

## BAB II

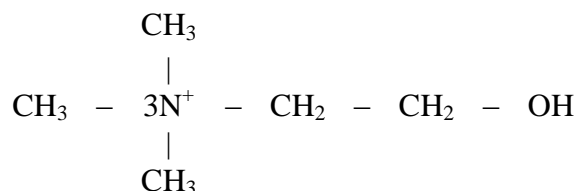
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kolin Klorida

Kolin termasuk *feed additive* karena kolin berfungsi dalam membantu metabolisme sel dan metabolisme energi, seperti lemak yang dapat menunjang produktivitas ternak (Sumiati *et al.*, 2006). *Feed additive* adalah suatu bahan atau kombinasi bahan yang ditambahkan dalam kuantitas kecil dalam pakan dasar untuk memenuhi kebutuhan khusus. Tujuan penambahan *additive* adalah untuk meningkatkan pertumbuhan atau merangsang produksi (Hartadi *et. al.*, 1991). Kolin digolongkan ke dalam vitamin B kompleks karena memiliki sifat dan fungsi mirip dengan vitamin atau dapat mendorong aktivitas vitamin dan secara esensial membantu fungsi sel (Chesworth *et al.*, 1998; Zeizel dan Szuhaj, 1998). Kolin merupakan fosfatidilkolin, bagian dari fosfolipid utama dari membran dan lipoprotein sel. Kolin berperan penting dalam transport asam lemak dalam darah yang menyebabkan ketersediaan lipoprotein trigliserida lebih banyak sehingga dapat mendukung kelenjar susu dalam mensintesis lemak susu (Zeizel dan da Costa, 2009).

Kolin adalah  $\beta$ -hidroksietil trimetil amonium dengan rumus  $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+(\text{CH}_2)_2\text{OH}$  dari proses trimetilase, bermuatan positif, berstruktur kuartener, dan amina jenuh yang menyediakan prekursor untuk berbagai metabolit. Bentuk metabolit kolin berupa kolin bebas, fosfokolin, gliserofosfokolin, fosfatidilkolin, lisofosfatidilkolin, betain, dan spingomyelin

(Zeizel *et al.*, 2003; Etcheverry, 2014). Struktur dari kolin klorida menurut Zeizel dan da Costa (2009) diilustrasikan pada Ilustrasi 1.



Ilustrasi 1. Struktur Kolin Klorida

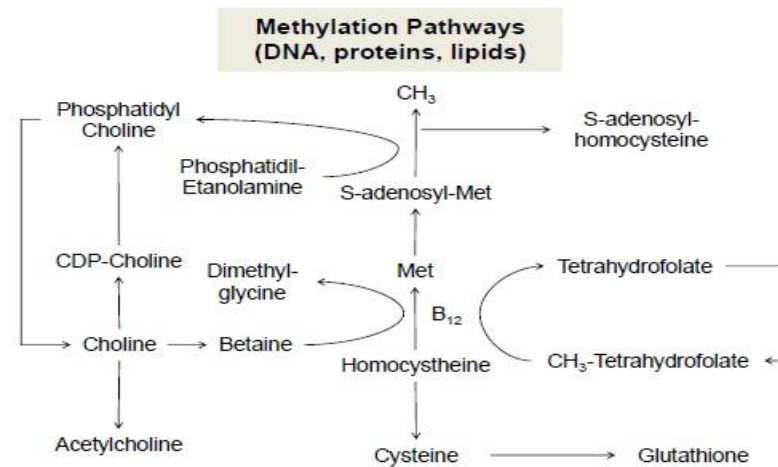
Bentuk kristal kolin tidak berwarna, higroskopis, dan bersifat basa. Kolin mudah larut dalam air, metilakohol, formaldehida, dan etilalkohol, serta sedikit larut dalam amilalkohol, aseton, dan kloroform. Kolin tidak larut dalam eter, benzena, karbondisulfida, dan karbontetraklorida dan dapat berikatan dengan asam membentuk garam seperti klorida (Zeizel dan Szuhaj, 1998; Zeizel dan Holmes, 2011). Fungsi fisiologis kolin antara lain 1) biosintesis dan metabolisme lemak 2) formasi membran sel 3) neurotransmisi 4) metabolisme transmetilasi dan metabolisme betain (Etcheverry, 2014).

### 2.1.1. Metabolisme kolin

Kolin klorida *corn-cob* lolos dari degradasi mikroba di rumen dan retikulum kemudian memasuki omasum dimana terjadi proses penyerapan air dan kolin klorida sudah terpisah dari *corn-cob* kemudian memasuki abomasum dan selanjutnya ke usus halus untuk diserap. Penyerapan kolin terjadi di usus halus terjadi melalui tranpor *carier-mediet dependent*. Peningkatan ketersediaan kolin di usus halus menyebabkan peningkatan suplai kolin oleh hati. Kolin ditranfer

melalui pembuluh darah untuk dimetabolisme di dalam hati. Metabolisme utama kolin adalah jalur *cystidine diphosphate-choline* (CDP-choline), yaitu proses konversi kolin menjadi donor metil betain untuk sintesis fosfolipid (fosfatidilkolin) (Baldi dan Pinotti, 2006). Grup metil lebih banyak disintesis secara *de novo* dibandingkan melalui katabolisme dan terjadi melalui sistem tetrahidrofolat (THF) pada ruminansia (Pinotti *et al.*, 2002). Sintesis *de novo* kolin merupakan lanjutan dari metilasi dari fosfatidil-etanolamina dan grup metil disuplai oleh S-adenosil-metionin (SAM) (Mason, 2003). Formasi betain dari kolin adalah bersifat irreversibel. Betain dioksidasi menjadi homosistein dan kembali membentuk metionin melalui homosistein betain metil-transferase (BHMT). Proses dimetilasi betain menghasilkan dimetilglisin (DMG) yang mengindikasikan aliran grup metil dari betain ke homosistein (Awwad *et al.*, 2014).

Kolin memiliki peran utama dalam metabolisme karbon tunggal termasuk ke dalam jalur kompleks reaksi biokimia (Hartwell *et al.*, 2000). Metionin berperan secara langsung dalam menyediakan suplai dan profil asam amino dalam pembentukan lipoprotein (VLDL) yang diabsorpsi dari usus halus (Pinotti *et al.*, 2004<sup>a</sup>). Kolin dapat disintesis secara endogen oleh enzim fosfatidiletanolamin N-metiltransferase (PEMT) sebagai katalisator proses metilasi dari fosfatidiletanolamin menjadi fosfatidilkolin oleh tranfer 3 grup metil dari S-adenosilmetionin (Etcheverry, 2014). Jalur metilasi kolin oleh Santos dan Lima (2009) ditampilkan pada Ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Jalur Metilasi Kolin

Defisiensi kolin dapat menyebabkan infiltrasi lemak di hati, nekrosis atau lesi pendarahan hati, ginjal, dan persendian (Chesworth *et al.*, 1998). Hati berlemak muncul karena triasilgliserol berlebihan yang seharusnya terbungkus VLDL yang dikeluarkan dari hati. Peran fosfatidilkolin adalah untuk pembentukan VLDL. Bagian kolin dari fosfatidilkolin merupakan komponen aktif pencegah kerusakan hati. Agen lipotropik merupakan sebutan untuk menggambarkan kolin dan substansi lain yang dapat mencegah deposisi lemak dalam hati (Shils *et al.*, 2005).

### 2.1.2. Kolin pada sapi perah

Kolin menjadi kebutuhan penting bagi ternak sapi perah laktasi karena ketersediaan kolin dari pakan tidak setara dengan penggunaan kolin untuk *out put* produksi susu dan lemak susu karena kapasitas hati untuk oksidasi asam lemak yang dikeluarkan berupa VLDL sangat rendah. Hal tersebut berpotensi terjadinya akumulasi lemak pada hati (Zom *et al.*, 2011). Kolin merupakan bagian sistem

koenzim untuk siklus asam sitrat dan glikolisis serta terlibat dalam pembentukan zat kaya energi *adenosin triphosphate* (ATP) yang diperlukan dalam metabolisme sel. Kolin berperan penting dalam pengaturan konversi karbohidrat atau lemak menjadi CO<sub>2</sub> dan ATP (Sumardjo, 2009). Kolin di susu sapi perah berbentuk kolin bebas, gliserofosfokolin, dan fosfatidilkolin yang terdapat pada membran fosfolipid globula lemak susu (Piepenbrink dan Overton, 2003). Kolin disuplai oleh tubuh ternak sendiri melalui metabolisme grup metil (masuk dalam jalur metionin dan vitamin B) dan apabila kebutuhan kolin masih belum mencukupi maka kolin disintesis secara *de novo* (melibatkan reaksi kompleks sistem karbon tunggal), sehingga kolin menjadi hal penting yang dibutuhkan sapi perah untuk menjaga keseimbangan energi metabolisme selain membantu metabolisme lemak (Baldi dan Pinotti, 2006).

Metabolisme utama kolin sangat terbatas pada sapi perah karena sebagian besar kolin terdegradasi di dalam rumen (Sharma dan Erdman, 1989) sehingga kolin harus diproteksi untuk meningkatkan penyerapan kolin sebagai nutrisi sapi perah. Produk kolin berupa *Rumen Protected Choline* (RPC), yaitu produk kolin terproteksi atau kolin klorida (mengandung 25% - 50% kolin klorida) atau produk kolin klorida 60% *corn-cob*, yaitu produk kandungan kolin klorida 60 % dengan campuran *corn-cob* 40% sebagai *carier* supaya kolin lolos dari degradasi rumen. Produk tersebut dapat lolos dari rumen 50 - 85%. *Corn-cob* atau tepung janggel jagung yang merupakan tinggi serat dengan bentuk molekul kecil diharapkan mampu menurunkan degradabilitas kolin klorida oleh mikroba di rumen dan

retikulum sehingga kolin klorida dapat diserap oleh usus halus (Piepenbrink dan Overton, 2003; Xu *et al.*, 2006; Baldi dan Pinotti, 2006; Chung *et al.*, 2009).

Peran kolin pada sapi perah adalah membantu metabolime lemak dan grup metil, transport lemak, dan sekresi lemak susu (Piepenbrink dan Overton, 2003; Pinotti *et al.*, 2004<sup>b</sup>). Kolin dapat meningkatkan kadar lemak plasma yang mengindikasikan mobilisasi lemak tubuh (Sharma dan Erdman, 1989). Penambahan kolin dalam bentuk RPC pada pakan meningkatkan mobilisasi NEFA oleh hati untuk dioksidasi menjadi badan keton, trigliserida, dan CO<sub>2</sub> dengan peran karnitin (Zeizel dan da Costa, 2009). NEFA yang diambil hati dari pakan diangkut menuju hati dengan bentuk ikatan lipoprotein, yaitu HDL, dan kolin merupakan fosfolipid utama HDL (Widiyanto *et al.*, 2007). Kolin menurunkan akumulasi NEFA di hati sebagai donor grup metil yang meningkatkan sintesis karnitin, sintesis metionin, dan konsentrasi glikogen serta faktor lipotropik yaitu sintesis VLDL sehingga sekresi lemak esterifikasi dan trigliserida dari hati meningkat. Suplai metionin oleh kolin yang menyediakan profil asam amino untuk sintesis VLDL dan sebagai fosfatidilkolin (fosfolipid utama) lapisan permukaan VLDL yang berperan dalam pengangkutan dan pembungkus lemak yang dicerna dari pakan dalam bentuk kilomikron dan NEFA menjadi lipoprotein untuk dibawa ke dalam hati (Baldi dan Pinotti, 2006). Kolin (sebesar 95%) berupa fosfatidilkolin yang terdapat di dalam empedu yang berfungsi dalam memelihara lapisan pelindung hidrofobik pada mukosa usus halus (Etcheverry, 2014).

Konsentrasi glikogen hati meningkat secara linier dengan meningkatnya jumlah konsumsi kolin klorida. Konsentrasi trigliserida yang lebih tinggi pada sapi dengan pemberian kolin klorida dalam jumlah tinggi menyebabkan tingkat glukoneogenesis lebih baik sehingga dapat meningkatkan pembentukan glikogen dari hidrolisis asam lemak untuk digunakan sebagai sumber glukosa (Piepenbrink dan Overton, 2003). Kolin menyebabkan konsentrasi glikogen hati dan tingkat konversi propionat menjadi glukosa lebih tinggi. Kolin dapat menurunkan 30% konsentrasi  $\beta$ -hidroksibutirat plasma sehingga kolin mendukung dalam metabolisme asam lemak (Baldi dan Pinotti, 2006).

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang penambahan RPC telah dilaporkan. Penambahan kolin klorida 12 g/ekor/hari pada pakan *low-rumen undegradable protein* (RUP) pada sapi perah dapat meningkatkan produksi susu 2,6 kg (Hartwell *et al.*, 2000) dan penambahan RPC 20 g/ekor/hari (5 g/ekor/hari kolin klorida) dapat meningkatkan produksi susu 3,6 kg lebih tinggi pada 56 hari laktasi (Pinotti *et al.*, 2002). Penambahan RPC dengan kandungan kolin klorida 25% yang terproteksi 85% dari degradasi rumen sebanyak 75 g/ekor/hari dapat meningkatkan konsentrasi glikogen dan tingkat sintesis VLDL serta sekresi NEFA dari hati. Penambahan RPC 45 g/ekor/hari dapat meningkatkan sintesis *de novo* yang ditunjukkan oleh tampilan asam lemak susu yang tinggi. Asam lemak susu yang tinggi tersebut diakibatkan oleh tingginya asam lemak dari darah yang diangkut melalui VLDL akibat pengaruh kolin (Piepenbrink dan Overton, 2003; Xu *et al.*, 2006). Penambahan RPC dengan kandungan 25% kolin klorida, pada level RPC 25 g/ekor/hari dapat meningkatkan produksi susu 4,4 kg dan konsumsi

BK 2,2 kg (Chung *et al.*, 2009) serta RPC 40 g/ekor/hari dengan pakan 17,6% PK secara signifikan dapat meningkatkan produksi susu 6,4 kg dan konsumsi BK 0,3 kg (Davidson *et al.*, 2008).

## **2.2. Profil Lemak Darah**

Lemak plasma darah terdiri dari kolesterol, trigliserida, fosfolipid dan asam lemak yang tidak larut dalam cairan plasma. Lemak tersebut memerlukan modifikasi dengan bantuan protein untuk dapat diangkut dalam sirkulasi darah karena sifatnya yang tidak larut dalam air, yang disebut lipoprotein. Lipoprotein merupakan molekul yang mengandung kolesterol dalam bentuk bebas maupun ester trigliserida, dan fosfolipid, yang berikatan dengan protein yang disebut apoprotein (Mayes, 2003; Suyatna, 2007). Kadar lemak darah salah satunya dipengaruhi oleh pakan. Sapi perah yang diberi pakan dengan kadar lemak tinggi menyebabkan kadar lemak dalam darah tinggi (Parakkasi, 1999). Peningkatan pemberian lemak pakan dapat meningkatkan penyerapan lemak sehingga kadar lemak darah meningkat (Cozma *et al.*, 2015).

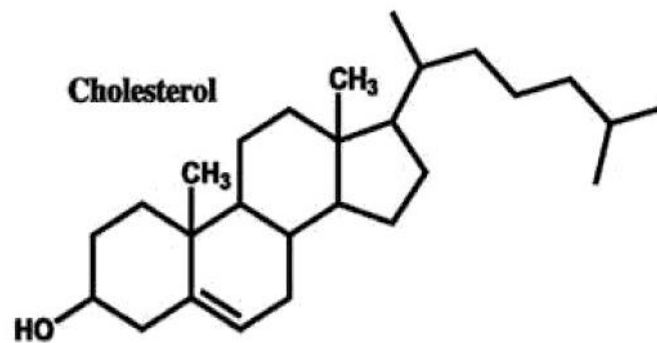
### **2.2.1. Kolesterol**

Kolesterol adalah lipida struktural (pembentuk struktur sel) yang merupakan bahan yang menyerupai lilin dan beredar di dalam darah serta merupakan bagian dari lemak plasma darah. Kolesterol sebanyak 80% diproduksi oleh hati dan selebihnya diperoleh dari pakan (Agustina, 2015). Prekursor pembentukan kolesterol adalah asetil KoA yang diperoleh dari sitoplasma. Asetil



KoA dihasilkan dari prekursor utama, yaitu glukosa dan asam lemak di mitokondria serta katabolisme asam amino (Marks *et al.*, 2000). Kolesterol sebagian besar disekresi melalui empedu kemudian diserap kembali dan berperan sebagai senyawa induk steroid tubuh seperti garam empedu. Sebagian besar ekskresi garam empedu diserap kembali ke dalam sirkulasi vena porta, kemudian dibawa kembali ke hati, dan diekskresi kembali melalui empedu. Metabolisme tersebut dikenal sebagai sirkulasi enterohepatik. Garam-garam empedu yang tidak diserap diekskresikan dalam feses (Kee, 2007). Kolesterol dari pakan diabsorpsi di usus halus dan ditransport dalam bentuk kilomikron menuju ke hati, kolesterol dibawa oleh *very low density lipoprotein* (VLDL) dengan peran kolin untuk membentuk LDL melalui perantara *intermediate density lipoprotein* (IDL) (Tan dan Rahardja, 2007)

Kisaran kadar normal kolesterol darah sapi perah adalah 130 - 200 mg/dl (Weatherby dan Ferguson, 2002). Kolesterol darah dapat meningkat yang disebabkan oleh tingginya konsumsi lemak jenuh pakan. Lemak pakan seperti asam lemak jenuh seperti laurat, miristat, dan palmitat dapat meningkatkan kadar total kolesterol dalam darah (Cozma *et al.*, 2015). Defisiensi kolesterol mengakibatkan berahi tenang (*silent estrus*) atau berahi pendek (*subestrus*), memperpanjang masa tidak birahi (*anestrus*), menurunkan angka kebuntingan, dan mendorong timbulnya *anestrus* pasca melahirkan sehingga manajemen ternak perah menjadi tidak efisien (Hardjopranjoto, 1995; Soegih, 1995) Struktur kolesterol oleh Harris (2010) ditunjukkan pada Ilustrasi 3.



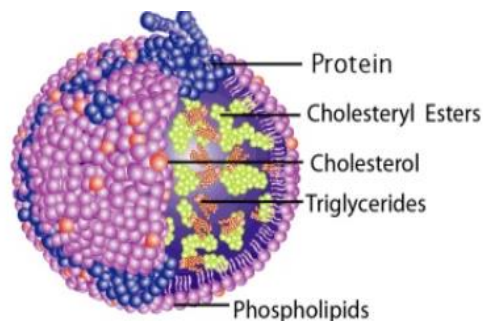
Ilustrasi 3. Struktur Kolesterol Darah

### 2.2.2. Lipoprotein

Lipoprotein merupakan molekul yang mengandung kolesterol dalam bentuk bebas maupun ester trigliserida dan fosfolipid yang berikatan dengan protein (Kusmiyati *et al.*, 2000). Lipoprotein dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan berat jenis yaitu, kilomikron, VLDL, IDL, LDL, dan HDL. Kilomikron berfungsi membawa trigliserida dari makanan ke jaringan lemak dan otot rangka serta ke hati. VLDL adalah lipoprotein yang terdiri atas 60% trigliserida dan 10 - 15% kolesterol serta disekresikan oleh hati untuk mengangkut kolesterol ke jaringan perifer yang nantinya berubah menjadi LDL. IDL terlibat dalam metabolisme LDL. Lipoprotein berinteraksi dengan enzim tubuh seperti *lipoprotein lipase* (LPL), *lecithine cholesterol acyl transferase* (LCAT), dan *hepatic triglyceride lipase* (HTGL) sehingga lipoprotein ini dapat berubah jenisnya (Tan dan Rahardja, 2007).

Lipoprotein yang berperan penting dalam pendistribusian kolesterol ialah HDL dan LDL. Lipoprotein mengalami metabolisme melalui 3 jalur, yaitu jalur metabolisme eksogen, endogen, dan *reverse cholesterol transport*. Jalur eksogen

berarti penyerapan trigliserida dan kolesterol dari sumber pakan yang berasal dari usus halus untuk membentuk kilomikron selanjutnya masuk ke sirkulasi darah dan dihidrolisis oleh LPL menjadi asam lemak bebas yang selanjutnya diserap oleh jaringan (Tan dan Raharja, 2007). Absorpsi lemak dapat terjadi secara aktif untuk trigliserida, kolesterol dan fosfolipid yang dibentuk dalam usus, kemudian mengikuti aliran darah untuk selanjutnya bergabung dengan protein (apoprotein) sehingga terbentuk lipoprotein yang dapat beredar dalam sirkulasi darah. Keseimbangan lemak dalam darah diatur oleh mekanisme yang dapat meningkatkan atau menurunkan kecepatan pengeluaran lipoprotein dalam darah dan mengurangi pembentukan lipoprotein serta jumlah lipoprotein yang masuk dalam darah (Adipratama, 2014). Struktur lipoprotein oleh Berg *et al.* (2012) diilustrasikan dalam Ilustrasi 4.

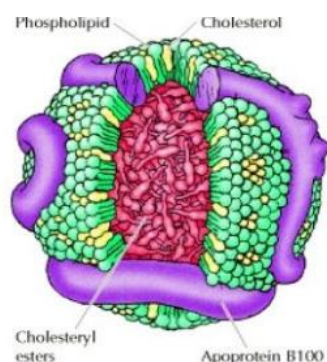


Ilustrasi 4. Lipoprotein

**2.2.2.1. Low density lipoprotein.** *Low density lipoprotein* merupakan lipoprotein yang mempunyai densitas rendah serta mengandung 10% trigliserida dan 50% kolesterol. Fungsi LDL adalah membawa kolesterol dari hati menuju jaringan dan sel-sel yang mengandung reseptor LDL guna dimanfaatkan sel tersebut serta

untuk sintesis membran dan hormon steroid. Kadar LDL dipengaruhi oleh faktor antara lain kadar kolesterol, konsumsi dan kandungan lemak jenuh pakan, tingkat kecepatan sintesis, kecepatan produksi dan eliminasi, serta VLDL (Adipratama, 2014). Lemak pakan seperti asam lemak jenuh seperti asam laurat, miristat, dan palmitat dapat meningkatkan kadar LDL darah. Salah satu prekursor lemak susu adalah LDL dari darah (Widiyanto *et al.*, 2007). Resiko lebih besar terkena aterosklerosis disebabkan oleh LDL dibandingkan disebabkan oleh total kolesterol (Weatherby dan Ferguson, 2002). Sebesar 50% LDL dimetabolisme oleh jaringan perifer dan 50% sisanya dimetabolisme di hati (Hanafi, 2007).

Kadar normal LDL dalam darah adalah 60-130 mg/dl. Kelebihan LDL yang tidak digunakan menyebabkan aterosklerosis pada dinding arteri yang dapat menghambat aliran darah (Weatherby dan Ferguson, 2002). Kadar LDL darah dapat meningkat karena jumlah asam lemak bebas sebagai substrat produksi VLDL yang masuk ke hati meningkat sehingga produksi VLDL meningkat, serta tingginya kadar insulin dapat meningkatkan ekspresi dan aktifitas reseptor LDL sehingga pengeluaran LDL lebih cepat (Verges, 2009). Struktur LDL menurut Berg *et al.* (2012) ditampilkan dalam Ilustrasi 5.



Ilustrasi 5. *Low Density Lipoprotein*

**2.2.2.2. High density lipoprotein.** *High density lipoprotein* dikenal dengan kolesterol baik adalah molekul yang tersusun atas lemak (13% kolesterol dan kurang dari 5% trigliserida) serta 50% protein. Fungsi HDL adalah membawa kolesterol dari jaringan perifer dan dinding pembuluh menuju ke hati melalui jalur *cholesterol transport* untuk proses dan metabolisme garam empedu serta menyimpan apolipoprotein C dan E yang menjadi bahan dalam metabolisme kilomikron dan VLDL. Kisaran kadar normal HDL dalam darah sapi perah adalah 40 - 90 mg/dl serta mengandung rantai panjang asam lemak tidak jenuh dan trigliserida kilomikron lebih tinggi dibandingkan pada LDL (Weatherby dan Ferguson, 2002). Pemecahan HDL berlangsung di dalam hati. Salah satu jalur transport HDL adalah dengan berinteraksi melalui LDL dengan enzim *cholesterol ester transfer protein* (CETP), yaitu glikoprotein plasma yang berguna untuk pertukaran ester kolesterol pada HDL dengan trigliserida pada LDL. Partikel HDL kemudian menjadi lebih kaya akan trigliserida dan kembali ke hati (Lamanepa, 2005). Struktur HDL menurut Komoda (2014) ditampilkan dalam Ilustrasi 6.



Ilustrasi 6. *High Density Lipoprotein*.

### 2.3. Sapi Perah

Sapi perah di Indonesia sebagian besar adalah sapi Peranakan Friesian Holstein (PFH) yang merupakan persilangan antara sapi Friesian Holstein (FH) asal Belanda dengan sapi lokal Indonesia (Wijaya, 2008). Ciri-ciri sapi PFH adalah belang hitam putih atau merah putih, kepala agak panjang, punggung agak melengkung ke atas, bentuk ambing seperti cawan, dan pada dahi terdapat bulu putih yang berbentuk segitiga. Sapi PFH mudah beradaptasi dengan lingkungan tropis dengan produksi susu yang relatif tinggi (Zainudin *et al.*, 2015).

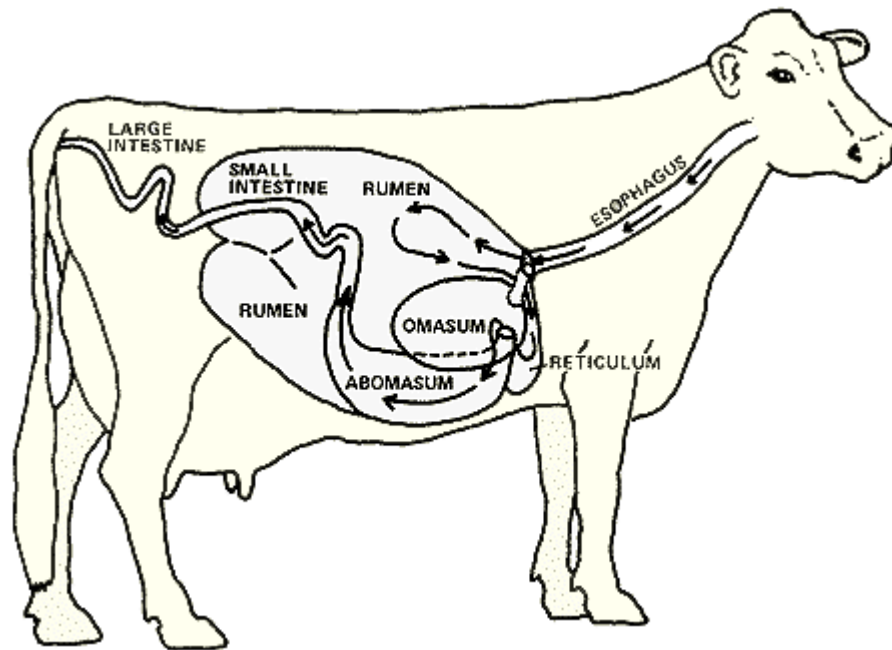
Sapi PFH merupakan sapi persilangan antara sapi FH dengan sapi lokal yang merupakan sapi tipe dwiguna, yaitu sapi penghasil susu dan daging (Iskandar dan Farizal, 2011; Aditya *et al.*, 2015). Produksi rata-rata susu sapi PFH adalah 4.403,25 liter per ekor per laktasi dengan rata-rata lama laktasi adalah 207,45 hari. Pubertas rata-rata sapi PFH dicapai pada umur 12 bulan dengan bobot badan rata-rata 275 kg. Jarak beranak induk sapi PFH rata-rata adalah 377 hari. Produksi rata-rata susu dan rata-rata lama laktasi sapi PFH lebih rendah dibandingkan dengan sapi FH karena faktor internal dan faktor eksternal. Faktor eksternal merupakan faktor yang berpengaruh dari luar tubuh ternak seperti iklim, pemberian pakan, dan manajemen pemeliharaan; sedangkan faktor internal merupakan aspek genetik dan biologis dari sapi laktasi tersebut seperti lama laktasi, lama kering, periode kosong, dan selang beranak (Anggraeni, 2000).

#### 2.4. Sistem Pencernaan Sapi Perah

Sapi perah termasuk hewan ruminansia yang memiliki organ pencernaan khusus pada bagian perut depan. Sistem pencernaan sapi perah terdiri dari mulut, faring, esofagus, perut depan (terdiri dari rumen, retikulum, omasum, dan abomasum), usus halus, usus besar, sekum, rektum serta kelenjar pelengkap (kelenjar saliva, hati, dan pankreas). Fungsi saluran pencernaan adalah memecah pakan menjadi molekul lebih sederhana kemudian mentransfer molekul tersebut ke dalam darah sehingga dapat diterima oleh sel untuk dimetabolisme (Frandsen *et al.*, 2009). Terdapat tiga proses pencernaan pada sapi, yakni pencernaan mekanis di dalam mulut dengan gigi untuk memecah molekul pakan menjadi lebih kecil dengan bantuan saliva (air ludah), pencernaan fermentatif di dalam rumen oleh mikroba rumen, dan pencernaan enzimatik pascarumen. Pencernaan mekanik terdiri dari prehensi (pengambilan dengan lidah), mastikasi (pengunyahan), deglutisi (penelanan), ruminasi, regurgitasi (pemuntahan kembali ke mulut), remastikasi (pengunyahan kembali), reinsalivasi (pencampuran dengan saliva kembali), dan penelanan (Hall dan Silver, 2009).

Fermentasi pakan terjadi pada rumen dan retikulum dalam perut bagian depan yang dipengaruhi oleh interaksi antara pakan, populasi mikroba, dan kondisi ternak. Pencernaan fermentatif di rumen terjadi secara anaerob dan menghasilkan *volatile fatty acids* (VFA), yaitu asam asetat (C<sub>2</sub>), asam propionat (C<sub>3</sub>), dan asam butirat (C<sub>4</sub>), serta produk samping metan dan karbondioksida (Chesworth *et al.*, 1998). Pencernaan kimiawi terjadi di usus halus dengan bantuan enzim yang disekresikan oleh dinding usus halus dan pankreas. Enzim

proteolitik seperti tripsin, kemotripsin, peptidase, aminopeptidase pada lumen usus halus berfungsi untuk menghidrolisis protein serta enzim lipolitik seperti lipase berperan dalam menghidrolisis lemak (Tillman *et al.*, 1998). Sistem Pencernaan sapi perah menurut Frandson *et al.* (2009) ditampilkan di Ilustrasi 7.



Ilustrasi 7. Sistem Pencernaan Sapi Perah

#### 2.4.1. Mulut dan esofagus

Ternak ruminansia mampu menampung jumlah bahan pakan yang lebih besar serta mampu mencerna bahan pakan yang mengandung serat kasar tinggi dibandingkan ternak lain (Rismunandar, 1989). Proses yang terjadi di dalam mulut adalah prehensi, mastikasi, dan deglutisi. Pakan yang telah dikunyah dan dicampur dengan saliva di dalam mulut sapi kemudian ditelan melewati esofagus menuju rumen. Saliva yang dikeluarkan oleh kelenjar parotis mulut memiliki pH



basa dan berfungsi sebagai buffer di dalam rumen yang memproduksi asam dalam jumlah banyak akibat proses fermentasi (Kartadisastra, 1997).

#### **2.4.2. Rumen dan retikulum**

Rumen mewakili 60 - 70% volume saluran pencernaan dan merupakan tempat fermentasi pakan oleh bakteri, protozoa, dan fungi. Mikroba tersebut memproduksi enzim pencerna serat kasar (selulase) dan protein (protease) untuk berkembang biak dan membentuk sel-sel baru. Rumen dan retikulum pada ruminansia sering disebut dengan satu nama yaitu retikulorumen karena pakan dapat bebas keluar-masuk antara rumen dan retikulum serta tidak adanya pembatas yang jelas diantara keduanya. Retikulum membantu ruminasi dimana bolus (bentuk pakan halus) diregurgitasikan ke dalam mulut. Pola fermentasi di dalam retikulum ini serupa dengan di dalam rumen (Wijaya, 2008). Mikroba mencerna serat kasar pakan dan memproduksi VFA yang diserap secara langsung oleh dinding rumen dan sebagian lain terutama asam lemak rantai cabang digunakan oleh mikrobia rumen sebagai sumber karbon untuk sintesis protein. Energi yang dibutuhkan sapi perah sebagian besar (60 - 80%) disuplai dari VFA (Frandsen *et al.*, 2009).

Produk metabolisme selain VFA adalah  $\text{NH}_3$  sebagai sumber N mikroba dan protein dari pakan yang dikonsumsi oleh sapi perah digunakan mikrobia sebagai sumber protein untuk mendukung pertumbuhan mikrobia dan memproduksi VFA melalui pencernaan fermentatif (Hall dan Silver, 2009). Konsentrasi VFA meningkat 1 jam setelah pemberian pakan sampai titik tertinggi

pada 5 jam setelah pemberian pakan dan berangsur menurun pada 6 jam setelah pemberian pakan (Widyobroto *et al.*, 2007).

#### **2.4.3. Omasum dan abomasum**

Omasum mempunyai bentuk berlipat-lipat dan stuktur yang kasar dengan gerakan peristaltik yang berfungsi sebagai penggiling makanan dan menyerap sebagian besar air. Fungsi omasum adalah menghaluskan partikel-partikel pakan yang belum halus, mengabsorpsi air bersama Na dan K, serta mengabsorpsi VFA dari aliran digesta yang melalui omasum (Hall dan Silver, 2009). Abomasum adalah perut sejati ruminansia dan merupakan tempat pertama terjadinya pencernaan pakan secara kimiawi karena dinding abomasum mensekresi rennin (pada ruminansia muda) serta agen aktivator pepsinogen yaitu HCl untuk mencerna protein (Wijaya, 2008; Frandson *et al.*, 2009).

#### **2.4.4. Usus dan rektum**

Pati, protein mikroba, protein pakan *by pass*, dan lemak yang lolos dari degradasi rumen selanjutnya dicerna di usus halus. Penyerapan karbohidrat oleh usus halus berupa glukosa, lemak berupa asam lemak serta protein berupa asam amino. Glukosa dan asam amino diserap oleh usus halus secara langsung melalui dinding usus halus dan lemak diserap dalam bentuk misel yang tersusun atas garam empedu, trigliserida, kolesterol, asam lemak, dan monogliserida. Hati memproduksi garam berwarna kuning kehijauan yang tersusun atas garam empedu, kolesterol, fosfolipid (lesitin), dan pigmen empedu (bilirubin) (Frandson

*et al.*, 2009). Usus besar terdiri dari sekum, kolon, dan rektum. Usus besar berfungsi dalam penyerapan air dan penampungan sisa pencernaan pakan, sekum berfungsi dalam fermentasi hijauan yang belum tercerna oleh organ pencernaan sebelumnya, serta rektum merupakan tempat berakhirnya saluran pencernaan dan lubang ekskresi sisa pencernaan pakan (Hall dan Silver, 2009).

## **2.5. Metabolisme Pakan Sapi Perah**

Sapi perah membutuhkan nutrisi utama yaitu karbohidrat, protein, dan lemak untuk dimetabolisme menjadi energi dalam memenuhi kebutuhan hidup pokok dan produksi susu. Karbohidrat diterima oleh sel melalui darah dalam bentuk glukosa, protein berupa asam amino, dan lemak berupa asam lemak (Frandsen *et al.*, 2009). Karbohidrat merupakan bahan pakan sumber energi utama yang menyediakan unsur karbon, hidrogen, dan oksigen dan penting dalam persediaan energi siap pakai. Pemecahan karbohidrat di dalam rumen terjadi melalui dua tahap yaitu pemecahan karbohidrat menjadi glukosa dan pemecahan glukosa menjadi piruvat, yang kemudian diubah menjadi VFA, meliputi asetat (C<sub>2</sub>), propionat (C<sub>3</sub>), dan butirat (C<sub>4</sub>) (Suwandiyastuti dan Rimbawanto, 2015).

Asetat dan badan keton merupakan sumber karbon utama biosintesis asam lemak dalam jaringan kelenjar susu, jaringan adiposa, dan hati. Asetat diaktivasi menjadi asetil KoA untuk digunakan sebagai prekursor biosintesis asam lemak dengan peran nikotinamida adenosin dinuklotida fosfat (NADPH) sebagai koenzim dari metabolisme glukosa melalui jalur glukosa pentosa fosfat. Propionat sebagian diubah menjadi laktat dalam epitel rumen dan sebagian lain dioksidasi di

hati. Propionat dan laktat yang dibentuk kemudian ditranspor melalui vena portal ke hati untuk menghasilkan energi atau diubah menjadi glukosa melalui glukoneogenesis. Butirat sebagian besar dioksidasi menjadi  $\beta$ -hidroksibutirat dan asetoasetat di dalam epitelium rumen dan memasuki siklus dalam bentuk badan-badan keton (Agustin, 2010). Kelebihan glukosa disimpan dalam bentuk glikogen di dalam hati dan jaringan otot yang berfungsi sebagai energi cadangan melalui proses glikogenesis (Sumardjo, 2009). Lemak dari jaringan adiposa (lemak tubuh) dimetabolisir oleh hati menjadi *non esterified fatty acid* (NEFA) untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi (Hadisutanto *et al.*, 2016).

Lemak pakan mengalami proses hidrolisis, fermentasi, dan hidrogenasi di rumen. Hidrolisis adalah pelepasan asam lemak dari ikatan ester serta pelepasan galaktosa dari ester galaktosil gliseril dari asam lemak linoleat. Lemak pakan terhidrolisis menjadi asam lemak bebas, gula, fosfat, dan gliserol. Fermentasi gliserol menjadi VFA terjadi setelah proses hidrolisis. Hidrogenasi adalah proses penjenuhan asam lemak yang mengandung ikatan rangkap. Asam lemak rantai pendek larut dalam air dan diserap melalui dinding rumen. Empedu dihasilkan oleh hati untuk penyerapan lemak (Parakkasi, 1999). Degradasi lemak terjadi di dalam sel-sel hati dan apabila lemak dibutuhkan, lemak dipecah dahulu secara lipolisis hidrolitik menjadi asam lemak dan gliserol kemudian diaktivasi menjadi Asil-SKoA kemudian mengalami proses betaoksidasi menjadi Asetil-SKoA dan masuk siklus krebs untuk menghasilkan energi (Sumardjo, 2009). Lemak sebagian besar memasuki siklus metabolisme dalam bentuk trigliserida (Agustin, 2010). Trigliserida dari pakan dipecah menjadi asam lemak dan gliserol dengan bantuan

enzim lipase pankreas. Proses emulsifikasi bertujuan supaya lemak dapat bercampur dengan air dan enzim pencernaan terutama lipase dapat bekerja. Proses emulsifikasi lemak terjadi di dalam usus halus dan dilakukan oleh garam empedu kemudian diabsorpsi. Absorpsi lemak dapat terjadi dengan cara difusi pasif yang terjadi dalam usus halus dalam bentuk monogliserida dan NEFA kemudian membentuk misel (Adipratama, 2014).

Metabolisme protein tidak secara langsung terlibat dalam pembentukan energi. Sumber protein ruminansia berasal dari protein yang disintesis oleh mikrobia dan protein *by pass*. Protein dipecah menjadi asam amino, tetapi karena 82% mikroba rumen hanya dapat menggunakan nitrogen amonia ( $N-NH_3$ ) untuk sintesis protein tubuhnya, maka asam amino segera didegradasi lebih lanjut menjadi  $N-NH_3$ . Sintesis protein tersusun dari lima unsur utama (C, H, O, N dan S) sehingga mikroba rumen dapat mensintesis asam amino penyusun sel tubuhnya dari karbohidrat, *non protein nitrogen* (NPN), dan sulfur organik maupun anorganik. Protein yang lolos degradasi (*by pass*) dicerna di pasca rumen dengan enzim pepsin (Suwandiyastuti dan Rimbawanto, 2015). Asam amino berperan sebagai prekursor protein susu dan protein tubuh serta mengalami glukoneogenesis dan ketogenesis di dalam hati sehingga dengan demikian berkontribusi dalam ketersediaan glukosa dan badan-badan keton (Agustin, 2010). Protein yang berlebih disimpan sebagai energi cadangan dalam bentuk lemak. Cadangan energi berupa glikogen dapat dibentuk dari bahan selain glukosa seperti gliserol, asam laktat, serta asam-asam amino yang bersifat glikogenik melalui proses glukoneogenesis (Sumardjo, 2009).

Energi pakan yang diserap ditentukan oleh konsumsi bahan kering pakan ternak. Kisaran konsumsi BK sapi perah adalah 2,25 - 4,32% dari bobot badan pakan (NRC, 2001) dan dipengaruhi oleh faktor antara lain bobot badan, temperatur lingkungan, dan karakteristik pakan yang meliputi pencernaan, palatabilitas, dan keseimbangan nutrien dalam ransum (Nuswantara *et al.*, 2005; Nuraini *et al.*, 2014).