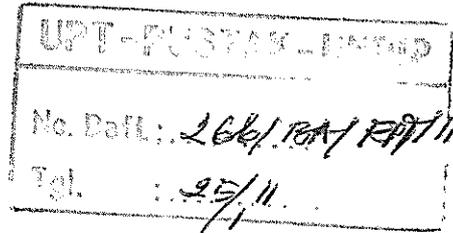


**MODUL PERKULIAHAN  
(MATA KULIAH  
ILMU NUTRISI DAN PAKAN)**

**POKOK BAHASAN  
SISTIM PENCERNAAN &  
METABOLISME NUTRIEN PADA  
MONOGASTRIK**

**Ir. Retno Murwani, PhD.**



**LABORATORIUM BOKIMIA NUTRISI  
JURUSAN NUTRISI DAN MAKANAN TERNAK  
FAKULTAS PETERNAKAN UNDIP SEMARANG  
April 2009**

**SISTIM PENCERNAAN &  
METABOLISME NUTRIEN PADA  
MONOGASTRIK**

Modul Perkuliahan - Mata Kuliah Ilmu Nutrisi & Pakan : Sistem Pencernaan dan Metabolisme Nutrien pada Monogastrik; Retno Murwani (penulis); Ed.1. Lab. Biokimia Nutrisi, Jurusan Nutrisi & Makanan Ternak, Undip, Semarang; 2009, 56 halaman; 16.5 x 23.5 cm.

Judul:

**SISTIM PENCERNAAN & METABOLISME NUTRIEN  
PADA MONOGASTRIK**

**Retno Murwani**

**Untuk Mahasiswa Program Studi Nutrisi dan Makanan Ternak  
Telah digunakan pada  
Semester Genap 2009-2010  
April 2009**

## DAFTAR ISI

	Hal
I. Pendahuluan .....	1
II. Sistim Pencernaan Monogastrik .....	4
A. Sistim Pencernaan Babi .....	4
B. Sistim Pencernaan Ayam .....	10
C. Sistim Pencernaan Kuda .....	16
D. Sistim Pencernaan Kelinci .....	23
III. Pencernaan enzimatis pada monogastrik .....	28
IV. Pencernaan oleh mikroba (pencernaan allo-enzimatis) pada monogastrik .....	37
V. Metabolisme Nutrien .....	39
VI. Pustaka .....	45
Lampiran Transparansi .....	47

## DAFTAR TABEL

	Hal
1. Proses pencernaan yang berlangsung pada bagian-bagian dari sistim pencernaan kuda dan ukuran bagian-bagian tersebut .....	22
2. Pencernaan karbohidrat secara enzimatis dalam sistim pencernaan monogastrik .....	33
3. Pencernaan lemak secara enzimatis dalam sistim pencernaan monogastrik .....	34
4. Pencernaan protein secara enzimatis dalam sistim pencernaan monogastrik .....	35

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
1. Saluran Pencernaan Babi .....	4
2. Posisi saluran pencernaan dalam tubuh babi...	5
3. Vili di permukaan usus halus .....	7
4. Bagian-bagian dari sistim pencernaan ayam...	10
5. Bagian-bagian dari sistim pencernaan kuda...	16
6. Posisi saluran pencernaan dalam tubuh kuda..	17
7. Bagian-bagian dari sistim pencernaan kuda dengan ukuran dan kapasitasnya.....	21
8. Sistim pencernaan kelinci.....	24
9. Cecotrope .....	26
10. Penampang melintang usus halus dan bagian-bagiannya. Sel enterosit pada mukosa usus halus merupakan sel yang melakukan penyerapan monomer dan menghasilkan enzim "brush border".....	30
11. Tahapan pemecahan nukleoprotein (asam nukleat yang berasosiasi dengan protein) di usus halus.....	35
12. Jalur interkonversi karbohidrat, lemak, dan protein.....	44

## I. PENDAHULUAN

Istilah nutrien dipakai untuk mewakili senyawa-senyawa molekul makro dan mikro yang telah kita kenal pada mata kuliah Biokimia yaitu 1) Air, 2) karbohidrat, 3) lemak, 4) protein, 5) mineral, dan 6) vitamin yang terdapat dalam makanan ternak. Keenam jenis nutrien ini diperlukan oleh ternak agar dapat tumbuh dengan baik. Istilah nutrisi untuk ternak mencakup keenam nutrien di atas.

Ternak adalah hewan yang dibudidayakan dengan tujuan untuk dimanfaatkan dan diambil produknya berupa daging, susu, dan telur, serta tenaga (kuda, lembu). Sedangkan hewan untuk lomba keindahan (ayam hias), hewan kesayangan, aduan dsb tidak dibahas disini. Agar ternak dapat menghasilkan produk tersebut dengan optimal maka ternak harus diberi pakan yang dapat memberikan nutrisi atau enam jenis nutrien di atas. Nutrisi yang diberikan pada ternak biasanya berupa berbagai jenis bahan pakan yang disusun menjadi ransum. Ransum ini harus dapat memenuhi kebutuhan ternak sesuai dengan jenis ternaknya, umur, fase fisiologis (bunting atau tidak; laktasi dsb), genetik, dan lingkungan (misalnya suhu, cuaca, perkandangan).

Budidaya ternak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan manusia dan memperoleh keuntungan. Untuk memperoleh keuntungan maka ternak harus diberi ransum yang cukup dan ekonomis. Cukup dalam arti memenuhi semua nutrisi yang diperlukan sesuai kebutuhan tanpa kelebihan. Ransum yang berlebih secara ekonomi tidak saja merugikan namun juga dapat menimbulkan gangguan metabolisme. Untuk itu maka hal pertama yang harus diketahui adalah pemahaman proses pencernaan dan penyerapan nutrisi dari ransum. Seperti halnya pada mata kuliah Biokimia, nutrisi yang dibahas pada proses pencernaan adalah nutrisi makro yaitu Karbohidrat, Lemak, dan Protein.

Berdasarkan jenis pakan yang dikonsumsi ternak digolongkan menjadi 3 yaitu :

1. **Herbivora** yaitu ternak yang pakannya seluruhnya berasal dari tanaman. Contohnya adalah domba, sapi, dan kuda
2. **Carnivora** yaitu ternak yang pakannya seluruhnya berasal dari hewan, Contohnya adalah anjing
3. **Omnivora** yaitu ternak yang pakannya berasal dari hewan dan tanaman. Contohnya adalah babi, ayam, dan manusia

Berdasarkan sistim pencernaannya ternak digolongkan menjadi:

**1. Monogastrik**

- a. Perut sederhana, contohnya adalah babi, anjing
- b. Burung/Avian, contohnya adalah ayam, bebek, kalkun, burung dara
- c. Pseudoruminan, contohnya adalah kuda dan kelinci

**2. Ruminan**

Contohnya adalah sapi, domba dan kambing

## II. SISTIM PENCERNAAN MONOGASTRIK

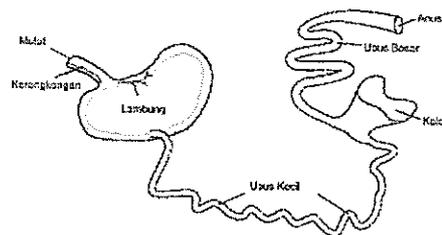
Yang akan dibahas dan diuraikan disini adalah sistim pencernaan pada monogastrik yang mewakili perut sederhana yaitu babi, mewakili burung yaitu ayam, dan mewakili pseudoruminan yaitu kuda.

### A. Sistim pencernaan Babi

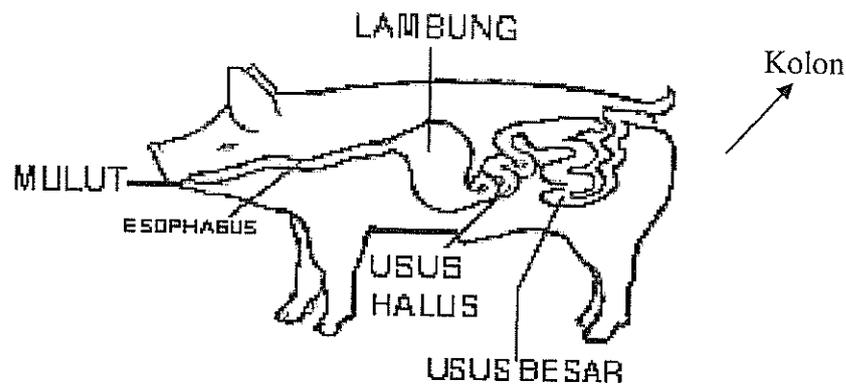
Sistim pencernaan pada babi terdiri dari :

1. Mulut
2. Kerongkongan (Esophagus)
3. Lambung (Stomach)
4. Usus Halus (Small Intestine)
5. Usus Buntu
6. Usus Besar (Large Intestine)
7. Anus

Ketujuh bagian sistim pencernaan babi tersebut diilustrasikan lebih jelas pada Gambar 1 dan 2 di bawah :



Gambar 1. Saluran Pencernaan Babi (diadopsi dari <http://ars.sdstate.edu/swineext/SwineNutritionGuide.pdf>)



Gambar 2. Posisi saluran pencernaan dalam tubuh babi (diadopsi dari Rowan *et al.*, 1997)

### 1. Mulut

adalah tempat dimana pakan pertamakali memasuki sistem pencernaan. Disini terjadi pemecahan secara mekanis dimana pakan dikunyah dan dipecah menjadi berukuran lebih kecil menggunakan gigi. Air ludah atau saliva yang diproduksi dalam mulut berfungsi melembabkan dan melunakkan pakan. Saliva juga mengandung enzim amylase yang mulai memecah pati (karbohidrat) dalam pakan. Lidah dalam mulut membantu mendorong makanan masuk ke kerongkongan atau esophagus.

### 2. Kerongkongan / Esophagus

adalah saluran yang membawa makanan dari mulut ke lambung. Kontraksi otot mendorong makanan ke lambung. Di akhir kerongkongan terdapat katup yang disebut

**"cardiac valve"** yang mencegah kembalinya makanan yang telah sampai di lambung ke kerongkongan.

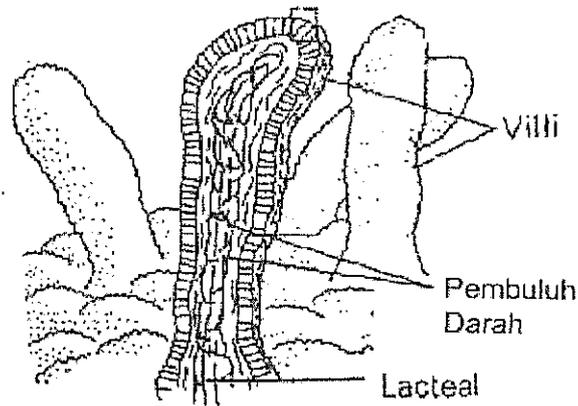
### **3. Lambung (stomach)**

adalah tempat dimana asam klorida (HCl) yang dikeluarkan oleh sel-sel di dinding lambung. Penambahan asam klorida pada makanan menyebabkan terjadinya pemecahan ikatan kimia di dalam makanan dan terbentuknya partikel2 kecil karbohidrat, lemak dan protein. Ada sedikit dari partikel ini yang diabsorpsi di lambung dan diangkut oleh darah. Partikel makanan kemudian menuju usus halus melalui katup yang disebut : **"pyloric valve"**.

### **4. Usus Halus**

Usus halus merupakan saluran yang berbentuk spiral sehingga dapat menempati ruang yang kecil (lihat gb.2). Dinding usus halus memiliki tonjolan-tonjolan mirip jari yang disebut villi (Gambar 3 dibawah) yang meningkatkan luas permukaan usus halus dalam penyerapan nutrien. Sel-sel di dinding usus halus mengeluarkan berbagai enzim yang membantu pencernaan dan menyerap hasil akhir pencernaan makanan. Usus halus dibagi menjadi 3 segmen yaitu duodenum, jejunum, dan ileum. Di bagian pertama usus halus yaitu duodenum terjadi penambahan sekresi dari hati dan pankreas. Sekresi dari hati disimpan dalam empedu dan diteruskan ke duodenum melalui saluran empedu.

Sekresi ini adalah garam empedu yang membantu pencernaan lemak yang terdapat dalam pakan. Sekresi dari pankreas disalurkan ke duodenum melalui saluran pankreas.



Gambar 3. Vili di permukaan usus halus (diadopsi dari Lehninger, 1986)

Sekresi dari pankreas ini terdiri dari berbagai enzim yang membantu pencernaan karbohidrat, lemak dan protein. Sebagian besar penyerapan nutrisi terjadi di jejunum dan ileum. Nutrien yang tidak tercerna memasuki usus besar melalui katup yang disebut "**ileocecal valve**".

### **5. Sekum/Usus Buntu**

Sekum (cecum) atau usus buntu terletak di bagian depan usus besar dan umumnya kurang memiliki fungsi. Di sini terjadi pencernaan serat dalam jumlah kecil atau terbatas dimana mikroba menghasilkan enzim selulase yang memecah selulosa (serat kasar). Sistem pencernaan serat

kasar disini sangat tidak efisien pada babi dan ayam. Namun pada hewan seperti kuda dan kelinci, sekum berperan sangat penting dalam pencernaan pakan berserat.

#### **6. Usus Besar**

Usus besar ukurannya lebih pendek dari usus halus namun memiliki diameter lebih besar. Fungsi utamanya adalah penyerapan air. Usus besar merupakan tempat penampungan sisa pencernaan yang merupakan komponen tinja. Terjadi sedikit sekali pemecahan sisa pakan dalam usus besar. Di sini mukus ditambahkan sehingga berfungsi sebagai pelicin agar sisa pencernaan mudah dikeluarkan. Bagian terujung dari usus besar adalah rektum.

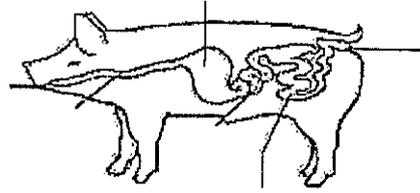
#### **7. Anus**

Anus merupakan lubang dimana sisa pencernaan dikeluarkan dari tubuh. Pakan yang tidak tercerna dan tidak diabsorpsi akan dikeluarkan melalui anus sebagai tinja.

Nutrien yang dicerna dan diabsorpsi akan diedarkan keseluruh tubuh melalui darah (Bab V). Absorpsi nutrisi yang baik tergantung pada setiap segmen sistem pencernaan baik dalam hal fungsi maupun kapasitas optimalnya.

### LATIHAN SOAL

1. Tentukan bagian-bagian dari sistim pencernaan babi pada gambar berikut tanpa melihat gambar sebelumnya!



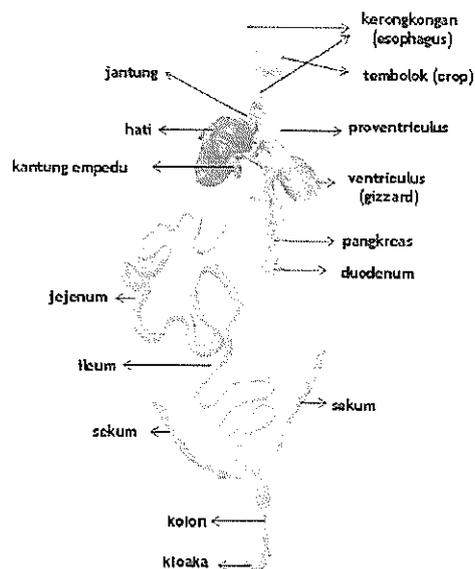
2. Jelaskan fungsi dari masing-masing bagian sistim pencernaan babi!

## B. Sistem pencernaan Ayam

Sistem pencernaan pada ayam terdiri dari :

1. Paruh
2. Kerongkongan (Esophagus)
3. Tembolok (Crop)
4. Proventrikulus
5. Empedal (Gizzard)
6. Usus Halus (Small Intestine)
7. Usus Buntu/sekum
8. Rektum (Rectum)
9. Kloaka

Kesembilan bagian sistem pencernaan ayam tersebut diilustrasikan lebih jelas pada Gambar 4 di bawah.



Gambar 4. Bagian-bagian dari sistem pencernaan ayam

## **1. Mulut/Paruh**

Pada ayam paruh adalah tempat dimana pakan pertamakali memasuki sistim pencernaan. Ayam tidak memiliki gigi sehingga pakan pertama kali masuk dalam sistim pencernaan dengan dipatuk melalui paruh dan ditelan tanpa dikunyah. Lidah pada ayam bentuknya runcing di bagian ujung sesuai dengan bentuk paruh dan berfungsi membantu mendorong pakan ke kerongkongan. Terdapat kelenjar saliva dengan produksi saliva sekitar 7-30 ml per hari yang cukup untuk melicinkan dan memudahkan pakan menuju kerongkongan.

Indera pengecap pada bangsa burung tidak begitu berkembang dibandingkan mamalia, karena pakan tidak cukup lama berada di paruh, tidak terjadi pengunyahan, dan sedikitnya saliva yang ditambahkan pada pakan. Rendahnya kemampuan indera pengecap digambarkan oleh jumlah reseptor pengecap sebanyak 62 di burung puyuh dibandingkan jenis mamalia seperti kelinci yang memiliki reseptor pengecap sebanyak 17000. Indera pengecap di ayam terletak di bagian belakang lidah. Lidah, paruh, dan ruang dalam paruh kaya akan reseptor peraba (touch receptor) sehingga dapat melengkapi kekurangan dalam reseptor pengecap (Klasing, 2000).

## **2. Kerongkongan (Esophagus)**

adalah saluran yang membawa makanan dari mulut ke tembolok. Diameter kerongkongan lebih besar dibandingkan

pada mamalia agar dapat menampung pakan yang masih berukuran besar karena tidak dikunyah. Untuk membantu menelan pakan yang berukuran cukup besar maka kerongkongan bersifat lentur dapat membesar karena adanya lipatan-lipatan sepanjang kerongkongan yang juga kaya akan kelenjar mukus untuk lubrikasi. Lapisan epitel tebal di sepanjang kerongkongan berfungsi untuk melindungi dari kerusakan akibat pakan yang masih kasar. Fungsi utama kerongkongan pada bangsa burung adalah untuk menyimpan sehingga sifat kerongkongan bangsa burung sangat elastis.

### **3. Tembolok (Crop)**

Merupakan pelebaran esophagus dan tempat penyimpanan sementara pakan yang masuk. Disini pakan dilunakkan dengan adanya penambahan air.

### **4. Proventrikulus**

Lambung pada ayam dibagi menjadi dua yaitu proventrikulus (lambung glandular) dan empedal (lambung muskular). Mukosa proventrikulus memiliki dua kelenjar yaitu kelenjar tubular yang mengeluarkan mukus, dan kelenjar gastrik yang mensekresikan asam klorida (HCl) dan pepsin. Mukus disekresikan ketika mulai makan sedangkan HCl dan pepsin disekresikan ketika pakan sampai di saluran proventriculus. HCl memecah ikatan di dalam molekul nutrien, sedangkan pepsin memecah protein menjadi polipeptida. Bagian

belakang proventrikulus menyempit dan menuju empedal (Gambar 4).

### **5. Empedal (Gizzard)**

Empedal berbentuk bulat telur dan tersusun dari serabut otot yang padat dan kuat. Di ujung depan empedal berhubungan dengan proventrikulus dan agak masuk berhubungan dengan usus halus. Fungsi utama empedal adalah mengiling dan meremas pakan yang masih keras sehingga ukurannya semakin kecil dan meningkatkan permukaan partikel pakan. Penggilingan dan peremasan pakan oleh empedal terjadi oleh adanya kontraksi otot empedal yang kuat. Di sini proses pemecahan oleh HCl dan pepsin yang dikeluarkan oleh sel-sel di proventrikulus diteruskan. Setelah melewati proventrikulus dan empedal pakan berbentuk bubur atau "chyme" dan siap memasuki usus halus.

### **6. Usus Halus (Small Intestine)**

Di sini terjadi pemecahan nutrien dalam pakan secara enzimatis dan terjadi penyerapan hasil pemecahan enzimatis. Penjelasan mengenai proses pencernaan usus halus sama dengan yang telah dijelaskan di usus halus pada babi (halaman 7).

## **7. Sekum = babi**

## **8. Rektum**

Bagian usus antara segmen ileum usus halus dengan kloaka adalah rektum. Bagian ini sangat pendek dan diameternya lebih kecil dari usus besar mamalia sehingga tidak disebut usus besar. Secara morfologi rektum mirip usus halus kecuali vilinya lebih pendek.

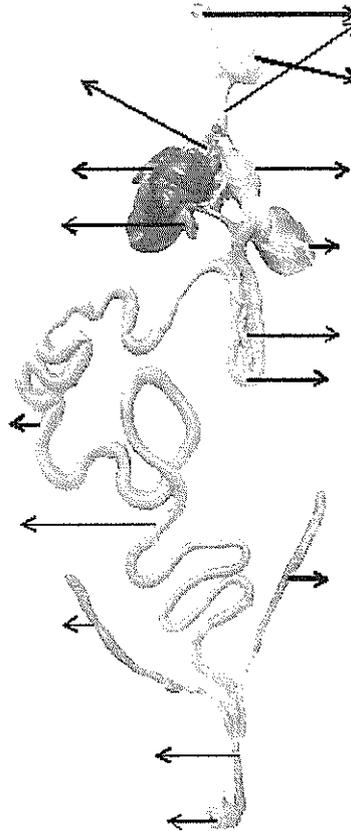
## **9. Kloaka**

Merupakan saluran yang membuka dan berhubungan dengan anus di bagian terujung. Kloaka memiliki diameter lebih besar dibandingkan rektum. Bagian terdepan kloaka berhubungan langsung dengan rektum, dan bagian tengah berhubungan dengan saluran keluar dari ginjal (urin) dan organ reproduksi. Organ ini bertaut dengan Bursa Fabricius yaitu jaringan limfoid dimana sel limfosit B mengalami pematangan pada anak ayam dan kemudian menjadi jaringan limfoid sekunder pada ayam dewasa. Air kencing pada ayam dikeluarkan melalui kloaka bersama dengan tinja.

Hati, empedu, dan pankreas merupakan organ pelengkap dalam sistim pencernaan. Hati mensistesis garam empedu yang disimpan dalam empedu, sedangkan pankreas mengeluarkan berbagai enzim pencernaan.

**LATIHAN SOAL**

1. Tentukan bagian-bagian dari sistim pencernaan ayam pada gambar berikut tanpa melihat gambar sebelumnya!



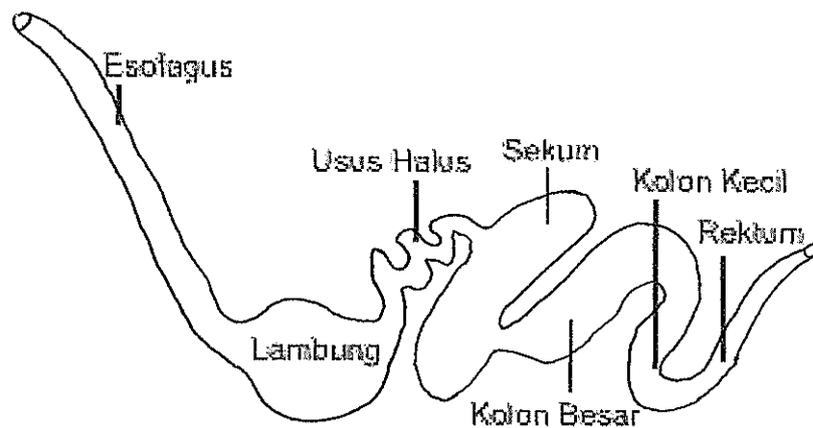
2. Jelaskan fungsi dari masing-masing bagian sistim pencernaan ayam!

### C. Sistim Pencernaan Kuda

Sistim pencernaan pada kuda terdiri dari :

1. Mulut
2. Kerongkongan (Esophagus)
3. Lambung
4. Usus Halus (Small Intestine)
5. Usus Buntu/sekum
6. Rektum (Rectum)
7. Kloaka

Ketujuh bagian sistim pencernaan kuda tersebut diilustrasikan lebih jelas pada Gambar 5 dan 6 di bawah :

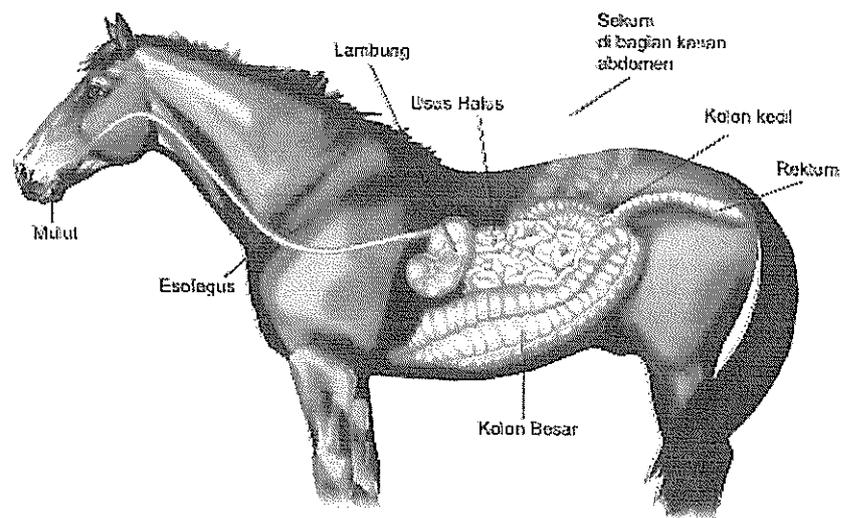


Gambar 5. Bagian-bagian dari sistim pencernaan kuda (dimodifikasi dari <http://www.forco.com/new/pages/images/digestive-system.jpg>)

Kuda dan bangsa kuda lainnya yang termasuk dalam genus *Equus* telah mengalami adaptasi terhadap lingkungan dengan makan dalam jumlah sedikit sepanjang hari. Di alam

bebas kuda merumput di padang rumput dan menempuh jarak cukup jauh agar dapat memperoleh nutrisi yang cukup. Oleh karena itu sistem pencernaan kuda bekerja optimal bila pakan yang masuk jumlahnya sedikit namun kontinyu sepanjang hari.

Proses pemecahan pakan yang terjadi di mulut sampai lambung serupa dengan yang terjadi pada babi. Perbedaan mulai terdapat pada bagian sekum. Pada kuda sekum memiliki ukuran yang besar mencapai panjang sekitar 120 cm. Disini terjadi proses fermentasi atau pemecahan serat kasar yang cukup efisien sehingga kuda dapat mencerna pakan hijauan seperti rumput.



Gambar 6. Posisi saluran pencernaan dalam tubuh kuda  
(diadopsi dari [http://www.admani.com/  
AllianceEquine/images/DigestiveTract.jpg](http://www.admani.com/AllianceEquine/images/DigestiveTract.jpg))

### **Mulut**

Mulut kuda dilengkapi dengan gigi yang berjumlah 36 dan 40. Mulut yang bagian atasnya menonjol keluar atau menjorok masuk dapat mengganggu pengunyahan pakan. Saliva disekresikan dan bercampur dengan pakan sehingga membentuk bolus yang lembab dan mudah ditelan. Terdapat 3 kelenjar yang mensekresikan saliva yaitu parotid, submaxillari dan sublingual. Kuda menghasilkan sekitar 10 gallon atau 45 L saliva per hari.

### **Esofagus**

Esofagus membawa pakan dari mulut ke lambung. Esofagus letaknya membentuk sudut curam sehingga membentuk katup satu arah dengan mekanisme menutup sangat kuat sehingga hampir tidak mungkin bagi kuda untuk memuntahkan kembali pakan yang telah masuk lambung (Lihat gambar 6). Oleh karena itu lambung dapat terganggu bila terjadi konsumsi pakan berlebihan. Esofagus juga merupakan segmen sistim pencernaan dimana kuda dapat tersedak.

### **Lambung**

Lambung kuda berukuran kecil dibandingkan ukuran tubuhnya sehingga jumlah pakan yang dapat ditampung terbatas. Oleh karena itu lebih baik memberikan pakan dalam jumlah sedikit beberapa kali per hari dibandingkan satu atau dua kali pemberian pakan dalam jumlah banyak.

Bila lambung telah terisi sampai 2/3 nya maka akan mulai dikosongkan. Di lambung terjadi sekresi asam klorida yang membantu memecah partikel pakan dan enzim pepsin yang memecah protein.

### **Usus Halus**

Usus halus kuda memiliki panjang mencapai 21m sehingga dapat menampung banyak digesta dari lambung (68 liter). Berbagai enzim disekresikan oleh pankreas ke dalam usus halus, karbohidrase memecah pati menjadi gula, protease memecah protein menjadi asam amino, garam empedu juga disekresikan untuk mengemulsifikasi lemak sehingga membantu pemecahan lemak. Garam empedu disekresikan langsung dari hati karena kuda tidak memiliki jaringan empedu untuk menyimpannya.

Setelah pakan dipecah dengan sempurna kemudian diserap melalui dinding usus halus dan diangkut melalui pembuluh darah ke seluruh tubuh. Sekitar 50-70% pemecahan karbohidrat dan absorpsinya serta absorpsi seluruh asam amino terjadi di usus halus. Waktu pakan melalui usus halus adalah sekitar 30 sampai 60 menit.

Kuda sangat rentan terhadap kolik atau kematian dari bahan toksik dalam pakan karena kuda tidak memiliki rumen dimana bakteri di dalamnya dapat mendetoksifikasi bahan toksik sebelum mencapai usus halus. Oleh karena itu penting

sekali memperhatikan kualitas pakan kuda. Pakan yang sudah busuk atau berjamur tidak diberikan pada kuda.

### **Sekum**

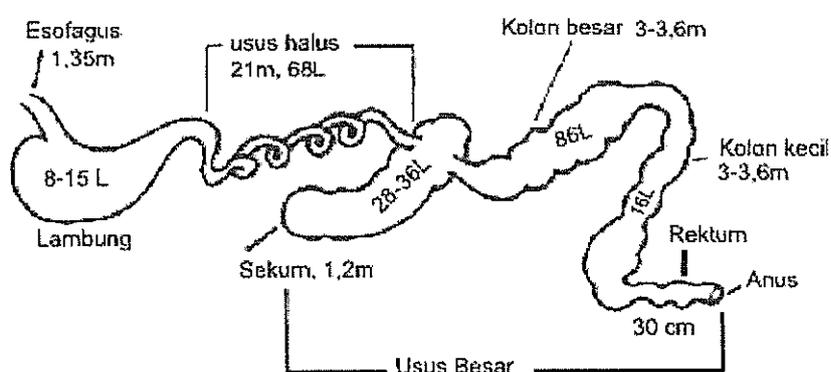
Sekum adalah usus atau kantung buntu yang panjangnya sekitar 1,2 m dengan kapasitas tampung pakan dan cairan 28-36 liter. Sekum menjadi tempat terjadinya fermentasi pakan oleh mikroba mirip seperti fungsi rumen pada sapi. Disini terjadi pemecahan pakan yang tidak tercerna di usus halus (berbagai jenis pakan hijauan seperti rumput). Populasi mikroba dalam sekum dipengaruhi oleh jenis pakan yang masuk. Bila terjadi perubahan pakan maka dibutuhkan waktu beberapa minggu agar populasi mikroba yang dapat memecah jenis pakan tersebut berkembang baik. Oleh karena itu apabila hendak merubah jenis pakan, harus dilakukan secara bertahap dengan mencampur dengan jenis pakan sebelumnya yang akan digantikan. Pakan berada di sekum sekitar 7 jam sehingga cukup waktu untuk mikroba dapat memecah pakan. Mikroba di sekum juga menghasilkan vitamin K, vitamin B-kompleks, protein, dan asam lemak. Vitamin dan asam lemak dapat diserap di sekum, namun protein hanya sedikit sekali diserap.

### **Kolon**

Kolon atau usus besar terdiri dari kolon besar dan kolon kecil yang masing-masing panjangnya mencapai 3,6 m dan

kapasitas 86L dan 16L. Pakan berada disini selama kurang lebih 48-65 jam dan pencernaan oleh mikroba juga berlangsung disini. Hasil-hasil pemecahan oleh mikroba selanjutnya diserap, demikian pula air sehingga sisa pakan yang tidak tercerna menjadi butiran tinja. Tinja didorong ke rektum untuk kemudian dikeluarkan dari tubuh kuda. Ukuran kolon yang besar memungkinkan terjadinya penyerapan nutrisi dan air dalam jumlah cukup banyak setelah pakan melewati usus halus dan sekum. Bila dibandingkan dengan ayam dan babi maka kapasitas usus besar kuda jauh lebih besar.

Bagian-bagian sistem pencernaan kuda yang telah dijelaskan di atas diringkas dalam skema dan tabel di bawah ini :



Gambar 7. Bagian-bagian dari sistem pencernaan kuda dengan ukuran dan kapasitasnya (diadopsi dari Bowen, 1996)

Di setiap bagian dari sistim pencernaan kuda berlangsung proses pemecahan makanan secara enzimatis atau alloenzimatis dan diringkas dalam Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Proses pencernaan yang berlangsung pada bagian-bagian dari sistim pencernaan kuda dan ukuran bagian-bagian tersebut (Bowen, 1996)

Proses Pencernaan yang berlangsung	Bagian pencernaan	Panjang	Kapasitas	Persentase dari seluruh sistim pencernaan
Secara enzimatis	Lambung	-	8-15 liter	8%
	Usus halus: duodenum, jejunum, ileum	21 m	68 liter	30%
Pemecahan oleh mikroba	Sekum	1,2 m	28-36 liter	15%
	Kolon besar	3 – 3,6 m	86 liter	38%
	Kolon kecil	3 – 3,6m	16 liter	9 %

#### LATIHAN SOAL

1. Gambarkan bagian-bagian dari sistim pencernaan kuda tanpa melihat gambar sebelumnya.
2. Jelaskan fungsi dari masing-masing bagian sistim pencernaan kuda!

#### **D. Sistim Pencernaan Kelinci**

Sistim pencernaan kelinci terdiri dari :

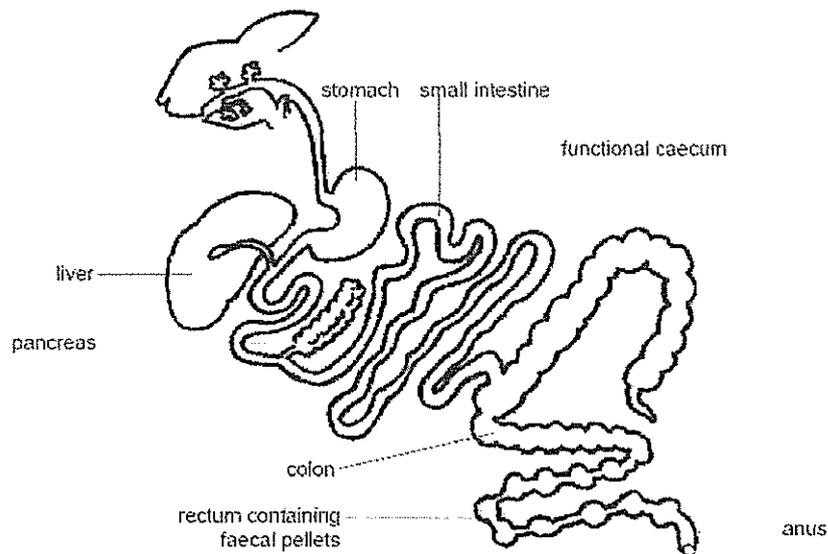
1. Mulut
2. Kerongkongan (Esophagus)
3. Lambung
4. Usus Halus (Small Intestine)
5. Usus Buntu/sekum
6. Kolon
7. Anus

Bagian-bagian sistim pencernaan kelinci tersebut diilustrasikan lebih jelas pada Gambar di bawah. Organ pelengkap fungsi pencernaan seperti halnya ternak lainnya adalah hati yang memproduksi garam empedu dan pankreas yang memproduksi enzim-enzim pankreas. Penjelasan mengenai bagian-bagian sistim pencernaan kelinci di bawah disadur dan dimodifikasi dari Finegan and Stephen, 2008.

#### **Mulut**

Makanan nabati yang merupakan jenis makanan kelinci dimakan dan masuk mulut melalui gerakan bibir. Di dalam mulut makanan dikunyah menggunakan gigi atas (4 buah) dan bawah (dua buah) atau disebut gigi *incisors*. Makanan kemudian menuju bagian belakang mulut dan dikunyah lebih lanjut oleh gigi di bagian belakang mulut (gigi *molar*) menjadi berukuran semakin kecil dan kemudian ditelan dan menuju esofagus. Di antara esofagus dan lambung terdapat

cardia yaitu tempat terdapatnya katup yang disebut cardiac sphincter.



Gambar 8. Sistem pencernaan kelinci (diadopsi dari Finegan and Stevens, 2008)

Katup ini berkembang sangat baik dan membuat kelinci tidak dapat memuntahkan makanan. Setelah melewati cardia, makanan masuk ke dalam lambung.

### **Lambung**

Seperti halnya monogastrik yang lain di sini terjadi pemecahan kimiawi makanan dengan adanya HCl dan pemecahan enzimatik dengan adanya Pepsin. Setelah mengalami pencernaan kimiawi dan enzimatik makanan menuju usus halus dan sebelumnya melalui pylorus yaitu batas antara lambung dan usus halus.

### **Usus Halus**

Seperti halnya monogastrik yang lain usus halus terdiri dari duodenum, jejunum, dan ileum. Penyerapan nutrisi dari makanan terjadi paling besar di sini. Di akhir bagian ileum terdapat pelebaran dan penebalan dinding dan daerah ini disebut sebagai Sacculus rotundus. Sacculus rotundus kaya akan folikel limfoid yang berperan dalam sistem kekebalan. Berikutnya digesta menuju ke kolon atau usus besar dan melewati "ileo-cecal valve" atau katup antara usus halus dan sekum.

### **Sekum**

Kontraksi yang terjadi di kolon atau berupa gerakan peristaltik mendorong digesta ke arah kolon dan menyerap air sebelum menuju ke anus. Pada saat yang sama gerakan peristaltik tersebut (anti peristaltik) memisahkan partikel yang berserat dan tidak berserat dan mendorong kembali partikel berserat ke arah ileo-cecal valve menuju sekum. Di dalam sekum partikel berserat mengalami fermentasi atau pencernaan alloenzimatis oleh mikroba (lihat sub bab Pencernaan Alloenzimatis di bawah). Terdapat berbagai jenis bakteri, ragi, dan jenis lainnya yang mampu mencerna serat kasar dari sayuran yang dimakan oleh kelinci. Tiga sampai delapan jam setelah makan, pelet bertekstur lunak dan dilapisi oleh mukus dan menyerupai kumpulan buah anggur kecil keluar dari anus. Pelet ini disebut **Cecotrope**. Secara

insting, kelinci akan memakan cecotrope begitu keluar dari anus. Saat memakan ini seakan akan kelinci sedang menjilati tubuh bagian belakang. Cecotrope setelah dimakan tidak dikunyah di dalam mulut sehingga lapisan mukus tersebut tetap utuh. Lapisan mukus yang utuh ini melindungi nutrisi dalam cecotrope dari asam lambung sampai akhirnya mencapai usus halus dan diserap disini.



Gambar 9. Cecotrope (diadopsi dari Finegan and Stevens, 2008)

Serat kasar dalam berbagai jenis pakan kelinci tidak saja penting untuk memenuhi berbagai nutrisi tetapi penting pula untuk menjaga kesehatan saluran pencernaannya. Pakan yang terlalu kaya karbohidrat dapat menyebabkan gangguan pencernaan kelinci.

**Latihan Soal :**

1. Gambarkan dan sebutkan bagian-bagian dari sistem pencernaan Kelinci

2. Jelaskan proses pencernaan makanan yang berlangsung di tiap bagian tersebut.
3. Apakah yang disebut cecotrope dan mengapa cecotrope dapat menjadi sumber nutrisi yang penting bagi kelinci

### **III. PENCERNAAN ENZIMATIS PADA MONOGASTRIK**

Dari penjelasan sistim pencernaan dan proses yang terjadi pada masing-masing segmen sistim pencernaan yang telah dijelaskan di atas terdapat beberapa jenis pemecahan yaitu pemecahan mekanis, kimia, dan enzimatis. Pemecahan mekanis dimulai dari mulut dimana terjadi pemecahan pakan menjadi partikel yang lebih kecil. Pemecahan secara kimiawi terjadi saat asam klorida disekresikan oleh sel-sel lambung ke lumen lambung dan menyebabkan makanan menjadi seperti bubur (chyme). Penambahan garam empedu yang membantu emulsifikasi lemak merupakan bagian dari pencernaan secara kimiawi. Proses pencernaan atau pemecahan molekul nutrien secara enzimatis pada monogastrik secara umum dimulai di mulut (kecuali ayam karena waktu transit sangat pendek dan langsung menuju ke tembolok untuk disimpan dan dilunakkan), kemudian di lambung, dan terakhir di usus halus.

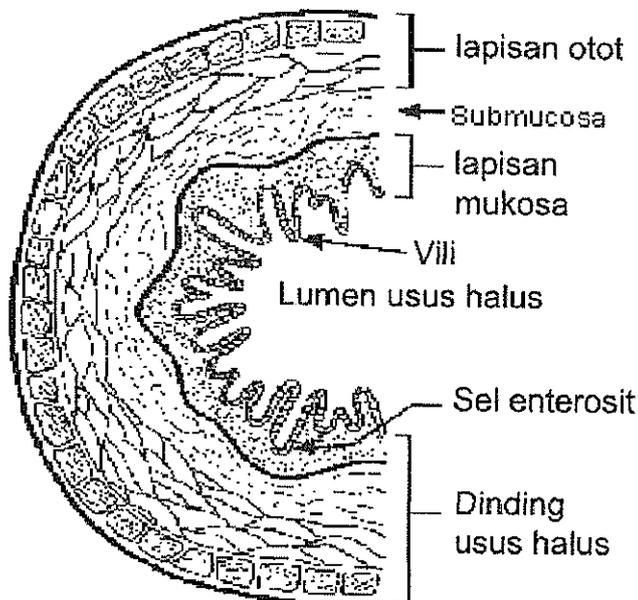
Di mulut molekul besar karbohidrat dipecah menjadi polisakarida oleh enzim amilase, di lambung molekul besar protein dipecah menjadi polipeptida oleh enzim pepsin. Di usus halus pemecahan karbohidrat, lemak dan protein disempurnakan menjadi monomernya oleh enzim-enzim yang dihasilkan oleh pankreas dan usus halus sendiri. Pemecahan oleh enzim dari pankreas menghasilkan oligomer

yang lebih kecil dan oligomer ini dipecah lebih lanjut menjadi monomer oleh enzim dari sel enterosit di mukosa usus halus ("brush border enzymes", lihat Gambar 8 dibawah dan Tabel 2,3, dan 4).

Enzim-enzim yang diproduksi oleh pankreas dikeluarkan dalam bentuk **enzim tidak aktif** yang disebut **proenzim**. Proenzim ini harus diaktifkan di dalam lumen usus halus oleh enzim yang dikeluarkan oleh usus halus yang disebut enterokinase. Enterokinase masih melekat dengan enterosit dan dilepas ke lumen usus halus oleh adanya garam empedu dan sekresi dari pankreas (enzim). Enterokinase memecah (menghidrolisis) tripsinogen menjadi tripsin yang aktif. Tripsin kemudian mengkatalisis hidrolisis berbagai proenzim dalam usus halus yang berasal dari pankreas yaitu chymotripsinogen, prokarboksipeptidase, proelastase dan profosfolipase. Enzim lainnya yaitu amilase, deoxirobonuklease, ribonuklease, dan lipase tidak memerlukan pengaktifan melalui pemecahan oleh tripsin.

Khusus untuk pemecahan lemak, diperlukan garam empedu yang dihasilkan oleh hati. Garam empedu berfungsi mengemulsifikasi lemak menjadi butiran kecil yang tersuspensi merata dalam digesta sehingga lebih mudah dipecah oleh enzim lipase. Hasil pemecahan lipid oleh lipase menghasilkan asam lemak dan gliserol (Tabel 3), dan kemudian diserap oleh sel-sel enterosit pada dinding usus halus. Proses pemecahan nutrien secara enzimatis di

berbagai bagian sistim pencernaan diringkas dalam bentuk tabel 2, 3, dan 4 dibawah.



Gambar 10. Penampang melintang usus halus dan bagian-bagiannya. Sel enterosit pada mukosa usus halus merupakan sel yang melakukan penyerapan monomer dan menghasilkan enzim "brush border". (diadopsi dari Rowan *et al.*, 1997))

Hasil pemecahan akhir lemak trigliserida yaitu asam lemak dan gliserol dan garam empedu membentuk butiran yang disebut **misel** ("micelle"). Bagian misel sebelah dalam yang bersifat hidrofobik menarik asam-asam lemak bebas, kolesterol ester, karotenoid, dan vitamin larut lemak. Misel mempermudah penyerapan berbagai jenis hasil pemecahan

lemak oleh sel enterosit (sel epitel usus halus). Asam lemak bebas sebagian langsung diangkut oleh darah, sedangkan sisa asam lemak dan gliserol disatukan lagi menjadi trigliserida dan dikemas dalam bentuk lipoprotein yang disebut **chylomikron**. Di ayam atau unggas chylomicron ini diangkut melalui pembuluh darah portal, sehingga disebut **portomikron**.

Tabel 2. Pencernaan Karbohidrat secara enzimatik dalam sistem pencernaan monogastrik (modifikasi dari Lehninger, 1986 dan Klasing, 2000)

Tempat	Enzim	Produk
Mulut / paruh Pada paruh tidak terjadi pencernaan enzimatik karena pakan melalui paruh sangat singkat	Amilase saliva	Pati (Amilosa , amilopektin ) , Glikogen
Usus halus	Amilase pankreas	Oligosakarida
Usus halus	enzim brush border : Dekstrinase , glucoamilase	Oligosakarida
	Maltase Sukrase	Maltosa , sukrosa Glukosa , fruktosa

Catatan :

Monomer gula yaitu glukosa, fruktosa, galaktosa diserap oleh sel enterosit di mukosa usus. Pemecahan gula susu yaitu laktosa dikatalisis oleh enzim laktase terjadi di usus halus pada ternak yang menyusui. Pada ayam kemampuan memecah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa belum diketahui.

Tabel 3. Pencernaan Lemak secara enzimatik dalam sistem pencernaan monogastrik (modifikasi dari Klasing, 2000)

Tempat	Enzim	Produk
Mulut	-	-
Usus halus	Enzim Pankreas :	Lemak :
	1. Lipase	Trigliserida,
	2. Fosfolipase	Fosfolipid,
	3. Kolesterol esterase	Cholesterol ester,
	4. Lipase & Esterase	Lilin
		1
		2, 5
		3
		4
	Enzim brush border:	Monogliserida
	5. Fosfatase	+ 2 asam lemak
		Alkohol
		Asam Lemak
		Fosfat
		Cholesterol
		Asam Lemak
		Monohidrat alkohol
		Asam Lemak

Keterangan :

Angka di sebelah panah menunjukkan enzim yang mengkatalisis reaksi tersebut

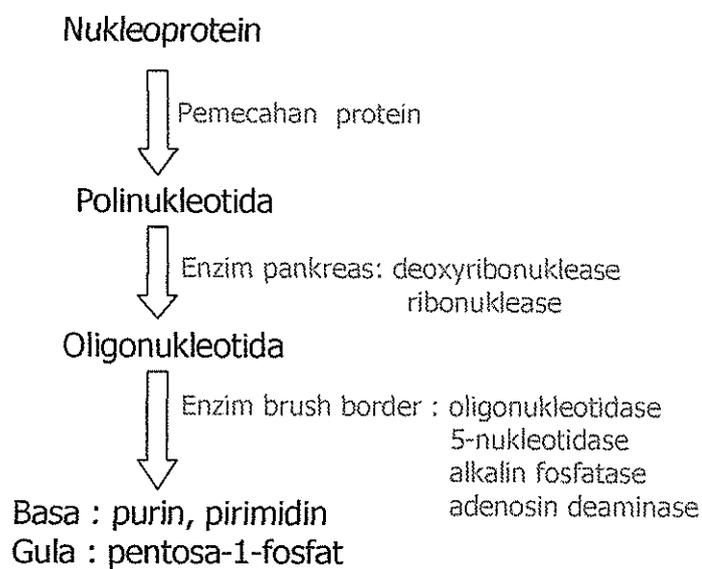
Fosfolipid dipecah oleh enzim fosfolipase dari pankreas dan fosfatase (memecah ikatan fosfat) dari usus halus (2,5)

Catatan : lilin ditemukan pada bahan pakan dari binatang invertebrata, plankton, dan buah. Pada burung yang makanannya buah mampu memecah lilin menjadi sumber energi, namun ayam tidak dapat menggunakan lilin sebagai sumber energi.

Tabel 4. Pencernaan protein secara enzimatik dalam sistem pencernaan monogastrik (modifikasi dari Lehninger 1986 dan Klasing, 2000)

Tempat	Enzim	Produk
Lambung atau proventrikulus dan gizzard pada ayam	Pepsin (dg adanya HCl/ pH 2-3)	Protein ↓ Polipeptida besar
Usus halus	Enzim pankreas : trypsin chymotripsin Carboxypeptidase A & B	↓ Oligopeptida dan peptida kecil
Usus halus	Enzim brush border : aminopeptidase carboxypeptidase dipeptidase	↓ asam-asam amino, dipeptida, tripeptida
↓ <b>Diserap di usus halus</b>		

Pemecahan nukleoprotein yaitu DNA dan RNA yang terdapat dalam inti sel tanaman dan hewan yang menjadi bahan pakan dipecah oleh enzim dari pankreas yaitu deoxyribonuklease menjadi nukleotida, dan nukleotida dipecah oleh enzim brush border yaitu oligonukleotidase, 5-nukleotidase, alkalin fosfatase, dan adenosin deaminase menjadi monomernya yaitu basa purin, pirimidin dan gula pentosa-1-fosfat. Proses pemecahan yang terjadi di usus halus ini digambarkan dalam Gambar 9 di bawah.



Gambar 11. Tahapan pemecahan nukleoprotein (asam nukleat yang berasosiasi dengan protein) di usus halus (modifikasi dari Klasing, 2000).

## **LATIHAN SOAL**

1. Jelaskan proses pemecahan mekanis dan kimia pada sistim pencernaan monogastrik!
2. Jelaskan pemecahan enzimatis karbohidrat pada monogastrik!
3. Jelaskan pemecahan enzimatis lemak pada monogastrik!
4. Jelaskan pemecahan enzimatis protein pada monogastrik!
5. Jelaskan pemecahan enzimatis nukleotida/nukleoprotein pada monogastrik!

#### IV. PENCERNAAN OLEH MIKROBA (PENCERNAAN ALLOENZIMATIS) PADA MONOGASTRIK

Pencernaan yang dilakukan oleh mikroba atau disebut pencernaan alloenzimatis pada ternak monogastrik bervariasi tergantung dari jenis ternaknya (Klasing, 2000). Jenis nutrisi yang dicerna oleh mikroba adalah selulosa, pektin dan hemiselulosa. Pencernaan oleh mikroba secara umum terjadi setelah usus halus. Hal ini secara otomatis membawa pakan mengalami proses pencernaan secara mekanis, kimia dan enzimatik seperti yang telah disebutkan di atas. Dengan demikian nilai nutrisi dari berbagai jenis pakan yang mudah dicerna seperti biji-bijian atau sereal dan bahan pakan hewani dioptimalkan. Di lain pihak bahan pakan nabati atau hijauan tidak dapat dicerna karena tidak adanya enzim yang dapat memecah selulosa, pektin dan hemiselulosa dalam usus halus.

Pencernaan oleh mikroba atau fermentasi umumnya terjadi di **sekum**. Sekum memberikan lingkungan yang relatif stabil bagi berbagai jenis mikroba karena merupakan saluran buntu sehingga digesta dapat tinggal cukup lama. Tidak seperti usus halus dan usus besar dimana digesta terus bergerak dan didorong karena adanya gerak peristaltik usus. Pada ayam mikroba yang dominan adalah bakteri obligat anaerob dengan jumlah sekitar  $10^{11}$  per gram berat basah. Ditemukan pula bakteri gram positif, gram negatif,

dan cocci. Pada ayam, hasil fermentasi serat kasar dalam sekum berkontribusi sekitar 3-4% dari kebutuhan energi (Jorgensen et al., 1996).

Hasil pemecahan serat di sekum babi dan usus besar adalah VFA (volatile fatty acid) berupa acetat, propionat, butirat, iso butirat, valerat dan isovalerat (Shim et al., 2005). Pada kuda, pakan yang tidak tercerna dalam usus halus menuju sekum dan mengalami fermentasi seperti halnya dalam rumen ternak ruminansia. Fermentasi ini menghasilkan VFA dalam jumlah banyak yang diabsorpsi di sekum dan kolon, dan didistribusikan ke seluruh tubuh sebagai sumber energi. Namun tidak seperti di rumen, mikroba sebagai sumber protein sel tunggal di sekum kuda tidak dimanfaatkan karena tidak adanya sistim pencernaan enzimatik dalam sekum seperti halnya yang terjadi di usus halus.

**LATIHAN SOAL :**

Jelaskan mengenai pencernaan alloenzimatis pada monogastrik.

## V. METABOLISME NUTRIEN

Nutrien dari bahan pakan yang telah dicerna melalui saluran pencernaan dan menghasilkan monomer yang kemudian diserap dan diangkut oleh darah akan mengalami metabolisme di dalam sel berbagai jaringan. Metabolisme ini terdiri dari 2 jenis yaitu katabolisme atau pemecahan dan anabolisme atau sintesis. Katabolisme secara umum adalah proses pemecahan untuk ekstraksi energi yang terkandung dalam masing-masing metabolit (glukosa, asam lemak, atau asam amino) sedangkan sintesis atau pembentukan adalah pembentukan polimer besar dari monomer masing-masing. Monomer glukosa untuk membentuk polimer berupa karbohidrat, asam lemak untuk membentuk trigliserida, dan asam amino untuk membentuk polimer berupa protein.

### **Glukosa**

Sebagian besar hasil pemecahan karbohidrat yang berasal dari bahan pakan nabati adalah glukosa (Tabel 2) yaitu jenis gula dengan 6 buah atom karbon dan termasuk heksosa. Glukosa diangkut oleh darah dan setelah makan kadar glukosa darah akan meningkat. Glukosa darah ini dengan cepat diambil oleh jaringan tubuh terutama usus halus dan hati. Glukosa merupakan sumber energi penting yang dapat diangkut antar jaringan. Kadar glukosa darah pada unggas dipertahankan konstan, dan kontrol kadar glukosa darah ini

diperankan oleh berbagai hormon antara lain insulin, glucagon, polipeptida pankreas, corticosteron, dan tiroksin. Kadar gula darah dikontrol agar segera normal setelah makan dan saat kadarnya dalam darah turun dari normal ditingkatkan melalui proses glukoneogenesis (sintesis baru glukosa). Glukosa darah digunakan untuk sumber energi melalui oksidasi, sintesis glikogen, sintesis asam lemak, dan suplai rantai karbon untuk sintesis asam amino non-esensial, vitamin C, dan metabolit lainnya. Fruktosa dapat digunakan sebagai sumber energi sebagaimana halnya glukosa. Fruktosa dapat dipecah atau dioksidasi secara efisien di hati dan merupakan substrat yang baik untuk sintesis asam lemak (Klasing, 2000). Oksidasi glukosa mengikuti jalur glikolisis (Gambar 12) dimana glukosa diubah menjadi piruvat dan kemudian Acetyl CoA yang memasuki siklus Krebs. Oksidasi satu buah molekul glukosa melalui jalur glikolisis dan siklus Krebs menghasilkan 36 buah molekul ATP.

### **Lemak**

Hasil pencernaan lemak netral atau trigliserida berupa asam lemak dan gliserol, di dalam sel enterosit akan disatukan kembali menjadi trigliserida dan dikemas dalam bentuk portomikron. Portomikron adalah lipoprotein yaitu lipid yang berasosiasi dengan protein sehingga lipid yang bersifat tidak larut air dengan adanya lapisan protein dapat tersuspensikan dalam darah yang bersifat *aqueous*. Asam lemak bebas

dilarutkan dengan berikatan dengan protein dalam sel atau berikatan dengan albumin dalam cairan tubuh. Pada unggas terdapat 4 jenis lipoprotein darah yaitu portomikron, very low density lipoprotein (VLDL), low density lipoprotein (LDL), dan high density lipoprotein (HDL). Seperti telah disinggung di atas, portomikron disintesis setelah lemak dicerna di usus halus dan dibawa ke hati. Di hati terjadi sintesis VLDL yang kaya trigliserida dan kemudian disekresikan ke dalam darah. Trigliserida dari VLDL diambil oleh berbagai jaringan untuk dipakai sebagai sumber energi atau disimpan. Setelah trigliserida diambil dari VLDL, sisanya diubah dalam darah menjadi LDL yang kaya akan kolesterol. Kolesterol kemudian diambil oleh jaringan dan dipakai oleh sel-sel untuk berbagai kebutuhan seperti membentuk membran sel, bahan baku hormon steroid dan garam empedu atau disimpan dalam bentuk ester kolesterol.

Asam-asam lemak bebas yang dibawa oleh darah atau disimpan dalam bentuk trigliserida dalam sel dapat digunakan sebagai sumber energi. Oksidasi asam lemak menghasilkan Acetyl CoA yang kemudian memasuki jalur siklus Krebs dan menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Gliserol dari hasil pemecahan trigliserida juga memasuki jalur glikolisis melalui pembentukan Acetyl CoA dan memasuki siklus Krebs (Gambar 12).

### **Asam Amino**

Hasil pemecahan protein menjadi monomer dan peptida pendek diabsorpsi dari lumen usus halus sebagai asam amino bebas dan peptida kecil (di atau tripeptida, lihat Tabel 4). Peptida dipecah dalam sel enterosit dan asam amino bebas diangkut melalui darah menuju ke hati sebagai pusat metabolisme dan jalur interkonversi berbagai senyawa nutrisi. Asam-asam amino di hati digunakan untuk mendukung aktifitas hati seperti glukoneogenesis, oksidasi, sintesis protein-protein hati dsb. Asam amino digunakan oleh berbagai jaringan tubuh sebagai bahan baku atau prekursor untuk membentuk berbagai jenis protein tubuh seperti hemoglobin darah, albumin serum darah, actin dan myosin otot, insulin dan hormon pertumbuhan yang memiliki sifat mengatur metabolisme, dsb.

Sintesis protein di dalam sel-sel tubuh terjadi di organelle sel yang disebut ribosom. Kode atau sandi pembuatan protein tertera atau terkandung di dalam senyawa organik yang disebut sebagai DNA atau singkatan dari bahasa Inggris "Deoxyribo Nucleic Acid". DNA diterjemahkan melalui 3 tahapan yaitu replikasi, transkripsi, dan translasi. Pada saat translasi inilah terjadi sintesis protein. Sintesis protein melalui 5 tahapan yaitu :

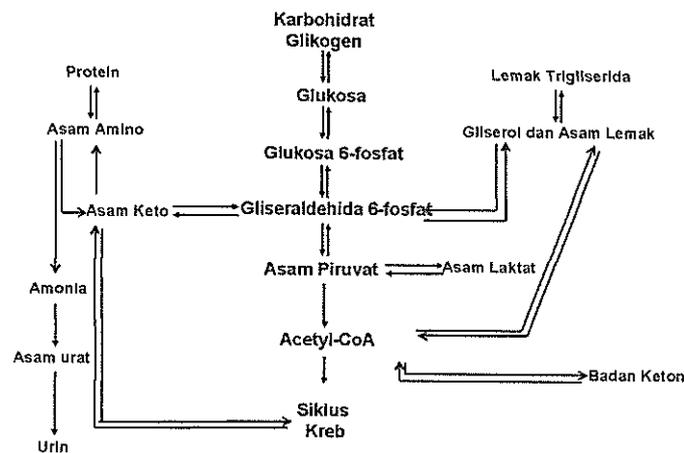
1. Pengaktifan asam amino
2. Inisiasi (dimulainya) pembuatan rantai polipeptida

3. Perpanjangan asam amino melalui ikatan peptida (ingat bahasan sebelumnya mengenai ikatan peptida)
4. Penyelesaian (terminasi) dan pelepasan rantai polipeptida
5. Pelipatan polipeptida (untuk membentuk struktur tiga dimensi dan pengolahan pasca ترجمahan (seperti penambahan gugus fosfat atau disebut fosforilasi, penambahan gugus karbohidrat atau glikosilasi).

Sintesis protein memerlukan energi yang cukup besar dan fungsinya sangat vital. Fungsi yang jelas telah kita pelajari di depan adalah sebagai enzim yang mengkatalisis berbagai reaksi pemecahan di saluran pencernaan. Oleh karena itu protein dalam sel sangat berharga dan tidak dipecah kecuali pada kondisi tertentu (Nelson and Cox, 2005). Kondisi tersebut yaitu :

1. Terdapat kelebihan protein terhadap kebutuhan tubuh untuk sintesis protein.
2. Terjadi kelaparan sehingga protein dalam sel digunakan sebagai bahan bakar
3. Proses normal degradasi dan sintesis protein dalam sel yang dikenal dengan istilah "protein turn over". Misalnya sel darah merah memiliki umur terbatas dan ketika sudah rusak harus dipecah agar tidak meracuni tubuh. Hasil pemecahannya berupa asam amino dan mineral Fe kemudian dipakai kembali untuk sintesis hemoglobin baru yang merupakan komponen sel darah merah.

Hasil pemecahan protein sebagai sumber energi terdiri dari 2 jalur yaitu rantai karbon asam amino memasuki siklus Kreb. Bagian dari gugus amin asam amino dibuang menjadi urin melalui siklus Urea (Gambar 12). Jalur interkonversi karbohidrat atau gula, lemak trigliserida, dan protein ditunjukkan pada Gambar 12. Kelebihan Acetyl CoA yang berasal dari karbohidrat atau gula ataupun dari protein dapat disimpan dalam bentuk lemak trigliserida (perhatikan Gambar 12. Panah dua arah menunjukkan jalur tersebut dapat berjalan dua arah).



Gambar 12. Jalur interkonversi karbohidrat, lemak, dan protein.  
(diadopsi dari Lehninger, 1986 dan Suttie, 1977)

**Latihan:**

1. Jelaskan jalur metabolisme glukosa
2. Jelaskan jalur metabolisme lemak trigliserida
3. Jelaskan jalur metabolisme asam amino
4. Jelaskan maksud Gambar 12

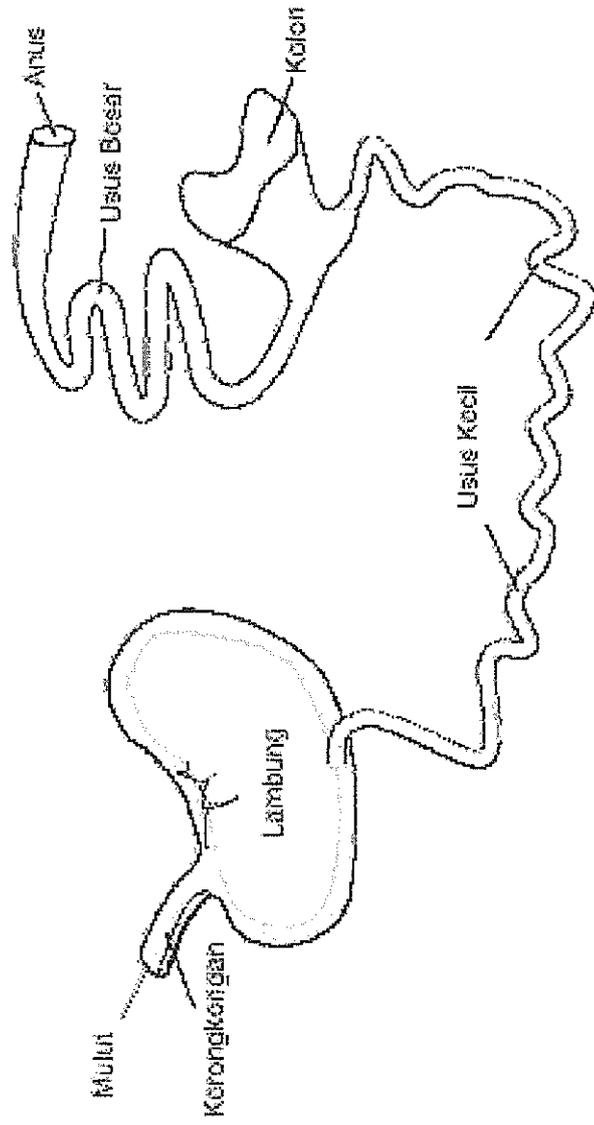
## VI. PUSTAKA / RUJUKAN

- Basic Horse Nutrition. Equine Section, Department of Animal Sciences. <http://www.uky.edu/Ag/AnimalSciences/pubs/asc114.pdf>
- Bowen, R. 1996. Digestive Function of Horses. <http://www.vivo.colostate.edu/hbooks/pathphys/digestion/herbivores/horses.html>.
- Cooperative Extension Service / South Dakota State University and University of Nebraska / U.S. Department of Agriculture.
- Equine Nutrition. [http://en.wikipedia.org/wiki/Equine\\_nutrition](http://en.wikipedia.org/wiki/Equine_nutrition)
- Finegan, E.r J. and Stevens, C. E. 2008. The Digestive System Of Vertebrates Mammals: Rabbit. University of Guelph, Ontario, Canada and Department of Molecular Biomedical Sciences, College of Veterinary Medicine, North Carolina State University, USA. <http://www.cnsweb.org/digestvertebrates/WWWEdStevensMammalRabbit.html>
- Horse Nutrition. Bulletin 762-00. Ohio State Univ. Extension. [http://ohioline.osu.edu/b762/b762\\_5.html](http://ohioline.osu.edu/b762/b762_5.html)
- Jorgenson, H., Zhao, X., Knudsen, K.E., and Eggum, B.O. 1996. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. British J. of Nut. 75: 379-395.
- Klasing, K. C. 2000. Comparative Avian Nutrition. CABI Publishing, New York.

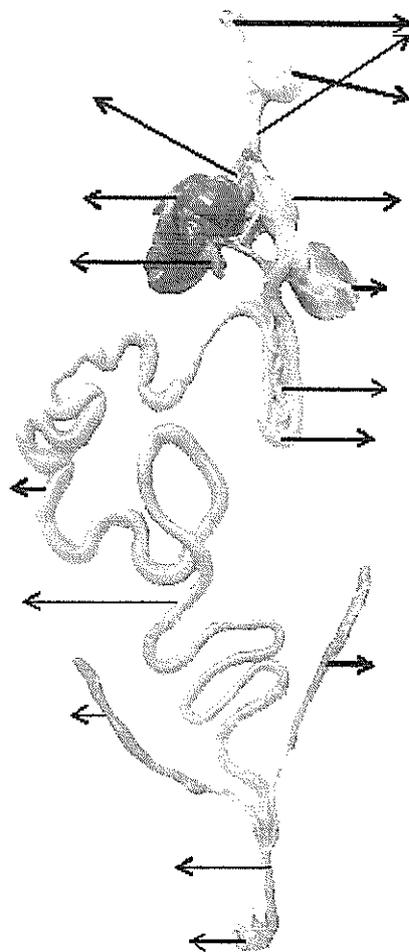
- Lehninger, A. L. 1986. Lehninger Principles of Biochemistry. Worth Publisher, Inc. New York.
- Rowan, J. P., K. L. Durrnce, G. E. Combs and L. Z. Fisher. 1997. The digestive tract of the pig. IFAS exstension service Univ. of Florida. USA.
- Shim, S.B., 2005. Effects Of Prebiotics, Probiotics and Synbiotics In The Diet Of Young Pigs. Ph.D. Thesis. Animal Nutrition Group, Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands
- Suttie, J. W. 1977. Introduction to Biochemistry. Hold-Saunders International Editions. New York.
- Swine nutrition guide. Nebraska and South Dakota. <http://ars.sdstate.edu/swineext/SwineNutritionGuide.pdf>
- Wright, B. 1999. Equine Digestive Tract Structure and Function. Minister of Agriculture, Food and Rural Affair. Ontario. Canada.

## **LAMPIRAN TRANSPARANSI**

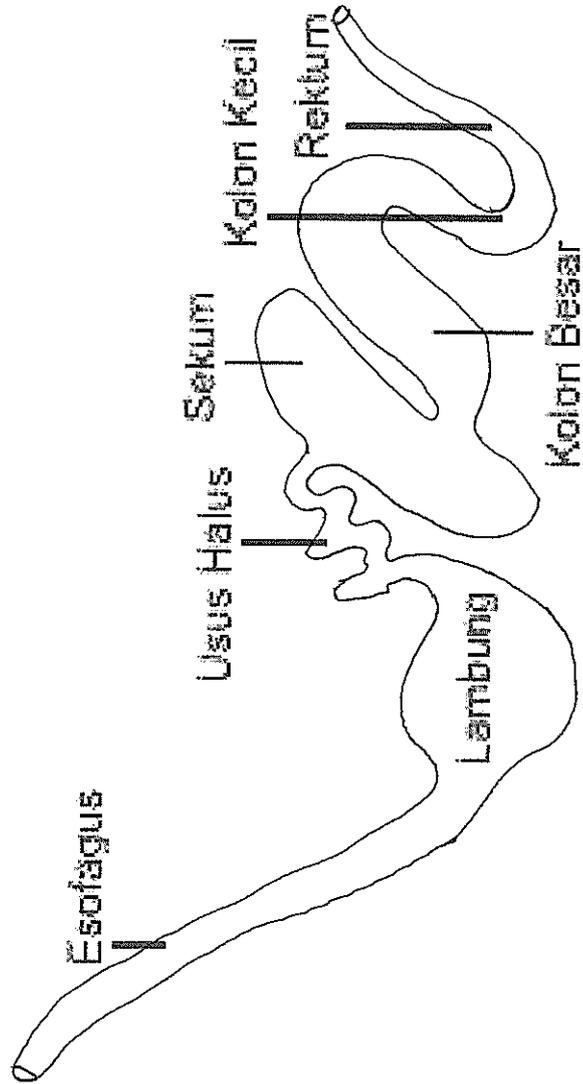
Babi



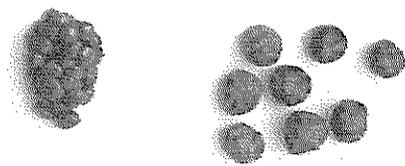
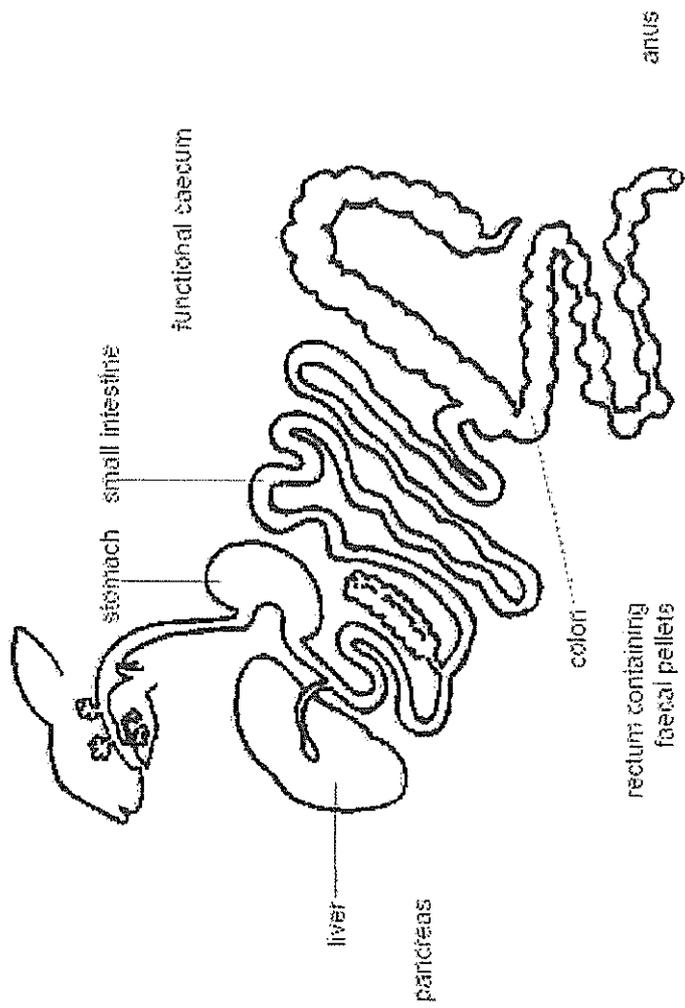
Ayam



Kuda



Kelinci



Tabel 2. Pencernaan Karbohidrat secara enzimatik dalam sistim pencernaan monogastrik (modifikasi dari Lehninger, 1986 dan Klasing, 2000)

Tempat	Enzim	Produk
Mulut / paruh Pada paruh tidak terjadi pencernaan enzimatik karena pakan melalui paruh sangat singkat	Amilase saliva	Pati ( Amilosa , amilopektin ), Glikogen
Usus halus	Amilase pankreas	Oligosakarida
Usus halus	enzim brush border : Dekstrinase , glukoamilase	Oligosakarida
	Maltase Sukrase	Maltosa , sukrosa Glukosa , fruktosa

Catatan :

Monomer gula yaitu glukosa, fruktosa, galaktosa diserap oleh sel enterosit di mukosa usus. Pemecahan gula susu yaitu laktosa dikatalisis oleh enzim laktase terjadi di usus halus pada ternak yang menyusui. Pada ayam kemampuan memecah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa belum diketahui.

Tabel 3. Pencernaan Lemak secara enzimatis dalam sistim pencernaan monogastrik (modifikasi dari Klasing, 2000)

Tempat	Enzim	Produk
Mulut	-	-
Usus halus	Enzim Pankreas :	Lemak :
	1. Lipase	Trigliserida,
	2. Fosfolipase	Fosfolipid,
	3. Kolesterol esterase	Cholesterol ester,
	4. Lipase & Esterase	Lilin
		1
		2, 5
		3
		4
	Enzim brush border:	Monogliserida
	5. Fosfatase	+ 2 asam lemak
		Alkohol
		Asam Lemak
		Fosfat
		Cholesterol
		Asam Lemak
		Monohidrat alkohol
		Asam Lemak

Keterangan :

Angka di sebelah panah menunjukkan enzim yang mengkatalisis reaksi tersebut

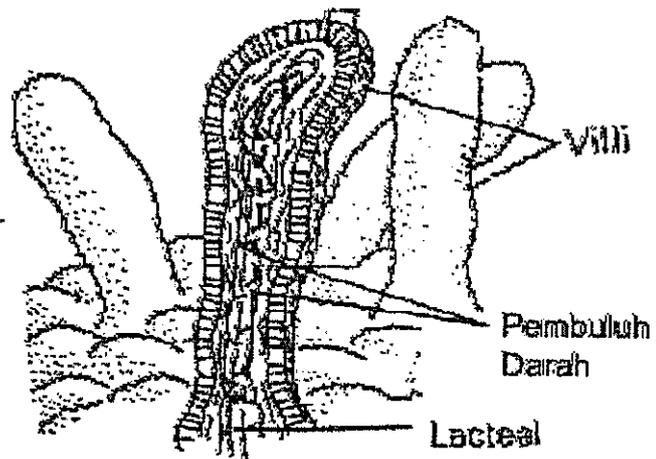
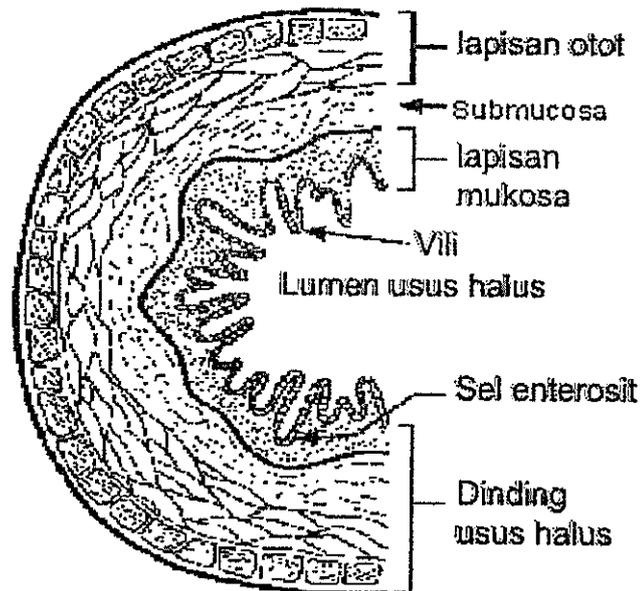
Fosfolipid dipecah oleh enzim fosfolipase dari pankreas dan fosfatase (memecah ikatan fosfat) dari usus halus (2,5)

Catatan : lilin ditemukan pada bahan pakan dari binatang invertebrata, plankton, dan buah. Pada burung yang makanannya buah mampu memecah lilin menjadi sumber energi, namun ayam tidak dapat menggunakan lilin sebagai sumber energi.

Tabel 4. Pencernaan protein secara enzimatik dalam sistem pencernaan monogastrik (modifikasi dari Lehninger 1986 dan Klasing, 2000)

Tempat	Enzim	Produk
Lambung atau proventrikulus dan gizzard pada ayam	Pepsin (dg adanya HCl/ pH 2-3)	Protein ↓ - Polipeptida besar
Usus halus	Enzim pankreas : trypsin chymotripsin Carboxypeptidase A & B	↓ Oligopeptida dan peptida kecil
Usus halus	Enzim brush border : aminopeptidase carboxypeptidase dipeptidase	↓ asam-asam amino, dipeptida, tripeptida
		↓ Diserap di usus halus

## Penyerapan dan Transport melalui pembuluh darah



Metabolisme dan interkonversi nutrisi

