju ginjal.

Lipid chylomicron juga dimetabolisme di jaringan perifer yang mengekspresikan lipoprotein lipase, namun terutama pada jaringan adiposa dan otot rangka, yang kaya akan enzim ini. Selama hidrolisis trigliserida chylomicron, sebagian kecil vitamin D yang terkandung dalam chylomicron dapat diambil oleh jaringan ini. Serapan ke dalam jaringan adiposa dan otot skeletal menyebabkan

hilangnya vitamin D secara cepat dari plasma dan mungkin juga menjelaskan mengapa peningkatan adipositas menyebabkan penyerapan vitamin D dan dikaitkan dengan tingkat 25OHD yang lebih rendah. Yang tersisa dari chylomicron setelah lipolisis adalah residu kromomikron, partikel kaya trigliserida yang diperkaya kolesterol, yang masih mengandung sedikit kandungan vitamin D.

Bila kadar kalsium darah rendah, kelenjar paratiroid mengeluarkan hormon parathormon yang akan merubah kalsidiol menjadi kalsitriol. Proses ini terjadi di mitokondria tubulus proksimalis ginjal, dimana 25-hidroksi vitamin D₃ mengalami hidroksilasi pada posisi ke-1 menjadi 1 α -25-dihidroksi vitamin D₃, dengan bantuan enzim 1 α -hidroksilase. Senyawa 1 α -25-dihidroksi vitamin D₃ inilah yang merupakan metabolit vitamin D₃ yang paling kuat dan berperan dalam meningkatkan absorpsi kalsium dalam usus dan reabsorpsi kalsium dalam ginjal.

Bila kadar kalsium darah tinggi, kelenjar gondok (tiroid) mengeluarkan hormon kalsitonin (calcitonin) yang akan mengubah kalsidiol menjadi 24,25-dihidroksi vitamin D₃ dengan adanya peran enzim 24-hidroksilase yang menghidrolisis 25-hidroksi vitamin D₃ pada posisi 24. Metabolit 24,25-dihidroksi vitamin D₃ ini adalah bentuk vitamin D inaktif, berkepentingan dalam peningkatan absorpsi kalsium dari usus, tetapi menurunkan kalsium dan fosfor serum untuk meningkatkan mineralisasi tulang.

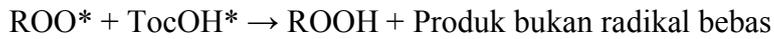
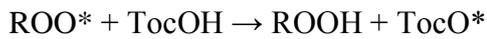
VITAMIN E

Vitamin E atau Tokoferol adalah bagian integral dari membran seluler yang peran utamanya adalah mempertahankan sel melawan oksidasi. Dalam sel dan organel (misalnya mitokondria), vitamin E adalah garis pertahanan pertama melawan peroksidasi lipid. Karena Vitamin ini berfungsi sebagai antioksidan sehingga dapat mencegah atau menghambat penyakit degeneratif. Vitamin E bekerja sebagai antioksidan, sehingga dapat melindungi senyawa ini dari oksidasi, merupakan pertahanan utama melawan oksigen perusak, lipid peroksida, dan radikal bebas serta dapat menghentikan reaksi berantai dari radikal bebas.

Dengan adanya sifat antioksidan yang dimiliki oleh vitamin E, sel dan komponen tubuh lain akan terlindungi dari serangan radikal bebas dan menghentikan reaksi berantai atau oksidasi merusak. Selain itu vitamin E akan mencegah kerusakan DNA yang menyebabkan mutasi, mempertahankan unsur tubuh yang kaya akan lemak melawan oksidasi. Fungsi utama vitamin E adalah

sebagai antioksidan yang larut dalam lemak dan mudah memberikan hidrogen dari gugus hidroksil (OH) pada struktur cincin ke radikal bebas

Mekanisme vitamin E dalam bereaksi dengan radikal bebas sebagai berikut :



Reaksi di atas menunjukkan bahwa aktivitas vitamin E adalah dengan cara memutuskan rantai yang dimiliki tokoferol (TocOH) terhadap rantai peroksil (ROOH). Vitamin E juga berfungsi sebagai penetran membran dari peningkatan PUFA.

Mekanisme Tokoferol (Vitamin E) sebagai antioksidan mampu memutuskan ikatan berantai dari radikal bebas. Radikal bebas merupakan molekul oksigen dengan atom pada orbit terluarnya memiliki elektron tidak berpasangan, bersifat liar, tidak stabil, dan radikal, sehingga selalu mencari pasangan elektron dengan cara merebut elektron dari molekul lain. Jika jumlahnya berlebihan, radikal bebas akan memicu efek patologis. Radikal bebas yang berlebih dapat menyerang senyawa apa saja terutama yang rentan seperti lipid dan protein dan berimplikasi pada timbulnya berbagai penyakit degeneratif. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat kurangnya antioksidan dalam tubuh, sehingga tidak mampu mengimbangi terjadinya produk oksidasi setiap saat.

Antioksidan sebagai senyawa yang dapat menunda, memperlambat, dan mencegah proses oksidasi lipid. Dalam arti khusus, antioksidan adalah zat yang dapat menunda atau mencegah terjadinya reaksi antioksidasi radikal bebas dalam oksidasi lipid. Antioksidan adalah senyawa yang mempunyai struktur molekul yang dapat memberikan elektronnya dengan cuma-cuma kepada molekul radikal bebas tanpa terganggu sama sekali fungsinya dan dapat memutuskan reaksi berantai dari radikal bebas.

Sumber

Bentuk alami vitamin hanya disintesis oleh tanaman dan ditemukan terutama di minyak tumbuhan. Vitamin E (tocopherol) juga terdapat di dalam kloroplas sehingga banyak ditemukan pada daun. Sifat vitamin E yang mudah larut lemak memungkinkannya disimpan dalam jaringan lemak hewan dan

manusia. Namun, jumlah vitamin E yang didapat dalam makanan inklusif daging kurang dari jumlah yang dipasok oleh sumber tanaman.

Absorpsi

Penyerapan vitamin E sangat bergantung pada proses yang sama yang digunakan selama pencernaan dan metabolisme asam lemak. Sebanyak 20-80 % tokoferol diabsorpsi di bagian atas usus halus dalam bentuk misel. Absorpsi tokoferol dibantu trigliserida rantai sedang dan dihambat asam lemak rantai panjang tidak jenuh ganda. Asam empedu penting untuk penyerapan vitamin E dan pembentukan micelle. Setelah terbentuk, micelle kemudian bisa melewati lapisan air dan melepaskan isinya ke dalam enterocyte. Protein transfer terlibat dalam proses tersebut. Setelah melewati enterocyte, vitamin E dikemas menjadi chylomicron dan disiapkan untuk sirkulasi. Kurangnya komponen transporter ini akan menghambat pembentukan carrier dan pada gilirannya, penyerapan vitamin E.

Metabolisme

Setelah mencapai permukaan basolateral enterocyte, vitamin E dikemas ke dalam chylomicrons dan kemudian diangkut ke seluruh tubuh melalui sirkulasi. Transportasi dari mukosa usus halus ke dalam sistem limfe dilakukan oleh chylomicron untuk dibawa ke hati. Vitamin E karena hidrofobitasnya membutuhkan mekanisme transportasi khusus di lingkungan plasma, cairan tubuh dan sel. Tidak seperti Vitamin yang larut lemak lainnya, vitamin E tidak memiliki protein transport plasma spesifik, melainkan diangkut dalam lipoprotein plasma dan distribusinya sejajar dengan total lipid.

chylomicrons dipecah oleh lipoprotein lipase dan isinya tersebar ke berbagai jalur. Vitamin E dalam chylomicron seimbang dengan High-Density Lipoprotein (HDL) dan Low-Density Lipoprotein (LDL). Dari HDL, semua lipoprotein yang beredar akhirnya menerima vitamin E, karena HDL dengan mudah memindahkan senyawa tersebut ke lipoprotein dengan kecepatan setara dengan 10% vitamin E per jam. Vitamin E yang tersisa di dalam chylomicron menjadi sisa-sisa chylomicron dan kembali ke hati. Setelah di hati, vitamin E dikemas ke dalam Very Low Density Lipoprotein (VLDL) dan diekskresikan kembali ke sirkulasi. Dari hati bentuk alfa-tokoferol diangkut oleh *very low-density lipoprotein/VLDL* masuk ke dalam plasma. alfa tokoferol merupakan lebih

dari 80% dari total vitamin E yang dikemas ke dalam VLDL dan disekresikan oleh hati, sedangkan sebagian besar gama-tokoferol dikeluarkan melalui empedu. Transfer tokoferol dilakukan oleh alpha tocopherol transfer protein (ATTP). Karena VLDL dipecah oleh lipoprotein lipase, Low Density Lipoproteins (LDL) terbentuk dan dari lipoprotein ini, vitamin E dipindahkan ke HDL dan akhirnya dimasukkan ke dalam lipoprotein atau jaringan perifer yang bersirkulasi. Salah satu lipoprotein yang disebutkan sebelumnya memiliki kemampuan untuk mentransfer vitamin E ke jaringan sesuai kebutuhan. Tokoferol di dalam plasma kemudian diterima oleh reseptor sel-sel perifer *low-density lipoprotein*/LDL dan masuk ke membran sel. Tokoferol menumpuk di bagian-bagian sel dimana produksi radikal bebas paling banyak terbentuk, yaitu di mitokondria dan retikulum endoplasma

Mekanisme terakhir untuk vitamin E adalah pengambilan oleh jaringan perifer dari chylomicron melalui aktivitas lipoprotein lipase. Setelah vitamin E telah dipindahkan ke LDL dari dua reseptor chylomicron (reseptor LDL dependent dan reseptor independen LDL) di dalam jaringan berperan dalam pengambilan vitamin E ke dalam sel.

Penyimpanan

Vitamin E adalah vitamin yang larut dalam lipid dan oleh karena itu, lebih dari 90% vitamin E tubuh ditemukan di jaringan adiposa. Lebih dari 90% ditemukan sebagai bagian dari tetesan lemak adipocyte, sedangkan sisanya ditemukan terutama pada membran seluler adipocyte. Konsentrasi vitamin E mencakup berbagai macam jaringan tubuh. Di plasma, konsentrasi vitamin E kira-kira 27 $\mu\text{mol} / \text{l}$. Dalam protein otot skelet, konsentrasi vitamin E sangat bervariasi tergantung pada jenis otot. Meskipun sebagian besar vitamin E ditemukan di jaringan adiposa (230 nmol / g berat basah), tidak ada satu organ tunggal yang berfungsi untuk menyimpan dan melepaskan vitamin E sesuai kebutuhan.

Ekskresi

Vitamin E diekskresikan terutama melalui empedu, urin, kotoran, dan kulit. Vitamin dioksidasi dan membentuk hydroquinone dan kemudian terkonjugasi untuk membentuk glukuronat. Setelah terbentuk, glukuronat dapat diekskresikan

ke empedu atau terdegradasi lebih lanjut ke dalam ginjal dan diekskresikan dalam urin

VITAMIN K

Vitamin K (K dari “Koagulations-Vitamin”) merupakan vitamin lipofilik yang dibutuhkan dalam proses pembekuan darah. Secara kimia vitamin ini adalah turunan 2-metil-1,4-naftokuinona. Vitamin K bersifat tahan panas, tetapi akan segera rusak apabila terpapar senyawa asam, basa, dan cahaya matahari.

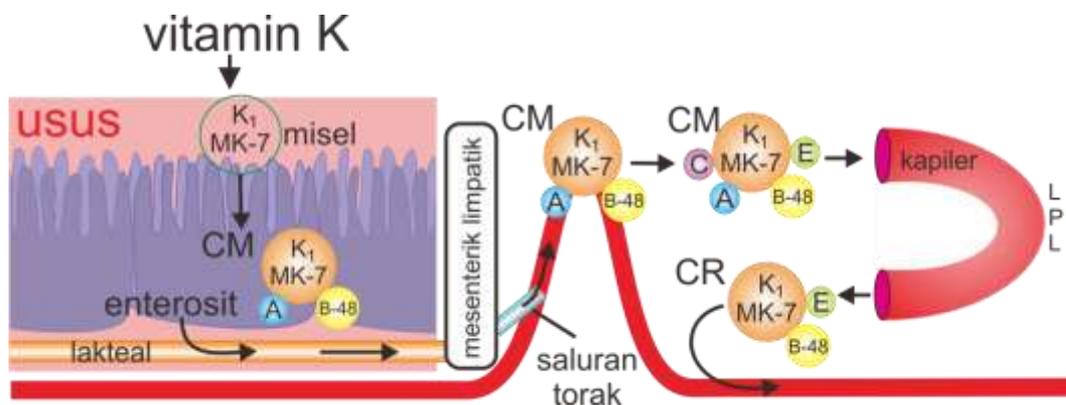
Pada unggas kekurangan vitamin K akan memperlambat pembekuan darah. Anak puyuh/ayam yang dalam ransumnya kekurangan vitamin K, dapat menyebabkan kematian karena pendarahan akibat luka-luka yang disebabkan pecahnya pembuluh darah. Hemorrhagi dapat timbul di bawah kulit, intramuskular atau intraperitoneal, yang luasnya bervariasi. Gejala defisiensi atau kekurangan vitamin K sering timbul pada sekitar dua sampai tiga minggu setelah anak puyuh tersebut mulai makan ransum yang defisiensi akan vitamin K. Hemorrhagi dapat terlihat pada dada, kaki, sayap, dalam rongga perut dan pada permukaan usus. Anak puyuh/ayam menderita anemia sebagian disebabkan karena kehilangan darah akan tetapi juga karena sumsum tulang yang hipoplastik. Defisiensi ringan seringkali menyebabkan bercak-bercak hemorrhagis.

Ayam dewasa kelihatannya tidak dipengaruhi oleh defisiensi vitamin K akut. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa ayam dewasa dapat mensintesis vitamin tersebut. Ayam dewasa yang mendapat ransum berkadar vitamin K rendah, menghasilkan telur-telur yang rendah kadar vitamin K-nya. Bila telur-telur tersebut ditetaskan akan diperoleh anak ayam yang mempunyai persediaan vitamin K sangat rendah dalam tubuhnya. Sebagai konsekuensinya anak ayam tersebut dapat mati akibat pendarahan suatu luka.

Sebagaimana vitamin yang larut lemak lainnya, penyerapan vitamin K dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan lemak, antara lain cukup tidaknya sekresi empedu dan pankreas yang diperlukan untuk penyerapan vitamin K. Sekitar 50-80% vitamin K dalam makanan diabsorpsi di dalam usus halus. Setelah diabsorpsi, vitamin K digabungkan dengan kilomikron untuk diangkut melalui saluran limfatik, kemudian melalui saluran darah ditransportasi ke hati. Sekitar 90% vitamin K yang sampai di hati disimpan dalam bentuk

menaquinone. Dari hati Vitamin K diangkut terutama oleh lipoprotein VLDL di dalam plasma ke sel-sel tubuh. Vitamin K terutama dihubungkan dengan membrane sel, yaitu dengan reticulum endoplasma dengan mitokondria. Taraf Vitamin K dalam serum meningkat pada hiperlipidemia, terutama pada Trigliserida. Hal-hal yang menghambat absorpsi lemak akan menurunkan absorpsi vitamin K.

Dalam keadaan Normal, sebanyak 30-40 % Vitamin K yang diabsorpsi dikeluarkan melalui empedu, dan 15 % melalui urin sebagai metabolit larut air. Simpanan vitamin K di dalam tubuh tidak banyak dan penggantinya terjadi cepat. Simpanan di dalam hati sebanyak 10 % berupa filokinon dan 90 % berupa metakinon yang kemungkinan di sintesis oleh bakteri saluran cerna. Namun, kebutuhan akan Vitamin K tampaknya tidak dapat hanya dipenuhi dari sintesis menakinon, akan tetapi sebagian perlu didatangkan dari makanan. Metabolisme vitamin K adalah sebagai berikut :



Gambar 29. Penyerapan Vitamin K. CM, chylomicron; LPL, lipoprotein lipase; MK, menaquinone.

Penyerapan phyloquinone diet (K1) dan MK-7 pada intestinal. Dalam lumen intestinal, K1 dan MK-7 dimasukkan ke dalam misel campuran yang terdiri dari garam empedu, produk lipolisis pankreas, dan lipid diet lainnya. Campuran misel diambil oleh usus halus dan dimasukkan ke dalam chylomikron nascent, yang memiliki apoA dan apoB-48 di permukaannya. CM disekresikan dari dalam villi usus ke kapiler limfatik (lakteal), yang bergabung dengan pembuluh limfatik yang lebih besar dan masuk ke sirkulasi darah melalui saluran toraks. Dalam aliran darah, CM memperoleh apoC dan apoE dari HDL. CM masuk kapiler dari

jaringan perifer di mana mereka kehilangan sebagian besar muatan TG mereka melalui aksi LPL, pada saat yang sama kehilangan apoA dan C. CR hasil yang masuk kembali ke sirkulasi lebih kecil dan memiliki inti lipid sentral dengan permukaan apoB-48 dan apoE.

Seluruh vitamin K dalam tubuh diproses dalam liver di mana nantinya akan digunakan untuk memproduksi zat pembuat darah bisa membeku. Selain berperan dalam pembekuan, vitamin ini juga penting untuk pembentukan tulang terutama jenis K₁. Vitamin K₁ diperlukan supaya penyerapan kalsium bagi tulang menjadi maksimal dan memastikan tidak salah sasaran

Manfaat Vitamin K

Selain berperan dalam proses pembekuan darah, vitamin K juga memiliki beberapa manfaat lainnya bagi tubuh antara lain :

- Membantu penyerapan mineral penting seperti – kalsium
- Membantu mencegah hilangnya kepadatan tulang dan membantu mengobati osteoporosis
- Mencegah pengerasan arteri
- Mencegah terjadinya perdarahan
- Mensintesis protein yang ditemukan pada plasma, tulang dan ginjal
- Berperan penting untuk konversi glutamat asam amino ke asam gamma-carboxyglutamic (GCA)
- Berperan dalam karboksilasi osteocalcin (OC), dalam rangka untuk mengikat kalsium
- Vitamin K₁ juga dikenal sebagai phyloquinone atau phytomenadione (juga disebut phytonadione). Vitamin K₂ (menaquinone, menatetrenone) biasanya diproduksi oleh bakteri dalam usus besar, dan kekurangan makanan sangat jarang kecuali usus yang rusak berat, tidak dapat menyerap molekul, atau karena penurunan produksi oleh flora normal.
- Struktur kimia vitamin K terdapat dalam tiga bentuk berbeda (Gambar), pertama adalah vitamin K₁ atau **filloquinon**, yaitu jenis yang ditemukan dan dihasilkan tumbuh-tumbuhan dan daun hijau. Kedua, adalah K₂ atau disebut juga dengan **menaquinon**, yang dihasilkan oleh jaringan hewan dan bakteri menguntungkan dalam sistem pencernaan. Dan yang ketiga adalah K₃ atau

menadion, yang merupakan vitamin sintetis, bersifat larut dalam air, digunakan untuk penderita yang mengalami gangguan penyerapan vitamin K dari makanan.

- Ada tiga bentuk vitamin K sintetis, vitamin K₃, K₄, dan K₅, yang digunakan dalam berbagai bidang termasuk industri makanan hewan (vitamin K₃) dan menghambat pertumbuhan jamur (vitamin K₅).

VITAMIN YANG LARUT DALAM AIR

Sebagian besar vitamin larut air merupakan komponen sistem enzim yang banyak terlibat dalam membantu metabolisme energi. Vitamin larut air biasanya tidak disimpan di dalam tubuh dan dikeluarkan melalui urin dalam jumlah kecil. Oleh sebab itu vitamin larut air perlu dikonsumsi tiap hari untuk mencegah kekurangan yang dapat mengganggu fungsi tubuh normal.

Vitamin larut air dikelompokkan menjadi vitamin C dan vitamin B, vitamin B terdiri dari 8 faktor yang saling berkaitan fungsinya di dalam tubuh dan terdapat di dalam bahan makanan yang hampir sama. Fungsi terkait di dalam proses metabolisme sel hidup, sebagai koenzim atau kofaktor. Vitamin B yang penting bagi nutrisi adalah :

- Tiamin (vitamin B₁).
- Riboflavin (vitamin B₂).
- Niasin (asam nikotinat ,nikotinamida, vitamin B₃) -
- Asam pantotenat (vitamin B₅).
- Vitamin B₆ (piridoksin ,piridoksal ,piridoksamin).
- Biotin.
- Vitamin B₁₂ (kobalamin).
- Asam folat.

Karena kelarutannya dalam air ,kelebihan vitamin ini akan diekskresikan ke dalam urin dan dengan demikian jarang tertimbun dalam konsentrasi yang toksik.Penyimpanan vitamin B kompleks bersifat terbatas (kecuali kobalamin) sebagai akibatnya vitamin B kompleks harus dikonsumsi secara teratur.

VITAMIN C

Bentuk aktif vitamin C adalah asam askorbat, dimana fungsinya sebagai donor ekuivalen pereduksi dalam sejumlah reaksi penting tertentu. Asam askorbat

dioksidasi menjadi asam dehidroaskorbat, yang dengan sendirinya dapat bertindak sebagai sumber vitamin tersebut. Asam askorbat merupakan zat pereduksi dengan potensial hydrogen sebesar +0,008V, sehingga membuatnya mampu untuk mereduksi senyawa seperti oksigen, nitrat, dan sitokrom a serta c.

Vitamin C adalah Kristal putih yang mudah larut dalam air. Dalam keadaan kering vitamin C cukup stabil, tetapi dalam keadaan larut, vitamin C mudah rusak karena bersentuhan dengan udara (oksidasi) terutama bila kena panas. Oksidasi dipercepat dengan kehadiran tembaga dan besi. Vitamin C tidak stabil dalam larutan alkali, tetapi cukup stabil dalam larutan asam. Vitamin C adalah vitamin yang labil.

Susunan kimia

Asam askorbat (vitamin C) adalah suatu turunan heksosa dan diklasifikasikan sebagai karbohidrat yang erat berkaitan dengan monosakarida. Vitamin C dapat disintesis dari D-glikosa dan D-galaktosa dalam tumbuh-tumbuhan dan sebagian besar hewan. Vitamin C terdapat dalam 2 bentuk di alam, yaitu L-asam askorbat (berbentuk tereduksi) dan L-asam dehidro askorbat (berbentuk teroksidasi).

Kedua bentuk vitamin C aktif secara biologik tetapi bentuk tereduksi adalah yang paling aktif. Oksidasi lebih lanjut L-asam dehidro askorbat menghasilkan asam diketo L-gulonat dan aksalat yang tidak dapat direduksi (berarti telah kehilangan sifat antiskorbutnya)

Absorpsi

Penyerapan vitamin C terjadi di usus halus. Vitamin C mudah diabsorpsi secara aktif dan mungkin pula secara difusi pada bagian atas usus halus lalu masuk ke peredaran darah melalui vena porta. Rata-rata absorpsi adalah 90% untuk konsumsi diantara 20 dan 120 mg sehari. Konsumsi tinggi sampai 12 gram, hanya diabsorpsi sebanyak 16%. Efisiensi penyerapan sekitar 80-90% bila konsumsi dalam jumlah kecil sampai 100 mg. Semakin tinggi konsumsi, semakin rendah penyerapan vitamin C. Dengan konsumsi 1.5 g, penyerapan yang terjadi hanya 49%. Vitamin C jumlah besar dalam rongga usus akan menyebabkan diare osmotik, cirinya feses menjadi encer. Ini biasanya terjadi bila vitamin C dikonsumsi dalam jumlah besar secara tiba-tiba. Kadar vitamin C dalam darah bervariasi, bergantung pada asupan vitamin. Konsumsi dalam jumlah besar akan

meningkatkan kadar dalam darah, tetapi akan lebih banyak juga yang dibuang melalui urin. Bila tidak mengonsumsi vitamin C, kadar vitamin ini akan menurun 3-4% setiap harinya. Tubuh akan mempertahankan kadar vitamin C sekitar 1.2-1.5 mg/100 ml dalam darah dan selebihnya akan dibuang melalui ginjal dalam bentuk asam oksalat. Salah satu risiko konsumsi megadosis vitamin C adalah pembentukan batu oksalat di ginjal. Kebutuhan harian vitamin C sebenarnya tidaklah tinggi.

Vitamin C kemudian dibawa ke semua jaringan. Konsentrasi tertinggi adalah didalam jaringan adrenal, putuitari, dan retina. Tubuh dapat menyimpan hingga 1500 mg vitamin C bila dikonsumsi mencapai 100 mg sehari. Jumlah ini dapat mencegah terjadinya skorbut selama 3 bulan. Tanda-tanda skorbut akan terjadi bila persediaan tinggal 300 mg. konsumsi melebihi taraf kejenuhan berbagai jaringan dikeluarkan melalui urin dalam bentuk asam oksalat. Pada konsumsi melebihi 100 mg sehari kelebihan akan dikeluarkan sebagai asam askorbat atau sebagai karbon dioksida melalui pernapasan. Walaupun tubuh mengandung sedikit vitamin C, sebagian tetap akan dikeluarkan.

Metabolisme

Bentuk aktif vitamin C adalah asam askorbat itu sendiri dimana fungsinya sebagai donor ekuivalen pereduksi dalam sejumlah reaksi penting tertentu. Asam askorbat dioksidasi menjadi asam dehidroaskorbat ,yang dengan sendirinya dapat bertindak sebagai sumber vitamin tersebut. Asam askorbat merupakan zat pereduksi dengan potensial hydrogen sebesar +0,008 V, sehingga membuatnya mampu untuk mereduksi senyawa-senyawa seperti oksigen molekuler, nitrat, dan sitokrom a serta c. Mekanisme kerja asam askorbat dalam banyak aktivitasnya masih belum jelas, tetapi proses di bawah ini membutuhkan asam askorbat :

- a. Hidroksilasi prolin dalam sintesis kolagen.
- b. Proses penguraian tirosin, oksidasi P-hidroksi –fenilpiruvat menjadi homogentisat memerlukan vitamin C yang bisa mempertahankan keadaan tereduksi pada ion tembaga yang diperlukan untuk memberikan aktivitas maksimal.
- c. Sintesis epinefrin dari tirosin pada tahap dopamine-hidroksilase.
- d. Pembentukan asam empedu pada tahap awal 7 alfa – hidroksilase.

- e. Korteks adrenal mengandung sejumlah besar vitamin C yang dengan cepat akan terpakai habis kalau kelenjar tersebut dirangsang oleh hormon adrenokortikotropik.
 - f. Penyerapan besi meningkat secara bermakna oleh adanya vitamin C.
 - g. Asam askorbat dapat bertindak sebagai antioksidan umum yang larut dalam air dan dapat menghambat pembentukan nitrosamin dalam proses pencernaan.
- Defisiensi atau kekurangan asam askorbat menyebabkan penyakit skorbut, penyakit ini berhubungan dengan gangguan sintesis kolagen yang diperlihatkan dalam bentuk perdarahan subkutan serta perdarahan lainnya, kelemahan otot.

Fungsi

Vitamin C mempunyai banyak fungsi didalam tubuh, sebagai koenzim atau kofaktor. Asam askorbat adalah bahan yang kuat kemampuan tereduksi dan bertindak sebagai antioksidan dalam reaksi-reaksi hidrosilasi. Beberapa turunan vitamin C (seperti asam eritrobik dan askorbikpalmitat) digunakan sebagai antioksidan didalam industri pangan untuk pengawetan daging.

Sintesis kolagen

Fungsi vitamin C banyak berkaitan dengan pembentukan kolagen. Vitamin C diperlukan untuk hidrosilasi prolin dan lisin menjadi hidroksiprolin, bahan penting dalam bentuk pembentukan kolagen. Kolagen merupakan senyawa protein yang mempengaruhi integritas struktur sel disemua jaringan ikat, seperti pada tulang rawan, matriks tulang, dentin gigi, membrane kapiler, kulit dan tendon. Dengan demikian, vitamin C berperan dalam penyembuhan luka, patah tulang, perdarahan dibawah kulit.

a. Sintesis karnitin, noradrenalin, serotonin, dan lain-lain

Kartinin memegang peranan dalam menagangkut asam lemak-rantai panjang kedalam mitokondria untuk dioksidasi. Kartinin menurunkan pada defisiensi vitamin C yang disertai dengan rasa lemah dan lelah. Perubahan dopamine menjadi noradrenalin membutuhkan vitamin C. vitamin C berperan dalam perubahan triptofan menjadi 5-hidroksitriptofan dan pembawa saraf serotonin. Asam askorbat juga berperan dalam hidrosilasi berbagai steroid di dalam jaringan adrenal. Konsentrasi vitamin C didalam kelenjar adrenal menurun bila aktivitas hormone adrenal meningkat. Dalam keadaan stress emosional, psikologis atau fisik, ekskresi vitamin C melalui urin meningkat. Vitamin C

diperlukan untuk oksidasi fenilalanin dan tirosin serta perubahan folasin menjadi asam tetrahidrofolat.

b. Absorpsi dan metabolisme besi

Vitamin C mereduksi besi feri menjadi fero dalam usus halus sehingga mudah diabsorpsi. Vitamin C menghambat pembentukan hemosiderin yang sukar dimobilisasi untuk membebaskan besi bila diperlukan. Absorpsi besi dalam bentuk nonhem meningkat 4 kali lipat bila ada vitamin C. Vitamin C berperan dalam memindahkan besi dari transferin di dalam plasma ke feritin hati.

c. Absorpsi kalsium

Vitamin C juga membantu absorpsi kalsium dengan menjaga agar kalsium berada dalam bentuk larutan.

d. Mencegah infeksi : Vitamin C meningkatkan daya tahan terhadap infeksi,

e. anti stres

Vitamin C lebih dikenal sebagai asam askorbat karena sifatnya yang asam. Suplementasi vitamin C berpengaruh terhadap pertumbuhan, reproduksi, mortalitas, dan berpengaruh positif terhadap unggas yang mengalami cekaman lingkungan dan gizi. Sifat asam disebabkan oleh dua hidroksilenoat yaitu hidroksil pada C-3 dan C-2. Vitamin C merupakan struktur paling sederhana, merupakan senyawa dengan rumus bangun yang menyerupai suatu monosakarida dan dalam kenyataan vitamin C secara biokimia disintesa dari D-glukosa. Vitamin C tergolong senyawa yang larut dalam air dan bersifat tidak stabil, serta mudah teroksidasi selama proses pembuatan dan penyimpanan pakan, kemungkinan menurun kandungannya dalam ransum sangat besar sehingga kebutuhannya dalam pembuatan pakan sangat bervariasi dan relatif tinggi. Saat ini telah diproduksi turunan vitamin C yang lebih stabil untuk mengurangi pengaruh – pengaruh tersebut seperti *L-ascorbic-2-phosphate-magnesium*, *L-ascorbic-2-sulfate*, *L-ascorbic-Polyphosphate* sehingga penggunaannya dapat lebih efektif dalam pembuatan pakan. Vitamin dibutuhkan dalam pertumbuhan yang normal, jaringan tubuh dan reproduksi. Kebutuhan vitamin umumnya pada batas minimum tetapi dapat mendukung pertumbuhan yang maksimum atau untuk mencegah gejala defisiensi.

Pada saat terjadi stres kelenjar adrenal akan mensekresikan epinephrine, yang akan membantu pemecahan glikogen menjadi glucose 1-phosphate pada otot dan pada saat itu pembentukan glikogen baru akan dihentikan. Energi yang dihasilkan dari pemecahan glikogen tersebut akan digunakan untuk kontraksi otot. Jika keadaan stres berkepanjangan akan menyebabkan pemecahan glikogen yang ada pada otot.

Vitamin C (asam askorbat) pada unggas dibutuhkan dalam reaksi hidroksilasi pada sistem syaraf dan medula adrenal. Vitamin C sebagai ko-substrat dalam hidroksilasi tirosin pada pelepasan norepineprin dan dalam medulla adrenal untuk pelepasan katekolamin lain yaitu epinefrin. Peranan ini penting untuk fungsi sistem syaraf secara normal dan untuk ketersediaan epinefrin dalam hubungannya dengan stress. Suplemen vitamin C dalam jumlah banyak diperlukan jika tubuh dalam kondisi stress karena secara emosional atau cekaman lingkungan, untuk mempertahankan konsentrasi asam askorbat yang normal dalam plasma darah. Ayam tidak mempunyai kemampuan lagi untuk mensintesis vitamin C dalam jumlah yang cukup apabila mendapat cekaman panas. Kadar vitamin C dalam plasma dan hati menurun dengan bertambahnya umur.

VITAMIN B

Secara umum, golongan vitamin B berperan penting dalam metabolisme di dalam tubuh, terutama dalam hal pelepasan energi saat beraktivitas. Hal ini terkait dengan peranannya di dalam tubuh, yaitu sebagai senyawa koenzim yang dapat meningkatkan laju reaksi metabolisme tubuh terhadap berbagai jenis sumber energi. Beberapa jenis vitamin yang tergolong dalam kelompok vitamin B ini juga berperan dalam pembentukan sel darah merah (eritrosit).

Jenis-jenis vitamin B

1). Vitamin B1 (Tiamin)

Vitamin B₁, yang dikenal juga dengan nama tiamin, merupakan salah satu jenis vitamin yang memiliki peranan penting dalam menjaga kesehatan kulit dan membantu mengkonversi karbohidrat menjadi energi yang diperlukan tubuh. Di samping itu, vitamin B₁ juga membantu proses metabolisme protein dan lemak.

Bila terjadi defisiensi vitamin B₁, akan mengalami berbagai gangguan kulit, gangguan saluran pencernaan, jantung, dan sistem saraf.

a) Absorpsi, metabolisme dan penyimpanan

Tiamin di absorpsi secara aktif terutama di duodenum di bagian atas yang bersuasana asam, dengan bantuan adenine trifosfatase (ATPase) yang bergantung pada natrium. Tiamin yang di konsumsi yang melebihi 5 mg/hari sebagian akan di absorpsi secara pasif. Setelah di absorpsi, \pm 30 mg tiamin mengalami fosforisasi dan di simpan sebagai tiamin pirofosfat (TPP) di dalam jantung, hati, ginjal dan otot.

Tubuh mengandung 30 – 70 mg tiamin, 80% dalam bentuk TPP. Separo dari tiamin terdapat di dalam otot, selebihnya di dalam hati, jantung, ginjal dan otak. Tiamin berada dalam sirkulasi darah dalam jumlah kecil dalam bentuk bebas. Ekskresi dilakukan melalui urin dalam bentuk utuh dan sebagian kecil dalam bentuk metabolit, terutama tiamin difosfat dan disulfat. Ekskresi melalui urin menurun dengan cepat pada kekurangan tiamin. Tiamin dapat disintesis oleh mikroorganisme dalam saluran cerna hewan, tetapi yang dapat di manfaatkan tubuh adalah kecil.

b) Peran atau fungsi

Dalam bentuk pirofosfat (TPP) atau difosfat (TDP), tiamin berfungsi sebagai koenzim berbagai reaksi metabolisme energy. Tiamin di butuhkan untuk dekarboksilasi oksidatif piruvat menjadi asetil KoA dan memungkinkan masuknya substrat yang dapat dioksidasi ke dalam siklus kreb untuk pembentukan energy. Asetil KoA yang di hasilkan enzim ini di samping itu merupakan prekursor penting lipida asetil kolin, yang berarti adanya peranan TPP dalam fungsi normal system saraf. Di dalam siklus krebs, TPP juga di butuhkan untuk dikarboksilasi oksidatif alfa-ketoglutarat menjadi seksinil-KoA. TPP juga di butuhkan untuk dikarboksilasi asam alfa-keto seperti asam alfa- ketoglutarat dan 2-keto-karboksilat yang di peroleh dari asam-asam amino metionin, treonin, leusin, isoleusin dan valin. Tiamin juga merupakan koenzim reaksi transketolase yang berfungsi dalam pentose-fosfat shunt, jalur alternative oksidasi glukosa.

Walaupun tiamin di butuhkan dalam metabolisme lemak, protein dan asam nuclear, peranan utamanya adalah dalam metabolisme karbohidrat.

Vitamin B₂ (riboflavin)

Vitamin B₂ (riboflavin) banyak berperan penting dalam metabolisme di tubuh manusia. Di dalam tubuh, vitamin B₂ berperan sebagai salah satu komponen koenzim flavin mononukleotida (flavin mono nucleotide, FMN) dan flavin adenine dinukleotida (adenine dinucleotide, FAD). Kedua enzim ini berperan penting dalam regenerasi energi bagi tubuh melalui proses respirasi. Vitamin ini juga berperan dalam pembentukan molekul steroid, sel darah merah, dan glikogen, serta menyokong pertumbuhan berbagai organ tubuh, seperti kulit, rambut, dan kuku. Sumber vitamin B₂ banyak ditemukan pada sayur-sayuran segar, kacang kedelai, kuning telur, dan susu. Defisiensinya dapat menyebabkan menurunnya daya tahan tubuh, kulit kering bersisik, mulut kering, bibir pecah-pecah, dan sariawan.

a) Absorpsi Transportasi dan Ekskresi

Riboflavin dibebaskan dari ikatan-ikatan protein sebagai FAD dan FMN di dalam lambung yang bersuasana asam. FAD dan FMN kemudian di dalam usus halus dihidrolisis oleh enzim-enzim pirofosfatase dan fosfatase menjadi riboflavin bebas. Riboflavin di absorpsi dibagian atas usus halus secara aktif oleh proses yang membutuhkan natrium untuk kemudian mengalami fosforisasi hingga menjadi fmn di dalam mukosa usus halus.

Riboflavin dan FMN dalam aliran darah sebagian besar terikat pada albumin dan sebagian kecil pada immunoglobulin G. riboflavin dan metabolitnya terutama disimpan di dalam hati, jantung dan ginjal simpanan riboflavin terutama dalam bentuk FAD yang mewakili 70 – 90% vitamin tersebut. Konsentrasinya 5 kali fmn dan 50 kali riboflavin, sebanyak 200 µg riboflavin dan metabolitnya dilakukan melalui urin tiap hari.

b) Fungsi atau Peranan

Riboflavin mengikat asam fosfat dan menjadi bagian dari dia jenis koenzim FMN dan FAD. Kedua jenis koenzim ini berperan dalam reaksi oksidasi-reduksi dalam sel sebagai pembawa hydrogen dalam system traspor electron dalam metrokondria. Keduanya juga merupakan koenzim dehidrogenese yang mengkatalisis langkah pertama dalam oksidasi berbagai tahap metabolisme glukosa dan asam lemak. FMN digunakan untuk mengubah pirodaksin (vitamin B₆) menjadi koenzim fungsionalnya, sedangkan FAD berperan dalam perubahan triptofan menjadi niasin.

Enzim yang mengkatalisis fosforisasi riboflavin menjadi bentuk koenzim adalah flavokinase. Oleh karena koenzim ini diperlukan oleh sintesis DNA, riboflavin mempunyai pengaruh tidak langsung terhadap pertumbuhan. Enzim ini diatur oleh hormone tiroksin. Orang dewasa yang menderita kekurangan tiroksin menunjukkan kekurangan riboflavin.

3) **Vitamin B₃ (niasin)**

Vitamin B₃ juga dikenal dengan istilah niasin. Vitamin ini berperan penting dalam metabolisme karbohidrat untuk menghasilkan energi, metabolisme lemak, dan protein. Di dalam tubuh, vitamin B₃ memiliki peranan besar dalam menjaga kadar gula darah, tekanan darah tinggi, penyembuhan migrain, dan vertigo. Berbagai jenis senyawa racun dapat dinetralisir dengan bantuan vitamin ini. Vitamin B₃ termasuk salah satu jenis vitamin yang banyak ditemukan pada makanan hewani, seperti ragi, hati, ginjal, daging unggas, dan ikan. Akan tetapi, terdapat beberapa sumber pangan lainnya yang juga mengandung vitamin ini dalam kadar tinggi, antara lain gandum dan kentang manis. Kekurangan vitamin ini dapat menyebabkan tubuh mengalami kekejangan, kram otot, gangguan sistem pencernaan, muntah-muntah, dan mual.

a) Absorpsi dan metabolisme

Di dalam usus halus niasin di hidrolisis dan di absorpsi sebagai asam nikotinat, nikotinamida dan nikotinamida mononukleotida (NMN), dan kelebihan niasin di buang melalui urin

b) Peranan atau fungsi

Nikotinamida berfungsi di dalam tubuh sebagai bagian koenzim NAD dan NAD⁺ (NADH dan NADPH adalah bentuk reduksinya). Koenzim-koenzim ini diperlukan dalam reaksi oksidasi-reduksi pada glikolisis, metabolisme protein, pernafasan sel dan detoksifikasi, dimana perannya adalah melepas dan menerima atom hydrogen. NAD juga berfungsi dalam sintesis glikogen.

4) **Vitamin B₅ (asam pantotenat)**

Vitamin B₅ (asam pantotenat) banyak terlibat dalam reaksi enzimatik di dalam tubuh. Hal ini menyebabkan vitamin B₅ berperan besar dalam berbagai jenis metabolisme, seperti dalam reaksi pemecahan nutrisi makanan, terutama lemak. Peranan lain vitamin ini adalah menjaga komunikasi yang baik antara

sistem saraf pusat dan otak dan memproduksi senyawa asam lemak, sterol, neurotransmitter, dan hormon tubuh. Vitamin B₅ dapat ditemukan dalam berbagai jenis variasi makanan hewani, mulai dari daging, susu, ginjal, dan hati hingga makanan nabati, seperti sayuran hijau dan kacang hijau. Seperti halnya vitamin B₁ dan B₂, defisiensi vitamin B₅ dapat menyebabkan kulit pecah-pecah dan bersisik. Selain itu, gangguan lain yang akan diderita adalah kram otot serta kesulitan untuk tidur.

a) Absorpsi, metabolisme dan ekskresi

Asam pantotenat di konsumsi sebagai dari KoA yang oleh enzim fosfatase dalam saluran cerna di hidrolisis menjadi 4-fosfopantotein dan Asam pantotenat yang kemudian di absorpsi. Asam pantotenat di keluarkan melalui urin, terutama sebagai hasil metabolisme koenzim A.

Nilai darah normal adalah > 100 µg/dl dan ekskresi melalui urin sebanyak 1-5 mg/hr. dengan memakan adekuat, sebanyak 2 – 7 mg/hr di keluarkan melalui urin dan 1-2 mg/hr, melalui feses, nilai ini merupakan indikator yang sensitive tentang konsumsi makanan.

b) Fungsi

Peranan utama Asam pantotenat adalah sebagian koenzim A, yang di perlukan dalam berbagai reaksi metabolisme sel, sebagai bagian asetil KoA, Asam pantotenat terlibat dalam berbagai reaksi yang berkaitan dengan metabolisme KH dan lipida, termasuk sintesis dan pemecahan asam lemak. Disamping berperan dalam siklus asam sitrat dan glukoneogenesis, KoA adalah akseptor gugus asetat untuk asam amino. Asam pantotenat terlibat pula dalam sintesis hormone steroid, kolesterol, fosfolipida dan posfirin yang di perlukan untuk pembentukan hemoglobin.

5) Vitamin B₆ (piridoksin, piridoksal dan piridoksamin)

Vitamin B₆, atau dikenal juga dengan istilah piridoksin, merupakan vitamin yang esensial bagi pertumbuhan tubuh. Vitamin ini berperan sebagai salah satu senyawa koenzim A yang digunakan tubuh untuk menghasilkan energi melalui jalur sintesis asam lemak, seperti spingolipid dan fosfolipid. Selain itu, vitamin ini juga berperan dalam metabolisme nutrisi dan memproduksi antibodi sebagai mekanisme pertahanan tubuh terhadap antigen atau senyawa asing yang berbahaya bagi tubuh. Vitamin ini merupakan salah satu jenis vitamin yang

mudahdidapatkan karena vitamin ini banyak terdapat di dalam beras, jagung, kacang-kacangan, daging, dan ikan. Kekurangan vitamin dalam jumlah banyak dapat menyebabkan kram otot.

a) Absorpsi, transportasi dan ekskresi

Sebelum diabsorpsi, vitamin B₆ di dalam makanan yang terutama terdapat dalam bentuk fosforisasi, dihidrolisis oleh enzim fosfatase di dalam usus halus. Di dalam hati, ginjal, dan otak vitamin vitamin B₆ di fosforisasi kembali untuk kemudian di ubah menjadi bentuk PLP oleh enzim oksidase. Fosforisasi dan perubahan oksidatif vitamin B₆ juga dapat terjadi di dalam sel darah merah dimana PLP terikat pada hemoglobin, sebanyak 50% jumlah vitamin B₆ dalam tubuh di simpan di dalam otot. PLP di dalam hati diikat oleh apoenzim dan beredar didalam darah dalam keadaan terikat dengan albumin. PLP yang tidak terikat di ubah menjadi asam pirodoksat oleh enzim oksidase di dalam hati dan ginjal. Yaitu metabolit utama yang di keluarkan melalui urin.

b) Fungsi

Vitamin B₆ berfungsi dalam bentuk fosforisasi PLP dan PMP sebagai koenzim terutama dalam transaminasi, dekarboksilasi dan reaksi lain yang berkaitan dengan metabolisme protein. Dekarboksilasi yang bergantung pada PLP menghasilkan bentuk amin, seperti epidefrin. PLP juga berperan dalam pembentukam asam alfa-aminolevulinat, yaitu prekursor hem dalam hemoglobin.

Di samping itu, PLP di perlukan untuk perubahan triptofan menjadi niasin. Sebagai koenzim untuk fosforilase, PLP membantu pelepasan glikogen dari hati dan otot sebagai glukosa. PLP juga terlibat dalam perubahan asam linoleat menjadi asam arakidonat yang mempunyai fungsi biologik penting. Pirodoksin berada dalam otak dalam konsentrasi tinggi walaupun pada taraf plasma rendah. Kelainan otak mungkin di sebabkan oleh kurangnya pengambilan vitamin-vitamin tertentu terutama vitamin B₆ oleh otak.

6) Vitamin B₁₂

Vitamin B₁₂ atau sianokobalamin merupakan jenis vitamin yang hanya khusus diproduksi oleh hewan dan tidak ditemukan pada tanaman. Vitamin ini banyak berperan dalam metabolisme energi di dalam tubuh. Vitamin B₁₂ juga termasuk dalam salah satu jenis vitamin yang berperan dalam pemeliharaan kesehatan sel saraf, pembentukkan molekul DNA dan RNA, pembentukkan

platelet darah. Telur, hati, dan daging merupakan sumber makanan yang baik untuk memenuhi kebutuhan vitamin B₁₂. Kekurangan vitamin ini akan menyebabkan anemia (kekurangan darah), mudah lelah lesu, dan iritasi kulit.

a) Absorpsi, metabolisme dan ekskresi

Dalam keadaan normal sebanyak $\pm 70\%$ vitamin B₁₂ yang dapat di konsumsi. Dalam ventrikulus kobalamin di bebaskan dari ikatannya dengan protein oleh cairan ventrikulus dan pepsin, kemudian segera diikat oleh protein-protein khusus dalam ventrikulus. Vitamin B₁₂ di lepas dari factor R di dalam duodenum yang bersuasana alkali, oleh enzim-enzim protease pankreas terutama tripsin untuk segera di ikat oleh faktor intrinsik.

Proses absorpsi, di mulai dari konsumsi ke dalam vena porta membutuhkan waktu 8– 12 jam. Tubuh hemat dalam penggunaan vitamin B₁₂. vitamin B₁₂ yang terdapat dalam cairan empedu dan sekresi saluran cerna lain di salurkan kembali melalui saluran sirkulasi entero hepatic. Dengan demikian, penyimpanan vitamin B₁₂ dapat bertahan lama.

b) Fungsi

Vitamin B₁₂ di perlukan untuk mengubah folat menjadi bentuk aktif, dan dalam fungsi normal metabolisme semua sel, terutama sel-sel saluran cerna sussum tulang belakang, dan jarungan saraf. vitamin B₁₂ merupakan kofaktor dua jenis enzim pada manusia, yaitu metionin sintetase dan metilmalonil-KoA.

Reaksi metionin sintetase melibatkan asam folat di pindah ke kobalumin untuk membentuk metilkobalamin yang kemudian memberikan gugus metil ke homosistein. Produk akhir adalah metionin kobalamin, H₄ yang di butuhkan dalam pembentukan poliglutamil folat dan 5,10 metil-H₄ folat yang merupakan kofaktor timidilat sintetase dan akhirnya untuk sintesis DNA.

Reaksi metilmalonil-KoA mutase terjadi dalam mitokondria sel dan menggunakan deoksi adenosil kobalamin sebagai kofaktor. Reaksi ini mengubah metil malonil-KoA menjadi suksinil KoA. Reaksi-reaksi ini di perlukan untuk degradasi asam propionate dean asam lemak rantai ganjil terutama dalam system saraf.

c) Metabolisme Vitamin B₁₂

Absorpsi vitamin B₁₂ mempunyai mekanisme sangat rumit dan unik. Di dalam sekresi gaster terdapat enzyme transferase yang disebut factor intrinsic (FI). FI mengikat vitamin B₁₂ yang membuat vitamin ini resisten terhadap serangan

mikroba yang menghuni rongga usus. Dalam bentuk terikat FI vitamin B₁₂ ditranspor menembus mukosa usus. Di dalam rongga ileum ikatan FI-vitamin B₁₂ membuat kompleks dengan Ca dan Mg untuk kemudian diabsorpsi oleh dinding usus dan setelah menempel, vitamin B₁₂ dilepaskan lagi oleh liberating enzyme yang terdapat di dalam sekresi dinding usus. Vitamin B₁₂ yang telah terlepas kembali kemudian diserap menembus epitel dan masuk ke dalam mukosa usus halus. Mekanisme ini hanya berlaku untuk hydroxo cobalamine dan cyanocobalamine, tidak berlaku bagi cobalamin derivate lainnya (chlorocobalamine, nitrocobalamine dan thiocyanocobalamine).

Di dalam darah vitamin B₁₂ ditranspor terkonjugasi pada globulin. Hanya sebagian kecil saja dari vitamin B₁₂ yang terikat pada globulin itu diekskresikan melalui ginjal ke dalam urin. Kadar vitamin B₁₂ di dalam plasma darah tidak merefleksikan status gizi vitamin B₁₂ di dalam jaringan. Vitamin B₁₂ yang melebihi kapasitas mengikat vitamin di dalam darah diekskresikan dalam urin. Pada kondisi konsumsi fisiologis vitamin B₁₂ terutama terdapat dalam cairan empedu. Konsentrasinya dalam empedu terdapat sepuluh kali di dalam urine. Vitamin B₁₂ terutama ditimbun di dalam hati. Vitamin B₁₂ yang terdapat di dalam cairan empedu ini berasal dari simpanan di dalam hati tersebut. Vitamin B₁₂ yang diekskresikan di dalam cairan empedu ini sebagian diserap kembali di dalam usus halus, melalui lingkaran enterohepatik. Data menunjukkan bahwa cairan empedu ini mengandung F1 yang mendorong penyerapan kembali vitamin B₁₂.

MINERAL

Mineral merupakan komponen utama dalam pakan. Bahan mineral dapat berupa garam organik/an organik. Mineral merupakan suatu zat organik yang terdapat dalam kehidupan alam maupun dalam makhluk hidup. Di alam mineral merupakan unsur penting dalam tanah, bebatuan, air, dan udara. Sekitar 50% mineral tuuh terdiri dari kalsium, 25 % fosfor, dan 25% lainnya terdiri atas mineral lainnya. Mineral berperan pentingdalam pemeliharaan fungsi tubuh, seperti untuk pengaturan kerja enzim enzim, pemeliharaan keseimbangan asam basa, membantu pembentukan ikatan yang memerlukan mineral seperti pembentukan haemoglobin.

Mineral dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan jumlah ang dibutuhkan oleh tubuh :

- a. Makromineral : Kalsium (Ca), fosfor (P), kalium (K), sulfur (S), natrium (Na), klorida (Cl), dan magnesium (Mg)
- b. Mikromineral :besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu) dan florida (F)
- c. Trace mineral :Diperlukan dalam jumlah yang sangat kecil : Iodium (I), selenium (Se), Mangan (Mn), Kromium (Kr), Molibdenium (Mo), Baron (Br), dan Kobalt (Ko).

Tubuh tidak mampu mensintesis mineral, sehingga unsur unsur ini harus ada dalam pakan. Sumber mineral paling banyak terdapat pada pakan hewani dan tumuh tumbuhan. Metabolisme mineral sering dipengaruhi oleh adanya kandungan pakan lainnya. Fitat dapat membentuk senyawa kompleks yang tidak larut dengan besi dan seng yang dapat mengganggu penyerapan kalsium dengan menimbulkan pengikisan pada protein pengikat kalsium.

Fungsi mineral dalam proses metabolisme :

- a. Komponen struktural dalam tubuh
- b. Kofaktor/ metaloenzim dalam reaksi biologis.Mineral akan berikatan dengan enzim tertentu dan megaktifkan enzim yang bersangkutan sehingga berbagai reaksi biologis dalam tubuh dapat terus berlangsung. Selain itu mineral berkaitan dengan komponen protein dan mempengaruhi aktifitas protein yag bersangkutan, yakni peran besi sebagai bagian dari hemoglobin pada sel darah merah

- c. Fasilitator penyerapan dan transport zat gizi. Penyerapan dan transport beberapa zat gizi sangat bergantung pada beberapa mineral, seperti sodium yang berperan penting dalam penyerapan karbohidrat dan kalsium yang memfasilitasi penyerapan vitamin B12.
- d. Menjaga keseimbangan asam basa tubuh. Sebagian besar reaksi kimia di tubuh dapat berlangsung bila keasaman cairan tubuh sedikit di atas netral. Keasaman cairan tubuh sangat ditentukan oleh konsentrasi relative dari ion H^+ dan OH^- . Beberapa mineral memiliki tendensi untuk berikatan dengan ion lainnya.
- e. Menjaga keseimbangan cairan tubuh. Mineral dalam bentuk ion mempunyai pengaruh besar terhadap perpindahan cairan tubuh baik dari luar sel maupun antar sel ke pembuluh darah. Mekanisme ini secara keseluruhan turut serta mengontrol keseimbangan cairan di seluruh tubuh sehingga proses metabolisme dapat terus berlangsung.
- f. Penghantar impuls saraf. Prinsip mekanisme ini adalah perpindahan ion mineral antar sel saraf disepanjang serabut saraf. Mineral yang berperan terutama adalah natrium dan potasium yang bekerja menghantarkan impuls antar membran sel serta kalsium yang akan merangsang seluruh saraf untuk mengeluarkan molekul neurotransmitter, mengikatnya dan menghantarkan ke sel saraf lain.
- g. Regulasi kontraksi otot, yakni mineral yang terdapat di antara sel yang berperan dalam aktifitas otot. Kontraksi otot memerlukan ion kalsium dalam jumlah cukup. Sedangkan relaksasi otot dapat berlangsung normal berkat aktifitas ion natrium dan magesium.

KALSIUM (Ca)

Kalsium merupakan salah satu unsur mineral yang sangat dibutuhkan oleh puyuh, yang berfungsi dalam pembentukan tulang, kerabang telur, kontraksi otot dan sebagai komponen yang mempengaruhi kadar elektrolit serta asam basa dalam darah. Apabila pakan yang dikonsumsi tidak dapat memenuhi kebutuhan, maka tubuh akan mengambil kalsium dari tulang, yang merupakan tempat cadangan kalsium dalam tubuh. Kandungan kalsium dalam darah terdapat dalam batas tertentu. Apabila kadar kalsium dalam darah lebih kecil atau lebih besar dari batas normal, maka akan terjadi gangguan metabolisme tubuh. Kadar kalsium dalam darah puyuh pada fase bertelur 10.06 mg/dl, kalsium tulang 13.04 mg/dl,

kalsium kerabang 40.54mg/dl, kalsium feses 1.32 mg/dl. Menurut Kadar normal kalsium plasma pada puyuh 8.6 mmol/L. Kadar kalsium dalam tubuh puyuh diregulasi oleh hormon.

Absorpsi Kalsium

Beberapa hormon seperti glukokortikoid, prolaktin dan estrogen juga berperan sebagai regulator absorpsi kalsium di usus halus. Kecepatan absorpsi lebih tinggi pada duodenum diikuti jejunum dan ileum. Absorpsi kalsium di usus halus dapat melalui 2 mekanisme, yaitu transport aktif dan transport pasif. Transpor aktif kalsium terjadi terutama di duodenum dan proximal jejunum, sementara transpor pasif terjadi pada seluruh usus halus. Duodenum adalah tempat absorpsi kalsium yang paling efisien karena dapat mengambil kalsium bahkan pada keadaan diet sangat rendah kalsium melalui mekanisme aktif, juga memiliki seluruh komponen bagi transpor kalsium melalui jalur transeleler dan paraseluler..

Apabila kadar kalsium dari pakan dalam usus cukup tinggi, penyerapan kalsium oleh usus terjadi secara pasif, namun apabila kadar kalsium tersebut rendah, maka diperlukan penyerapan kalsium secara aktif dengan bantuan 1,25-dihidroksikolekalsiferol, suatu metabolit dari vitamin D. 1,25-dihydroxycholecalciferol sendiri terbentuk di dalam ginjal di bawah pengaruh hormon Paratiroid. Mekanisme ini penting sekali untuk mempertahankan kadar kalsium darah pada tingkat yang diperlukan oleh tubuh. Beberapa peneliti juga melaporkan bahwa 1,25-dihydroxycholecalciferol berfungsi pula sebagai penghambat balik (feedback inhibitor) terhadap sekresi hormon paratiroid oleh kelenjar ultimobranchia.

MEKANISME TRANSPOR KALSIUM DALAM DUODENUM

Transport kalsium dalam duodenum meliputi:

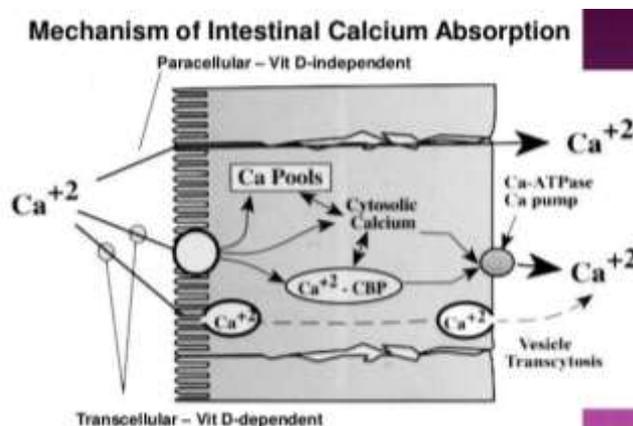
1. *Transcellular Calcium Transport*

Transcellular transport merupakan transpor aktif yang hanya terjadi di duodenum. Transpor ini memicu pergerakan kalsium melalui 3 tahap, yaitu : *apical calcium entry*, *cytoplasmic calcium translocation* dalam bentuk terikat dengan calbindin-D9k dan *basolateral calcium extrusion*. Kalsium luminal melewati membran melalui *transient receptor potential vanilloid family*

calcium channel (TRPV)5 dan 6. Ca^{2+} -ATPase (PMCA1b) yang terdapat membran plasma pada membrane basolateral akan mengeluarkan kalsium sitoplasma ke dalam plasma. Kalsium sitoplasma dapat juga dikeluarkan oleh transporter lain, yaitu $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger 1 (NCX1) namun kemampuannya hanya 20% dibandingkan dengan PMCA1b (80%). Transpor kalsium melalui jalur transcellular digunakan dalam kondisi fisiologis dan jalur ini semakin penting ketika terjadi peningkatan kebutuhan kalsium, misalnya ketika pembentukan kerabang telur. Jalur ini distimulasi langsung oleh $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$.

2. Paracellular Calcium Transport

Paracellular transport merupakan mekanisme aktif (cellular energy dependent) dan pasif (calcium gradient dependent). Komponen pada paracellular calcium transport, yaitu: passive paracellular, solvent-drag induced, dan voltage-dependent transport. Transport ini penting terutama ketika terdapat konsentrasi kalsium luminal yang tinggi akibat asupan kalsium yang tinggi. *Solvent-drag induced* dan *voltage-dependent transport* merupakan proses aktif yang tergantung dari aktivitas Na^+/K^+ -ATPase yang terjadi akibat lingkungan paracellular yang hiperosmotik dan perbedaan potensial di transepithelial. Lingkungan hiperosmotik akan menginduksi aliran air yang membawa ion kalsium melewati ruang paracellular. *Solvent drag-induced paracellular calcium transport* merupakan 80% dari total transport kalsium aktif.



Gambar 30. Mekanisme absorpsi Kalsium pada duodenum

Kalsium bergerak melewati epitel melalui mekanisme transcellular atau paracellular. Paracellular transport tergantung pada transport aktif sodium yang

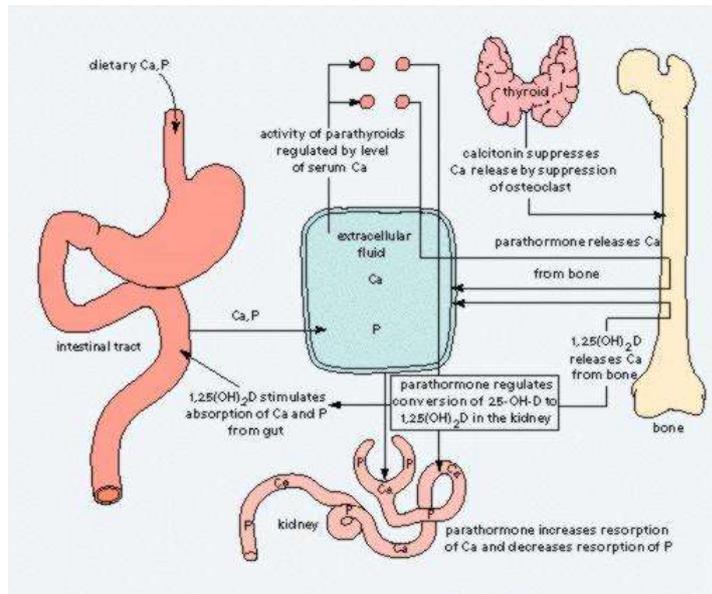
menciptakan gradien osmotik dalam ruang paracellular dan perbedaan potensial transepithelial melewati lapisan epitel. Sodium terutama memasuki sel-sel absorptif bersama-sama glukosa melalui *sodium-dependent glucose transporter 1* (SGLT1). Perbedaan potensial sebesar 5 mV dengan sisi mukosa lebih negatif daripada sisi serosal.

Transcellular calcium transport aktif, dimulai dengan masuknya kalsium secara pasif dibagian apikal melalui *transient receptor potential vanilloid family calcium channel* (TRPV). Kalsium kemudian ditranslokasi melewati sitoplasma, sebagian besar dalam bentuk terikat dengan calbindin-D9K, menuju basolateral membran dan akhirnya dikeluarkan dari sel oleh Na^+/K^+ -ATPase dan $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger (NCX1).

Metabolisme Kalsium

Kurang lebih 99% kalsium terdapat pada tulang rangka dalam bentuk kristal. Sisanya (1%) dalam bentuk ion pada cairan intraseluler dan ekstraseluler, terikat dengan protein dan membentuk kompleks dengan ion organik, seperti sitrat, fosfat dan bikarbonat. Sistem gastrointestinal menjaga homeostasis kalsium dengan mengatur absorpsi kalsium melalui sel-sel gastrointestinal. Jumlah absorpsi tergantung dari asupan, umur, hormon, vitamin D, kebutuhan tubuh akan kalsium, diet tinggi protein dan karbohidrat serta derajat keasaman yang tinggi (pH rendah). Absorpsi kalsium bervariasi, antara 10-60%. Jumlah ini menurun seiring dengan peningkatan umur dan meningkat ketika kebutuhan akan kalsium meningkat sementara asupan sedikit. Absorpsi terjadi dalam usus halus melalui mekanisme yang terutama dikontrol oleh *calcitropic hormon (1.25-dihydroxycolecalciferol vitamin D3 (1.25(OH)2D3 dan Parathyroid hormon (PTH)*. Untuk mempertahankan keseimbangan kalsium, ginjal harus mengekskresikan kalsium dalam jumlah yang sama dengan kalsium yang diabsorpsi dalam usus halus. Tulang tidak hanya berfungsi sebagai penopang tubuh namun juga menyediakan sistem pertukaran kalsium untuk menyesuaikan kadar kalsium dalam plasma dan cairan ekstraseluler. Metabolisme kalsium dan tulang berkaitan erat satu sama lain dan terintegrasi. Defisiensi kalsium yang disebabkan oleh defisiensi vitamin D dan peningkatan paratiroid hormon, mengakibatkan tulang akan melepaskan kalsium (resorpsi tulang meningkat)

untuk dapat mengembalikan kalsium serum kembali normal. Secara skematis metabolisme kalsium dapat dilihat pada Gambar



Gambar 31. Metabolisme kalsium

Metabolisme Kalsium Dalam Pembentukan Kerabang Telur

Sebelum terjadi kalsifikasi kerabang telur, kalsium (Ca) tidak disimpan dalam uterus, tetapi terdapat dalam plasma darah dalam bentuk ion kalsium. Deposisi kalsium plasma darah dalam kerabang telur ini terjadi sangat cepat terutama pada saat mineralisasi kerabang telur.

Analisis sampel kalsium darah yang diperoleh selama siklus oviposisi:

- Konsentrasi ion kalsium dalam darah meningkat pada tahap awal setelah oviposisi karena pengambilan makanan kaya kalsium pada periode tersebut. Selama tahap selanjutnya, jumlah ion kalsium dalam darah menurun secara signifikan, saat kalsifikasi telur.
- Konsentrasi fosfor dalam darah meningkat secara signifikan selama tahap selanjutnya, yang menunjukkan bahwa bahan tulang meduler diserap untuk produksi kerabang telur. Kalsium kemudian diangkut ke uterus untuk membentuk kerabang telur yang terdiri dari kalsium karbonat. Namun, sisa fosfor (tidak digunakan untuk produksi kerabang telur) tetap ada di dalam darah.

- (c) Konsentrasi hormon paratiroid (PTH), yang merupakan penanda untuk remodeling tulang secara signifikan menurun selama tahap terakhir (fase istirahat) siklus oviposisi

Mobilisasi kalsium dari tulang meduler terjadi apabila kekurangan kalsium dalam pakan. Mobilisasi kalsium dari tulang meduler dibawah kontrol estrogen dan testosteron. Saat terjadi absorpsi kalsium, permukaan sel tulang meduler mengembang 9 kali, namun dengan adanya aktivitas osteoblastik, maka rekonstruksi tulang meduler akan terjadi kembali sehingga tetap menjadi tulang yang kompak.

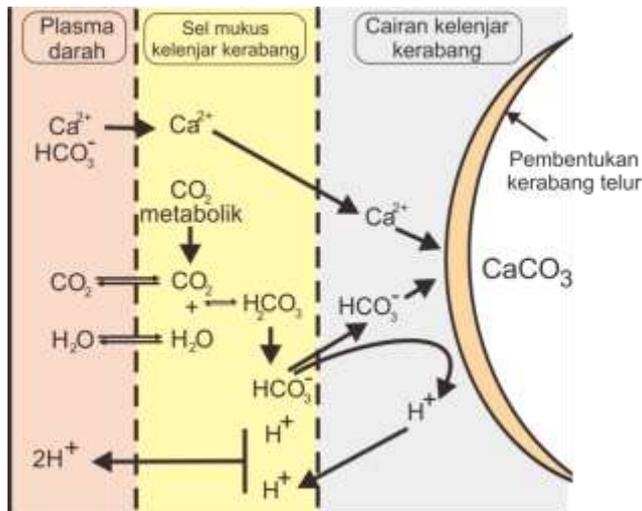
Pada tubuh puyuh yang sedang dalam masa produksi telur, hormon estrogen merangsang pembentukan tulang medular (medullary bones) yang merupakan target utama kerja hormon paratiroid. Enzim-enzim penghidrolisis yang diperlukan untuk penguraian tulang (osteolisis) dikeluarkan pada suatu bagian berlipat-lipat ("ruffled borders") pada osteoklas yang berdampingan dengan tulang-tulang medular. Di bawah pengaruh hormon paratiroid, "ruffled borders" ini bertambah banyak, dan kejadian ini bersamaan dengan naiknya kadar kalsium dalam darah. Kalsium ini kelak dipergunakan untuk pembentukan kerabang telur di dalam saluran telur (oviduct) atau untuk mengganti kalsium darah yang telah dipergunakan bagi pembuatan kerabang telur tersebut. Hormon paratiroid sendiri dikeluarkan oleh kelenjar paratiroid apabila kadar kalsium darah menurun. sekresi kalsium oleh uterus hanya dapat terjadi di bawah pengaruh hormon paratiroid.

Kandungan kalsium pakan juga memegang peranan penting pada proses kalsifikasi kerabang telur. Peningkatan sekresi asam dan air melalui proventrikulus meningkatkan solubilitas kalsium karbonat pakan dan meningkatkan retensi kalsium intestinum selama kalsifikasi kerabang telur. Kapasitas absorpsi kalsium meningkat pada puyuh dewasa. Penetrasi kalsium pada uterus bersifat aktif. Transfer kalsium berasosiasi dengan sintesis protein sitosolik; calbindin (calcium binding protein) merupakan afinitas dari sintesis ini. Calbindin ditemukan dalam glandula tubuler yang menjadi terjadinya transport kalsium bersama dengan kehadiran enzim Ca-ATP-ase di uterus. Enzim ini merupakan fasilitator dalam absorpsi kalsium dalam cairan uterus.

Kalsifikasi kerabang telur dimulai sebelum telur masuk ke uterus. Telur tersebut berupa *yolk* yang telah mengalami pembungkusan oleh putih telur di

magnum serta membran cangkang di isthmus. Sekelompok kecil kalsium telah terlihat pada membran kerabang bagian luar (*outer shell membrane*) sebelum telur meninggalkan isthmus. Kerabang pertama yang dibentuk yaitu *inner shell* berupa *mammillary layer* yang tersusun atas kristal kalsit, diikuti dengan *outer shell* yang dua kali lebih tebal daripada *inner shell*. Kerabang tersusun dari timbunan kalsium karbonat (CaCO_3) dalam suatu matriks protein dan mukopolisakarida. Lapisan terakhir dari kerabang adalah lapisan kutikula, yaitu material organik yang melindungi telur dari mikroorganisme patogen dan meminimalkan penguapan air.

Formasi terbentuknya kerabang telur dengan adanya ketersediaan ion kalsium dan ion karbonat di dalam cairan uterus yang akan membentuk kalsium karbonat. Sumber utama ion karbonat terbentuk karena adanya CO_2 dalam darah hasil metabolisme dari sel yang terdapat pada uterus, dan dengan adanya H_2O , keduanya dirombak oleh enzim *carbonic anhydrase* (dihasilkan pada sel mukosa uterus) menjadi ion bikarbonat yang akhirnya menjadi ion karbonat setelah ion hidrogen terlepas. Beberapa hubungan antara kalsium dalam darah, CO_2 dan ion bikarbonat di dalam uterus dalam peristiwa pembentukan kerabang telur dapat dilihat pada gambar 32.



Gambar 32. Metabolisme kalsium dalam uterus

BESI (Fe)

Besi merupakan unsur vital yang sangat dibutuhkan oleh tubuh untuk pembentukan hemoglobin, dan merupakan komponen penting pada sistem enzim pernafasan. Pada metabolisme besi perlu diketahui komposisi dan distribusi besi dalam tubuh, cadangan besi tubuh, siklus besi, absorpsi besi dan transportasi besi.

Bentuk zat besi dalam tubuh. Terdapat empat bentuk zat besi dalam tubuh yaitu:

- Zat besi dalam hemoglobin.
- Zat besi dalam depot (cadangan) sebagai feritin dan hemosiderin
- Zat besi yang ditranspor dalam transferin.
- Zat besi parenkhim atau zat besi dalam jaringan seperti mioglobin dan beberapa enzim antara lain sitokrom, katalase, dan peroksidase.

Proses metabolisme zat besi digunakan untuk biosintesa hemoglobin, dimana zat besi digunakan secara terus menerus. Sebagian besar zat besi yang bebas dalam tubuh akan dimanfaatkan kembali (reutilization), dan hanya sebagian kecil sekali yang diekskresikan melalui air kemih, feses dan keringat.

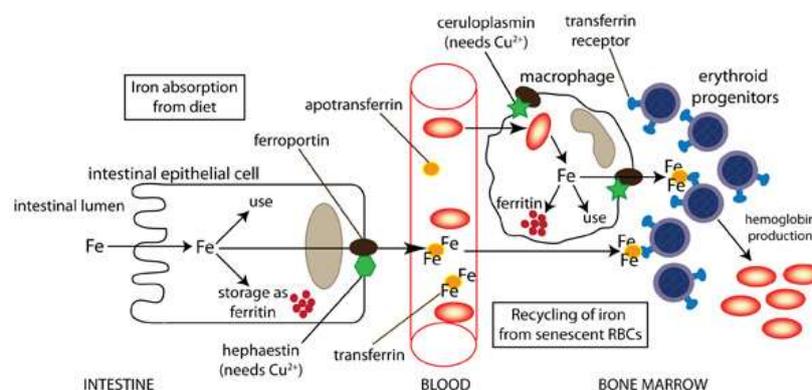
Kebutuhan zat besi. Kebutuhan zat besi dalam makanan setiap harinya sangat berbeda, hal ini tergantung pada umur, sex, berat badan dan kondisi puyuh. Kebutuhan zat besi yang terbesar ialah selama periode pertumbuhan, masa produksi telur. Asupan zat besi yang masuk ke dalam tubuh kita kira-kira 10 – 20 mg setiap harinya, tapi ternyata hanya 1 – 2 mg atau 10% saja yang di absorpsi oleh tubuh. 70% dari zat besi yang di absorpsi tadi di metabolisme oleh tubuh dengan proses eritropoesis menjadi hemoglobin, 10 - 20% di simpan dalam bentuk feritin dan sisanya 5 – 15% di gunakan oleh tubuh untuk proses lain. Besi Fe^{3+} yang disimpan di

dalam ferritin bisa saja di lepaskan kembali bila ternyata tubuh membutuhkannya. Feritin merupakan salah satu protein kunci yang mengatur hemostasis besi dan juga merupakan biomarker klinis yang tersedia secara luas untuk mengevaluasi status besi dan secara khusus penting untuk mendeteksi defisiensi besi.

Absorpsi besi.

Proses absorpsi besi dibagi menjadi tiga fase, yaitu:

1. Fase Luminal : Besi dalam makanan terdapat dalam dua bentuk, yaitu besi *heme* dan besi *non-heme*. Besi *heme* terdapat dalam daging dan ikan, tingkat absorpsi dan bioavailabilitasnya tinggi. Besi *non-heme* berasal dari sumber nabati, tingkat absorpsi dan bioavailabilitasnya rendah. Besi dalam makanan diolah di ventrikulus, karena pengaruh asam maka besi dilepaskan dari ikatannya dengan senyawa lain. Kemudian terjadi reduksi dari besi bentuk feri (Fe^{3+}) ke fero (Fe^{2+}) yang dapat diserap di duodenum.
2. Fase Mukosal: Penyerapan besi terjadi terutama melalui mukosa duodenum dan jejunum proksimal. Penyerapan terjadi secara aktif melalui proses yang sangat kompleks. Dikenal adanya *mucosal block* (mekanisme yang dapat mengatur penyerapan besi melalui mukosa intestinum)
3. Fase Korporeal : Meliputi proses transportasi besi dalam sirkulasi, utilisasi besi oleh sel-sel yang memerlukan, serta penyimpanan besi (storage) oleh tubuh. Besi setelah diserap oleh enterosit (epitel intestinum), melewati bagian basal epitel intestinum, memasuki kapiler usus, kemudian dalam darah diikat oleh apotransferin menjadi transferin. Transferin akan melepaskan besi pada sel RES melalui proses pinositosis.



Gambar 33 Absorpsi besi

Mekanisme regulasi absorpsi besi. Terdapat 3 mekanisme regulasi absorpsi besi dalam usus

1. *Regulator dietetik* : absorpsi besi dipengaruhi oleh jumlah kandungan besi dalam makanan, jenis besi dalam makanan (besi heme atau non heme), adanya penghambat atau pemacu absorpsi dalam makanan.
2. *Regulator simpanan* : Penyerapan besi diatur melalui besarnya cadangan besi dalam tubuh.
3. *Regulator eritropoetik* : Besar absorpsi besi berhubungan dengan kecepatan eritropoesis. Mekanisme ini belum diketahui dengan pasti.

Transport zat besi.

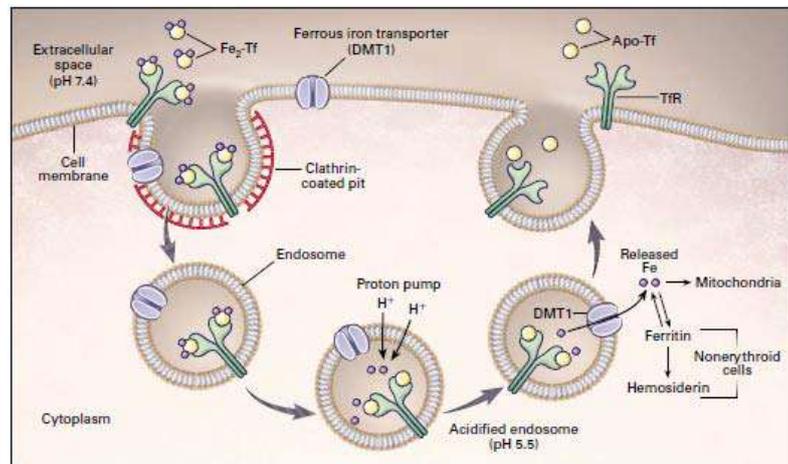
Transferin

Transferin adalah $\beta 1$ globulin (protein fase akut negatif), merupakan glikoprotein dengan berat molekul 79570 dalton, terdiri dari polypeptide rantai tunggal dengan 679 asam amino dalam dua domain homolog. N-terminal dan C-terminal masing-masing mempunyai satu tempat ikatan dengan Fe^{3+} . Satu molekul transferin mengikat 2 atom besi (Fe^{3+}). Transferin akan berikatan dengan reseptor transferin, setiap reseptor transferin mengikat 2 molekul transferrin. Transferin terutama disintesis oleh sel parenkim hati, sebagian kecil di otak, ovarium, dan limfosit T helper. Transferin mempunyai waktu paruh 8-11 hari. Transferin mempunyai 3 fungsi utama yaitu:

1. Solubilisasi Fe^{3+} , mengikat besi dengan afinitas tinggi
2. Mengantar besi ke sel
3. Berinteraksi dengan reseptor membran

Jumlah transferin dinyatakan dalam jumlah besi yang terikat disebut sebagai *Total Iron Binding Capacity* (TIBC). Besi (Fe^{3+}) di dalam plasma yang berikatan dengan *apotransferin* (Tf), Fe-Tf akan berikatan dengan *reseptor transferin* (TfR) pada permukaan sel. Kompleks TfR dan Fe^{3+} -Tf bersama DMT 1 di *clathrin-coated pit*, mengalami invaginasi membentuk endosom. Pompa proton di dalam endosom akan menurunkan pH menjadi asam mengakibatkan ikatan antara Fe^{3+} dan apotransferin terlepas. Apotransferin tetap berikatan dengan TfR di permukaan sel, sedangkan Fe^{3+} yang dilepaskan akan keluar melalui DMT 1 mitokondria dan disimpan. Besi dengan protoporfirin selanjutnya dipergunakan untuk pembentukan heme. Besi yang berlebih akan disimpan sebagai feritin dan hemosiderin. Akibat pH ekstrasel 7,4 ikatan antara apotransferin TfR di permukaan sel akan terlepas. Apotransferin akan dilepaskan keluar dari sel menuju sirkulasi dan berfungsi kembali sebagai pengangkut besi,

sedangkan TfR akan menjadi *Truncated Transferin Receptor* atau *Soluble Transferin Receptor* (sTfR)



Gambar 34. Siklus transferin

Absorpsi terutama terjadi di bagian atas intestinum (duodenum) dengan bantuan alat angkut protein khusus. Ada dua jenis alat angkut protein di dalam sel mukosa intestinum yang membantu penyerapan besi, yaitu transferin dan ferritin. Transferin, protein yang disintesis di dalam hati, terdapat dalam dua bentuk. Transferin mukosa mengangkut besi dari saluran cerna ke dalam sel mukosa dan memindahkannya ke transferin reseptor yang ada di dalam sel mukosa. Transferin mukosa kemudian kembali ke rongga saluran cerna untuk mengikat besi lain, sedangkan transferin reseptor mengangkut besi melalui darah ke semua jaringan tubuh. Dua ion ferri diikatkan pada transferin untuk dibawa ke jaringan-jaringan tubuh. Banyaknya reseptor transferin yang terdapat pada membran sel bergantung pada kebutuhan tiap sel. Kekurangan besi pertama dapat dilihat pada tingkat kejenuhan transferin.

Besi dalam makanan terdapat dalam bentuk besi-hem seperti terdapat dalam hemoglobin dan mioglobin makanan hewani, dan besi non-hem dalam makanan nabati. Besi-hem diabsorpsi ke dalam sel mukosa sebagai kompleks porfirin utuh. Cincin porfirin di dalam sel mukosa kemudian dipecah oleh enzim khusus (hemoksigenase) dan besi dibebaskan. Besi-hem dan nonhem kemudian melewati alur yang sama dan meninggalkan sel mukosa dalam bentuk yang sama dengan menggunakan alat angkut yang sama. Absorpsi besi-hem tidak banyak

dipengaruhi oleh komposisi makanan dan sekresi saluran cerna serta oleh status besi seseorang. Besi-hem hanya merupakan bagian kecil dari besi yang diperoleh dari makanan (kurang lebih 5% dari besi total makanan), terutama di Indonesia, namun yang dapat diabsorpsi dapat mencapai 25%, sedangkan nonhem hanya 5%.

Agar dapat diabsorpsi, besi nonhem di dalam usus halus harus berada dalam bentuk terlarut. Besi nonhem diionisasi oleh asam lambung, direduksi menjadi bentuk ferro dan dilarutkan ke dalam cairan pelarut seperti asam askorbat, gula dan asam amino yang mengandung sulfur. Pada suasana pH hingga 7 di dalam duodenum, sebagian besar besi dalam bentuk ferri akan mengendap, kecuali dalam keadaan terlarut seperti disebutkan di atas. Besi fero lebih mudah larut pada pH, oleh karena itu dapat diabsorpsi.

Taraf absorpsi besi diatur oleh mukosa saluran cerna yang ditentukan oleh kebutuhan tubuh. Transferin mukosa yang dikeluarkan ke dalam empedu berperan sebagai alat angkut protein yang bolak-balik membawa besi ke permukaan sel usus halus untuk diikat oleh transferin reseptor dan kembali ke rongga saluran cerna untuk mengangkut besi lain. Di dalam sel mukosa besi dapat mengikat apoferitin dan membentuk feritin sebagai simpanan besi sementara dalam sel. Di dalam sel mukosa apoferitin dan feritin membentuk pool besi.

Penyebaran besi dari sel mukosa ke sel-sel tubuh berlangsung lebih lambat daripada penerimaannya dari saluran cerna, bergantung pada simpanan besi dalam tubuh dan kandungan besi dalam makanan. Laju penyebaran ini diatur oleh jumlah dan tingkat kejenuhan transferin. Tingkat kejenuhan transferin biasanya sepertiga dari mampu-ikat besi totalnya (Total- Iron Binding Capacity/ TIBC). Bila besi tidak dibutuhkan, reseptor transferin berada dalam keadaan jenuh dan hanya sedikit besi diserap dari sel mukosa. Transferin yang ada di dalam sel kemudian dikeluarkan bersama sel mukosa yang umurnya hanya dua hingga tiga hari. Bila besi dibutuhkan, transferin pada sel mukosa ini tidak jenuh, dan dapat lebih banyak mengikat besi untuk disalurkan ke dalam tubuh.

Sebagian besar transferin darah membawa besi ke sumsum tulang dan bagian tubuh lain. Di dalam sumsum tulang besi digunakan untuk membuat hemoglobin yang merupakan bagian dari sel darah merah. Sisanya dibawa ke jaringan tubuh yang membutuhkan. Kelebihan besi yang dapat mencapai 200 hingga 1500 mg, disimpan sebagai protein feritin dan hemosiderin di dalam hati (30%) dan selebihnya di dalam limpa dan otot. Dari simpanan besi tersebut hingga

50 mg sehari dapat dimobilisasi untuk keperluan tubuh seperti pembentukan hemoglobin. Feritin yang bersirkulasi di dalam darah mencerminkan simpanan besi di dalam tubuh.

Reseptor Transferin Reseptor Transferin merupakan protein transmembran homodimer terdiri dari 2 molekul monomer yang identik, terikat pada 2 ikatan sulfide pada residu sitein 89 dan 92, terletak ekstraseluler. Tiap monomer mempunyai berat molekul 90 kD, terdiri dari 780 residu asam amino dengan 3 domain, yaitu *protease-like domain* (A) berikatan dengan aminopeptidase, *apical domain* (B), dan *helical domain* (C). Setiap monomer mengikat 1 molekul transferin yang telah mengikat 2 atom Fe^{3+} . Setiap reseptor transferin mengikat 2 molekul transferin. Hampir semua sel tubuh mengekspresikan reseptor transferin.

Soluble Transferin Receptor (sTfR) Dalam plasma sTfR berada dalam bentuk kompleks dengan transferin, memiliki berat molekul 320 kD. Kadar sTfR serum berkorelasi dengan jumlah reseptor transferin yang diekspresikan pada permukaan sel. Kadar sTfR tidak di pengaruhi oleh protein fase akut, kerusakan hati akut, dan keganasan. Kadar sTfR menggambarkan aktivitas eritropoiesis. sehingga kadar sTfR dapat digunakan monitoring aktivitas eritropoiesis.

Absorpsi zat besi dipengaruhi oleh banyak faktor yaitu :

- Kebutuhan tubuh akan besi, tubuh akan menyerap sebanyak yang dibutuhkan.
Bila besi simpanan berkurang, maka penyerapan besi akan meningkat.
- Rendahnya asam klorida pada lambung (kondisi basa) dapat menurunkan penyerapan Asam klorida akan mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang lebih mudah diserap oleh mukosa usus.
- Adanya vitamin C gugus SH (sulfidril) dan asam amino sulfur dapat meningkatkan absorpsi karena dapat mereduksi besi dalam bentuk ferri menjadi ferro. Vitamin C dapat meningkatkan absorpsi besi dari makanan melalui pembentukan kompleks ferro askorbat. Kombinasi 200 mg asam askorbat dengan garam besi dapat meningkatkan penyerapan besi sebesar 25 – 50 persen.
- Kelebihan fosfat di dalam usus dapat menyebabkan terbentuknya kompleks besi fosfat yang tidak dapat diserap.
- Adanya fitat juga akan menurunkan ketersediaan Fe

- Protein hewani dapat meningkatkan penyerapan Fe
- Fungsi usus yang terganggu, misalnya diare dapat menurunkan penyerapan Fe.
- Penyakit infeksi juga dapat menurunkan penyerapan Fe.

Zat besi diserap di dalam duodenum dan jejunum bagian atas melalui proses yang kompleks. Proses ini meliputi tahap – tahap utama sebagai berikut :

- a. Besi yang terdapat di dalam bahan pangan, baik dalam bentuk Fe^{3+} atau Fe^{2+} mula – mula mengalami proses pencernaan.
- b. Di dalam lambung Fe^{3+} larut dalam asam lambung, kemudian diikat oleh gastroferin dan direduksi menjadi Fe^{2+} .
- c. Di dalam usus Fe^{2+} dioksidasi menjadi Fe^{3+} . Fe^{3+} selanjutnya berikatan dengan apoferritin yang kemudian ditransformasi menjadi ferritin, membebaskan Fe^{2+} ke dalam plasma darah.
- d. Di dalam plasma, Fe^{2+} dioksidasi menjadi Fe^{3+} dan berikatan dengan transferrin. Transferrin mengangkut Fe^{2+} ke dalam sumsum tulang untuk bergabung membentuk hemoglobin. Besi dalam plasma ada dalam keseimbangan.
- e. Transferrin mengangkut Fe^{2+} ke dalam tempat penyimpanan besi di dalam tubuh (hati, sumsum tulang, limpa, sistem retikuloendotelial), kemudian dioksidasi menjadi Fe^{3+} . Fe^{3+} ini bergabung dengan apoferritin membentuk ferritin yang kemudian disimpan, besi yang terdapat pada plasma seimbang dengan bentuk yang disimpan.

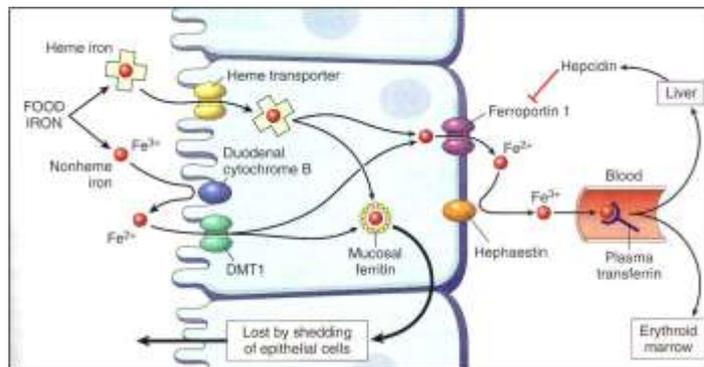
E. Pengangkutan dan Penyimpanan Besi

Ketika besi diabsorpsi dari usus halus menuju ke plasma darah, besi tersebut bergabung dengan *apotransferin* membentuk *transferrin*, yang selanjutnya diangkut dalam plasma darah. Besi dan apotransferin berikatan secara longgar, sehingga memungkinkan untuk melepaskan partikel besi ke sel jaringan dalam tubuh yang membutuhkan. Absorpsi besi diatur melalui besarnya cadangan besi dalam tubuh. Absorpsi besi rendah jika cadangan besi tinggi, sebaliknya jika cadangan besi rendah absorpsi besi ditingkatkan.

Setelah itu, besi dalam tranferin di plasma darah masuk ke dalam sumsum tulang untuk pembentukan eritrosit dan hemoglobin. Besi yang berlebih akan bergabung dengan protein *apoferritin*, membentuk *ferritin* dan disimpan dalam sistem retikuloendotelial (RE). Oleh karena apoferritin mempunyai berat molekul besar, 460.000, ferritin bisa mengikat sejumlah besar besi. Besi yang disimpan sebagai ferritin disebut *besi cadangan*. Ditempat penyimpanan, terdapat besi yang disimpan dalam jumlah yang sedikit dan bersifat tidak larut, yang disebut *hemosiderin*.

Bila jumlah besi dalam plasma sangat rendah, besi yang terdapat dipenyimpanan ferritin dilepaskan dengan mudah ke dalam plasma, dan diangkut dalam bentuk transferin dan kembali ke sumsum tulang untuk dibentuk eritrosit.

Bila umur eritrosit sudah habis dan sel dihancurkan, maka hemoglobin yang dilepaskan dari sel akan dicerna oleh sistem makrofag-monosit. Disini terjadi pelepasan besi bebas, dan disimpan terutama di tempat penyimpanan ferritin yang akan digunakan untuk kebutuhan pembentukan hemoglobin baru



Gambar 35. Jalur perjalanan besi di dalam tubuh.

Zink (Zn)

Fungsi Zn antara lain adalah sebagai kofaktor penting untuk lebih dari 300 enzim. Suatu fungsi penting dari Zn adalah perannya dalam struktur dan fungsi biomembran. Berkurangnya konsentrasi Zn dalam biomembran mendasari beberapa kekacauan yang dihubungkan dengan defisiensi Zn. Zn menjadi komponen penting beberapa enzim yang mengatur pertumbuhan sel, sintesis protein dan DNA, metabolisme energi, pengaturan transkripsi gen, kadar hormon, dan metabolisme faktor pertumbuhan. Zn juga berfungsi pada kekebalan tubuh.

Seng dalam darah juga membantu keseimbangan integritas membran karbonik anhidrase. Konsentrasi tinggi dalam kelenjar saliva akan membantu melindungi sel mukosa mulut dari kerusakan dan menstimulasi fungsi serta pertumbuhan sel pengecap. Hal ini menyokong pertumbuhan sel pada pengecapan rasa dan bau. Zn juga membantu menyimpan kalsium pada tulang dan gigi. Enzim yang mengandung Zn yaitu alkali fosfatase, membantu keseimbangan fosfat pada tulang. Konsentrasi Zn tinggi ditemukan pada granula sel beta pankreas yang membantu sintesis, penyimpanan dan sekresi insulin sebagai fungsi antioksidan.

Metabolisme Zn

Absorpsi dan metabolisme

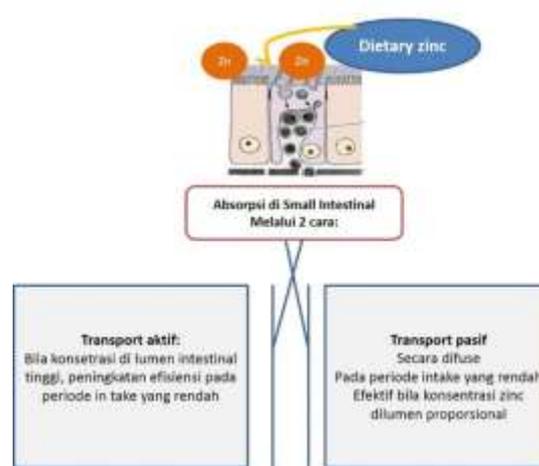
Jumlah Zn dalam tubuh menggambarkan suatu keseimbangan dinamis antara jumlah Zn yang masuk dengan yang keluar. Seng diabsorpsi di sepanjang intestinum tenue dan hanya sebagian kecil saja yang diabsorpsi di ventrikulus dan intestinum crassum. Duodenum dan Jejunum merupakan tempat absorpsi yang maksimal dan sedikit absorpsi pada ileum, sedangkan kolon tidak memiliki peranan penting.

Ligan dengan berat molekul rendah seperti asam amino dan asam organik lainnya dapat meningkatkan daya larut dan memudahkan absorpsi seng. Sistein dan metionin meningkatkan kemampuan absorpsi Zn lebih efisien dalam jumlah kecil. Seseorang dengan status Zn rendah akan mengabsorpsi seng lebih efisien dibandingkan dengan status seng tinggi.

Mekanisme Zn memasuki sel sel mukosa

Absorpsi Zink terjadi di intestinum tenue melalui 2 cara yaitu transport aktif dan transport pasif. Dalam Proses absorpsi zink di usus halus dipengaruhi oleh

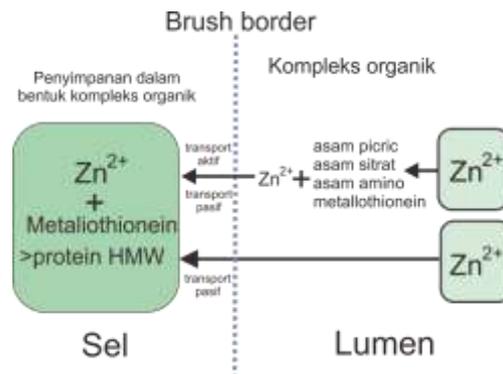
efek suatu zat seperti vitamin dan lain-lain yang dapat berperan sebagai activator maupun inhibitor. Zink yang terabsorpsi akan masuk ke peredaran darah dan yang tidak terabsorpsi akan dieksresikan



Gambar 36. Absorpsi Zn

Absorpsi Zn melalui sel-sel mukosa melibatkan dua proses kinetik. Melalui suatu komponen pembawa dan secara difusi. Mekanisme melalui pembawa merupakan mekanisme utama. Peningkatan efisiensi absorpsi saat asupan Zn rendah lebih disebabkan peningkatan karena kecepatan transfer seng oleh pembawa melalui membran mukosa dibandingkan dengan perubahan afinitas pembawa terhadap Zn. Hal ini karena ada keterlibatan sejumlah reseptor dalam proses absorpsi Zn.

Dua mekanisme yang terlibat dalam penyerapan seng salah satunya adalah mekanisme ion seng (Zn^{2+}) terionisasi melalui proses pencernaan diserap dari mukosa usus halus sebagai organik kompleks, terdiri dari Zn^{2+} dan pembawa seperti sitrat asam, asam picric, asam amino (histidin dan sistein) dan protein dengan berat molekul rendah, metallothionein (MT).



Gambar 37. Mekanisme absorpsi Zn²⁺. HMW ; high-molecular-weight

Absorpsi Zn²⁺ terjadi melalui transport aktif dan transport pasif melewati mukosa intestinum. Mekanisme lain bahwa Zn²⁺ diabsorpsi dari brush border dengan difusi pasif. Zn dalam sel usus berikatan dengan methalothion (MT) intraseluler dan HMW protein (protein dengan berat molekul besar) dan disimpan sebagai organik kompleks. MT khususnya memegang peranan penting dalam penyimpanan Zn²⁺.

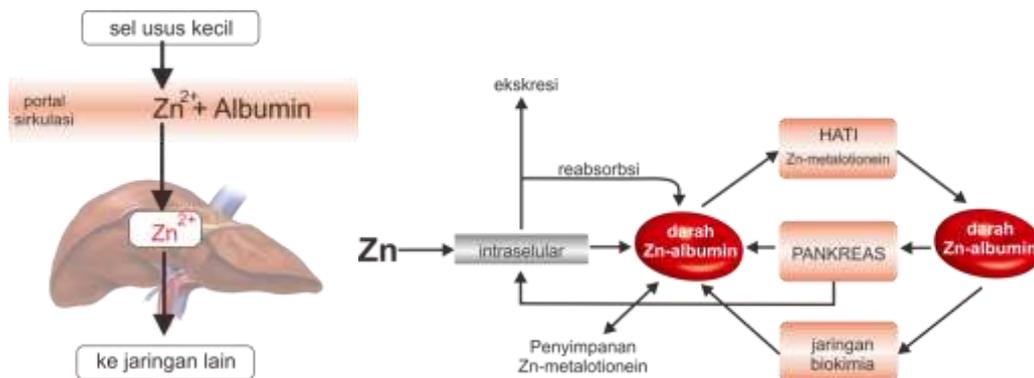
Setelah masuk ke dalam enterosit (sel usus), Zn²⁺ diikat oleh suatu protein intestinal kaya sistein (CRIP system-Rich Intestinal Protein). Selanjutnya Zn²⁺ dipindahkan ke melatonin atau melintasi sisi serosa enterosit untuk berikatan dengan albumin. Seng dibawa dan terkonsentrasi di hati setelah berpindah dari intestinal ke sirkulasi porta. Albumin diidentifikasi sebagai protein plasma yang membawa Zn²⁺ ke darah porta. Komponen plasma lain yang mengandung Zn²⁺ adalah α₂-makroglobulin, transferin dan asam amino khususnya sistein dan histidin.

Distribusi Zn²⁺ yang sudah diabsorpsi ke jaringan ekstrahepatik terutama terjadi oleh plasma yang mengandung sekitar 3 mg Zn²⁺ atau sekitar 0.1% dari total Zn²⁺ di dalam tubuh. Zn²⁺ terikat longgar dengan albumin dan asam amino. Fraksi ini bertanggung jawab pada transport Zn²⁺ dari hati ke jaringan. Semua Zn²⁺ yang diabsorpsi diangkut dari plasma ke jaringan sehingga pertukaran Zn²⁺ dari plasma ke dalam jaringan sangat cepat untuk memelihara konsentrasi plasma Zn²⁺ yang relatif konstan.

Zn²⁺ ditransfer dari sel sel usus ke sirkulasi portal dibawake hati, terutama oleh albumin. Kemudian Zn²⁺ ditransport ke berbagai jaringan.



Gambar 38. Regulasi absorpsi Zn^{2+} dan transfer Zn^{2+} ke darah oleh metallothionein.



Gambar 39. Skema transport Zn^{2+} dari sel usus ke berbagai jaringan

Zn^{2+} ditransfer dari sel sel usus ke sirkulasi portal dibawa ke hati, terutama oleh albumin. Kemudian Zn^{2+} ditransport ke berbagai jaringan. Pada metabolisme tingkat seluler, diduga ada 4 transporter Zn^{2+} yaitu $ZnT-1$, $ZnT-2$, $ZnT-3$, dan $ZnT-4$. $ZnT-1$ diekspresikan di berbagai jaringan termasuk usus, ginjal dan hati. Ekspresi $ZnT-1$ di usus banyak dijumpai di permukaan basolateral dari vili duodenum dan jejunum. $ZnT-2$ terutama dijumpai di usus, ginjal dan testis, sedangkan $ZnT-3$ terbatas pada otak dan testis. $ZnT-4$ banyak terdapat pada kelenjar payudara dan kemungkinan berhubungan dengan sekresi Zn^{2+} dalam ASI. Pemberian suplemen Zn^{2+} pada tikus percobaan terbukti berhasil menaikkan tingkat mRNA $ZnT-1$ dan mRNA $ZnT-2$ di usus hulus dan ginjal, sedangkan ekspresi gen $ZnT-4$ tidak berubah.

Absorpsi Zn^{2+} tergantung pada kandungan Zn^{2+} dalam diit dan bioavailabilitas Zn^{2+} . Zn^{2+} dari produk hewani merupakan Zn^{2+} yang mudah diserap, sedangkan absorpsi Zn^{2+} dari produk nabati tergantung pada kandungan

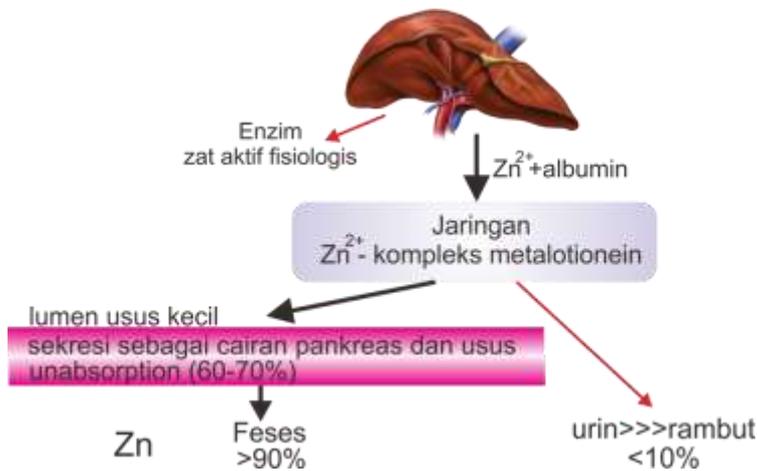
Zn dari tanah. Bioavailabilitas Zn^{2+} dari produk nabati sangat menurun bila diberikan bersama fitat, yang membentuk kompleks tidak larut dengan kation bivalen seperti Zn^{2+} . Inhibisi kompetitif antara besi, seng dan tembaga juga mempengaruhi absorpsi Zn^{2+} .

Status Zn^{2+} pada tubuh dapat ditentukan dengan pengukuran konsentrasi Zn^{2+} dalam serum, eritrosit, leukosit, neutrofil. Zn^{2+} serum adalah indeks yang secara luas sering dipakai untuk menentukan status seng. Pada individu dengan defisiensi Zn^{2+} , kadar Zn^{2+} serum kan kembali normal setelah pemberian suplementasi Zn^{2+} .

Kadar Zn^{2+} normal dalam serum 80-110 mikrogram/dl, dalam darah mengandung 20 kali lipat karena adanya enzim karbonik anhidrase dalam eritrosit, otot 50 mikrogram/dl. Akumulasi Zn pada bagian bagian otak terjadi dalam waktu maksimal 6 hari setelah pemberian intravena, dengan masa paruh sekitar 16-43 hari.

Ekskresi Zn^{2+}

Zn^{2+} diangkut ke berbagai jaringan disimpan dalam sel, terutama sebagai kompleks seng-MT. MT, berpartisipasi dalam pemeliharaan homeostasis seng, sebagai pengatur metabolisme seng. Misalnya seng yang disekresikan di lumen usus halus sebagai cairan pankreas. Kandungan seng meningkat dengan asupan seng yang cukup. Sebaliknya, seng yang disekresikan di lumen intestinum tenue berkurang saat kandungan seng intraselular berkurang. Secara umum, 30-40% seng hadir dalam lumen intestinal adalah seng endogen yang diturunkan dari cairan pankreas dan usus halus saat homeostasis seng dipertahankan. Sisanya 60-70% dari seng di lumen usus berasal dari seng diet yang tidak terserap dari mukosa intestinum tenue. Lebih dari 90% seng diet yang tertelan akhirnya diekskresikan di feses. Di sisi lain, seng yang diekskresikan dalam urin lebih sedikit



Gambar 40 Ringkasan metabolisme dan ekskresi Zn

Jalur utama ekskresi Zn adalah melalui feses (lebih dari 90%). Beberapa Zn dalam feses berasal dari ekskresi endogen. Sekitar 0.5 sampai 0.8mg Zn dikeluarkan melalui urin setiap harinya.

AIR

METABOLISME AIR PADA PUYUH

Air berguna untuk mengatur pencernaan pakan, mengatur kestabilan suhu, membantu pembuangan kotoran dan metabolisme, menjaga kesehatan, dan pengangkutan zat – zat gizi dalam tubuh. Kandungan air di dalam tubuh \pm 80 %, sehingga kekurangan air sangat berpengaruh dalam tubuh puyuh. Air yang disediakan untuk minuman puyuh harus segar, bersih dan tidak beracun. Air adalah komponen penting dan terbesar dalam tubuh hewan. Kebutuhan akan air pada puyuh bahkan lebih penting dibandingkan dengan kebutuhan pakan.

Kebutuhan air sangat bervariasi tergantung oleh berbagai faktor seperti:

1. Jenis dan ukuran tubuh puyuh
2. Status fisiologis
3. Tingkat aktifitas
4. Jenis dan kualitas pakan
5. Kualitas air, rasa dan salinitas air
6. Jarak dan ukuran tempat air minum
7. Temperatur air dan temperatur udara

Hewan kelaparan dapat kehilangan semua glikogen, lemak dan setengah protein tubuh dan 40% berat badan masih dapat tetap hidup. Jika kehilangan air 10% akan terjadi gangguan berat badan dan apabila kekurangan 20% dapat mengakibatkan kematian.

Hasil penelitian oleh Saraswati dkk menunjukkan konsumsi minum harian pada puyuh yang sedang memproduksi adalah 50 ml/hari. Air merupakan komponen penyusun tubuh dengan persentase terbesar. Sedangkan pada anak ayam umur 1 minggu sekitar 85% dan persentase ini sedikit menurun saat anak ayam tumbuh menjadi dewasa, menjadi 60%, dan ayam dewasa umur 42 minggu sekitar 55%. Sedangkan kandungan air pada telur ayam adalah 65%. Pada telur, persentase air bisa mencapai 70%. Setiap organ dan komponen tubuh sebagian besar terdiri atas air, yaitu darah 83%, otot 75-80%, otak 75% bahkan di dalam tulang persentase kandungan air mencapai 20%. Dari data tersebut dapat diprediksi bahwa jika air di dalam tubuh ayam dihilangkan maka berat badan anak ayam broiler hanya sekitar 6 gram (berat badan anak ayam normal sebesar 40 gram per ekor). Dari angka dan persentase ini bisa kita ketahui bahwa air mempunyai fungsi dan peranan yang begitu besar dan signifikan.

Penyediaan air bersih adalah penting untuk produksi telur yang baik. Unggas seperti halnya ternak lain membutuhkan lebih banyak air di udara yang panas daripada di udara yang dingin. Ungas mendapatkan air melalui air minum, air yang terdapat dalam bahan pakan, air metabolik yang didapat sebagai hasil dari oksidasi pakan dan sintesa dari molekul yang kompleks di dalam tubuh.

Ayam yang tidak diberi ransum akan mampu bertahan selama 15-20 hari. Namun tidak demikian jika tidak memperoleh air, ayam akan mati dalam waktu 2-3 hari saja. Ayam akan tetap bertahan saat kehilangan sebagian besar lemak di dalam tubuhnya atau 50% dari jumlah protein tubuhnya, namun saat ayam kehilangan 20% cairan tubuh bisa mengakibatkan kematian. Ketersediaan air minum yang kurang akan menyebabkan hambatan produktivitas, baik pertumbuhan maupun produksi telur. Selain itu, proses pembuangan zat sisa metabolisme juga terhambat, akibatnya bisa meracuni tubuh sendiri.

Fungsi air pada Puyuh

Air terbentuk dari 2 unsur yaitu hidrogen dan oksigen dengan rumus kimia H_2O . Kedua unsur yang membentuk senyawa air pada awalnya berbentuk gas dan pada kondisi tertentu akan berikatan membentuk suatu senyawa yang stabil, yaitu

air. Secara fisiologis, air berfungsi sebagai media berlangsungnya proses kimia di dalam tubuh. Air sangat dibutuhkan dalam berbagai fungsi biologis dan metabolisme tubuh seperti pengaturan stabilitas suhu tubuh, membantu proses pencernaan dan penyerapan ransum, respirasi, pengaturan tekanan osmose darah, transport nutrient maupun zat sisa metabolisme, hormone dan zat lain yang di perlukan tubuh, pertumbuhan embrio, melindungi sistem syaraf maupun melumasi persendian. Hampir semua proses di dalam tubuh unggas melibatkan dan memerlukan air. Air juga komponen utama dari darah dan cairan limfe yang merupakan bagian paling vital dalam proses kehidupan

Air memiliki kemampuan melarutkan berbagai macam senyawa. Secara normal, air dapat mengandung sampai 58 unsur, namun sekitar 99%nya ialah senyawa terlarut, seperti hidrogen, oksigen, nitrogen, natrium, kalium, magnesium, kalsium, belerang maupun fosfor. Kemampuan air melarutkan berbagai zat dan senyawa ini menjadi salah satu faktor yang mempermudah air terkontaminasi oleh zat-zat kimia dengan kadar yang berlebih maupun oleh mikroorganisme patogen. Menjaga dan memelihara air tetap berkualitas menjadi faktor yang sangat vital bagi keberlangsungan produktivitas unggas. Sumber air pada unggas berasal dari air minum, makanan, dan air metabolik.

Kekurangan air dalam tubuh akan menyebabkan terganggunya fungsi-fungsi di atas, sehingga dapat mengganggu pertumbuhan, kesehatan dan produksi. Kekurangan air sekitar 20% atau lebih akan menghasilkan penurunan yang nyata dalam efisiensi penggunaan pakan dan suatu penurunan sebanding dalam laju pertumbuhan broiler.

Kekurangan air dalam waktu 24 jam dapat mengakibatkan penurunan dalam produksi telur untuk sehari atau dua hari berikutnya. Selama 36 jam tanpa air, unggas mungkin akan mengalami perenggasan bulu dan produksi sangat berkurang untuk suatu periode waktu yang lama.

Fungsi air pada puyuh adalah sebagai berikut:

- Sebagai penghantar panas yang baik.
- Memudahkan dalam pencernaan makanan
- Berfungsi untuk melarutkan & mengedarkan nutrient keseluruh tubuh.
- Membawa sisa-sisa metabolisme untuk dikeluarkan.

- Sebagai penyusun cairan tubuh & mempertahankan bentuk sel.

Air berasal dari air minum, air dalam pakan dan air metabolik. Dari setiap gram pakan dapat menghasilkan air metabolic 0,57 gram. Kadar air dalam hijauan sekitar 80 % sedangkan kadar air bijian kering dan hasil ikutannya sekitar 10-15%.

Aktifitas otot selama 20 menit yang menghasilkan panas dapat menggumpalkan albumin. Fungsi air disini adalah sebagai penyerap panas sehingga albumin dalam tubuh puyuh tidak menggumpal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hilangnya kadar air adalah:

- Melalui saluran pencernaan dan urin.
- Bahan makanan kering yang membutuhkan banyak air untuk mencernanya.
- Melalui saluran pernafasan
- Temperatur yang tinggi juga menyebabkan faktor yang mempengaruhi hilangnya air dalam tubuh, contoh pada suhu tinggi puyuh akan melakukan painting.

Apabila kehilangan air 2-5 % dari berat tubuh maka akan mengurangi nafsu makan (anoreksia), bila kekurangan sekitar 10% dari berat badan akan menyebabkan sakit kepala, hilang ingatan dan suara menjadi kabur. Secara umum hilangnya air akan mengganggu faali tubuh.

Kebutuhan air pada puyuh

banyaknya air yang dibutuhkan ditentukan oleh beberapa faktor :

1. Berat badan
Puyuh yang lebih berat membutuhkan air lebih banyak daripada yang berat badannya ringan.
2. Banyaknya pakan yang dikonsumsi

Pakan yang lembab, dilembabkan atau lebih banyak kandungan airnya akan mengurangi kebutuhan akan air. Puyuh yang pakannya lebih banyak, juga lebih banyak membutuhkan air daripada yang mengkonsumsi pakan sedikit.

3. Umur atau fase kehidupan

Puyuh yang sedang dalam fase pertumbuhan, membutuhkan air sebanyak 2,5 kali dari pakan yang dikonsumsinya. Sedangkan puyuh dewasa produksi (fase produksi) membutuhkan 1,5 kalinya dengan catatan suhu lingkungan optimal.

4. Keadaan suhu lingkungan

Makin panas atau makin tinggi suhu di dalam kandang maka makin besar kebutuhan airnya. Pada umumnya suhu di Indonesia termasuk suhu panas. Biasanya kebutuhan air pada suhu panas tersebut berhubungan dengan tubuh puyuh yang tidak mempunyai kelenjar keringat, sehingga terpaksa membuang kelebihan panas dengan cara menguapkan air melalui gelembung-gelembung udara di dalam tubuhnya dan dengan cara pernafasan.

bila suhu keliling panas, akan membuka paruhnya (panting), dimana uap air dikeluarkan.

5. Tingkat produksi

Makin tinggi tingkat produksi telur makin besar pula kebutuhan airnya. Pakan komersial bagi unggas mengandung kurang lebih 10% air. Dengan mengkonsumsi pakan tersebut unggas harus menggunakan 2-2,5 gram air untuk setiap gram pakan yang dikonsumsi selama masa pertumbuhan dan 1,5-2 gram air/gram pakan bagi petelur.

E. Metabolisme Air pada Tubuh Unggas

Pentingnya air bagi tubuh

Tubuh mengandung 60-70% air, maka peranan air dlm pencernaan, penyerapan, metabolisme, kesehatan dan penyakit menjadi sangat penting

Glukosa dioksidasi dlm tubuh – air metabolik



Air yg diambil tubuh dpt hilang, karena:

1. Ekskresi melalui usus
2. Ekskresi melalui ginjal
3. Pernafasan

4. Melalui penguapan

Faktor yg mempengaruhi konsumsi dan jalannya air tubuh diatur seimbang oleh 4 alat atau fungsi:

1. Reseptor dlm otak mengatur rasa haus
2. Reseptor mengaktifkan sekresi hormon anti diuretik oleh kelenjar pituitari
3. Hormon antidiuretik mengurangi pengeluaran air melalui ginjal
4. Penyimpanan air dlm sel ginjal

Gejala defisiensi air

Pengurangan air 20% / lebih ditunjukkan; melalui

- penurunan nyata efisiensi ransum
- mengurangi laju pencernaan,
- penurunan berat telur dan kerabang

Terlalu banyak konsumsi air Menunjukkan kesulitan memelihara suhu tubuh akibat stres panas lingkungan atau ransum banyak mengandung Na, K dan laktosa Pemberian air dg paksa akibatnya: penurunan konsumsi dan pertumbuhan

F. Pengaruh dari Kehilangan Air

Pengurangan air sebesar 20% atau lebih mengakibatkan penurunan yang nyata dalam efisiensi penggunaan makanan dan penurunan yang sebanding dalam laju pertumbuhan. Pengambilan air mengurangi laju pencernaan dengan cara memperlambat pergerakan makanan dari tembolok.

Puyuh dewasa yang mengalami kekurangan air memperlihatkan gejala necrosis pada ovariumnya, proventricullus dan nephrosis. Pembatasan air akan mengakibatkan produksi telur dengan kerabang yang sangat tipis diikuti dengan produksi beberapa butir telur tanpa kulit. Akhirnya produksi telur akan berhenti sama sekali. Gejala-gejala tersebut terjadi setelah 48 jam.

Kehilangan air akibat proses dalam tubuh cukup bervariasi. Secara umum kehilangan air dapat terjadi melalui (1) hilangnya air melalui saluran pencernaan , (2) hilangnya air melalui urin, (3) hilangnya air melalui penafasan.

Bila puyuh dibatasi konsumsi air minumannya, terutama dalam keadaan panas, ternak akan memperlihatkan kehausan secara cepat. Jika air yang hilang 2-5% dari berat tubuh, maka akan mengganggu dan mengurangi nafsu makan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadu S, Mohammed A.A, Buhari H, and Auwal A. 2016. An Overview of Vitamin C as an antioxidant in Poultry. *Malaysian journal of Veterinary Research*. 7(2):9-22.
- Bar A. 2009. Differential Regulation of Calbindin in the Calcium-Transporting Organs of Birds with High Calcium Requirements. *J.Poult.Sci*.46:267-285.
- Bradbury J. 2011. Docosahexaenoic Acid (DHA): An Ancient Nutrient for the Modern Human Brain. *Nutrients* 2011, 3, 529-554.
- Dacke C.G, Arkle S, Cook D.J, Wormstone I.M, and Jones S. 1993. Medullary Bone And Avian Calcium Regulation. *J. Exp. Biol.* 184 :63–88
- Diana F.M. 2012. Omega 3. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol. 6, No.2.
- Drew M.D, Estrada A.E, Kessel A.G.V, and Maens D.D. 2002. Interaction Between Amino Acid Transport Systems and Intestinal Bacteria: Implications for the Formulation of Broiler Chicken Diets. *Proc.Aust.Poult. Sci.Sym*.14:163-170.
- Handayani T, Sutarno, dan Setyawan A.D. 2004. Analisis Komposisi Nurisi Rumpun Laut Sargassum crassifolium J.Agardh. *Biofarmasi* 2(2): 45-52.
- Hughes R.J. 2003. Energy Metabolism in Chickens: Physiological Limitations. *Rural Industries Research and Development Corporation*.1-62.
- Kierończyk B, Rawski M, Długosz , Świątkiewicz S, and Józefiak D. 2016. Avian crop function – a review. *Ann. Anim. Sci.* 16 (3) :653–678.
- Kiokias S, Proestos C, and Varzakas T. 2016. A Review of the Structure, Biosynthesis, Absorption of Carotenoids-Analysis and Properties of their Common Natural Extracts. *Research in Nutrition and Food Science* Vol. 4 (Special Issue 1), 25-37.
- Krupakaran R.P. 2013. Serum Biochemical Profile of Japanese Quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*.3 (1): 182-183.
- Marichamy G, Raja P, Veerasingam S, Rajagopal S, and Venkatachalapathy R. 2009. Fatty Acids Composition of Indian Mackerel *Rastrilliger kanagurta* under Different Cooking Methods. *Research Journal of Biological Sciences* 1(3): 109-112.
- Matanjun P, Mohamed S, Mustapha N.M, and Muhammad K. 2009. Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. *J Appl Phycol* (2009) 21:75–80.
- Merdekawati W dan Susanto A.B. 2009. Kandungan Dan Komposisi Pigmen Rumpun Laut Serta Potensinya Untuk Kesehatan. *Squalen*. 4(2):41-48.
- Muhammad N.A and Moamad J. 2012. Fatty Acids Composition of Selected Malaysian Fishes. *Sains Malaysiana* 41(1)(2012): 81–94.
- Panagan A.T, Yohandini H, dan Wulandari M. 2012. Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Asam Lemak Tak Jenuh Omega-3, Omega-6 dan Karakterisasi Minyak Ikan Patin (*Pangasius pangasius*). *Jurnal Penelitian Sains* Volume 15 Nomor 3
- Park S.Y, Birkhold S.G, Kubena L.F, Nisbet D.J, and Ricke S.C. 2004. Review on the Role of Dietary Zinc in Poultry Nutrition, Immunity, and Reproduction. *Biological Trace Elements Research*. 141: 147-163

- Raes K, Huyghebaert G, Smet S.D, Nollet L, Arnouts S, and Demeyer D. 2017. The Deposition of Conjugated Linoleic Acids in Eggs of Laying Hens Fed. Diets Varying in Fat Level and Fatty Acid Profile.. *The Journal of Nutrition*. 13:182-189.
- Roekistiningsih dan Sutjiati E. 2014. Pengaruh Proses Pengolahan Daun Singkong (Manihot esculenta Crantz) Dengan Berbagai Perlakuan Terhadap Kadar β - Karoten. *Indonesian Journal of Human Nutrition*. *Volume 1 Edisi 1 : 23 – 34*.
- Samaraweera H, Zhang W, Lee E.J, and Ahn D.U. 2011. Egg Yolk Phosvitin and Functional Phosphopeptides—Review. *Journal of Food Science*. Vol 76:7
- Saraswati, Manalu W, Ekastuti D.R, and Kusumorini N. 2013. The Role Of Turmeric Powder In Lipid Metabolism And It Effect On Quality Of The First Quail's Egg. *J.Indonesian Trop.Anim.Agric*. 38(2):123-130.
- Saraswati.2015. Telur. Optimalisasi Fungsi Reproduksi Puyuh dan Biosintesis Kimiawi Bahan Pembentuk Telur.Penerbit Lembaga Studi dan Konsultasi Farmakologi Indonesia (Leskonfi). Depok Bogor.
- Saraswati T.R, Tana S, dan Isdadiyanto,S. 2016. Pemberian Berbagai Jenis Pakan Organik Terhadap Kandungan β -Karoten Dalam Telur Puyuh Jepang (Coturnix japonica). Prosiding Seminar Nasional from Basic Science to Comprehensive Education Makassar, 26 Agustus 2016. ISBN: 978-602-72245-1-3.
- Skrivan M, Marounek M, Englmaierova M, and Skrivanova V. 2013. Influence of dietary vitamin C and selenium, alone and in combination, on the performance of laying hens and quality of eggs. *Czech J. Anim. Sci*. 58 (2): 91–97
- Tamsil M.H. 2014. Stres Panas pada Unggas: Metabolisme, Akibat dan Upaya Penanggulangannya. *Wartazoa* Vol. 24 No.2. 57-66
- Zainuddin, Masyitha D, Mulyana Y, dan Fitriani. 2014. Struktur Histologi Tembolok (*Ingluvies*) Pada Unggas. *Jurnal Medika Veterinaria*. 8(1):47-50.

Pembentukan telur puyuh organik yang kaya asam lemak esensial, sangat tergantung pada pakan yang diberikan yaitu berupa pakan organik. Pakan organik yang baik terlihat dari nutrisi yang terkandung didalamnya. Membuat pakan sendiri akan mengurangi ketergantungan dengan pakan buatan pabrik. Dengan jumlah nutrisi yang sama, diharapkan formula ini akan tetap mampu memenuhi kebutuhan energi bagi kebutuhan burung puyuh. Untuk pembuatan pakan puyuh organik komposisi kimiawi pakan, disesuaikan menurut standar SNI. Pakan yang dikonsumsi akan melalui proses pencernaan, absorpsi dan distribusi, yang selanjutnya akan dimetabolisme tubuh. Energi yang dihasilkan digunakan untuk pertumbuhan, perkembangbiakan dan produksi telur dan daging.



Dr. Tyas Rini Saraswati, M.Kes. Pendidikan S1 di Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Lulus tahun 1988. Pendidikan S2 pada Program Pascasarana Universitas Padjadjaran pada bidang Ilmu Kedokteran Dasar tahun 1996-1998. Pendidikan S3 di Institut Pertanian Bogor Fakultas Kedokteran Hewan Mayor Ilmu Ilmu Faal dan Khasiat Obat tahun 2009-2013.

Sejak tahun 1989 menjadi staf pengajar di Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Diponegoro, tahun 2000-2004 menjadi Sekretaris Laboratorium Biologi Struktur dan Sekretaris Fungsi Hewan dan Sekretaris Laboratorium Unit Pelayanan Jasa Jurusan Biologi, tahun 2004-2008 menjadi Sekretaris Jurusan Biologi, tahun 2013-2016 menjadi Ketua Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Hewan Jurusan Biologi, dan tahun 2015 sampai dengan sekarang menjadi Ketua Program Studi Magister Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.