

BIOENERGETIKA TERNAK TROPIKA



Oleh

Prof. Dr. Ir. DEWI APRI ASTUTI, MS

Dr. Ir. SUMIATI

2013

KATA PENGANTAR

Pertama penulis panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah menuntun hambanya untuk dapat menuangkan ilmu yang telah dikumpulkan dan ditimba untuk dituangkan dalam bentuk tulisan di buku ini. Buku ini menceritakan tentang sejarah bioenergetika ternak di dunia, teori tentang pengukuran energi, pemanfaatan energy pada ternak ruminansia dan unggas lokal. Banyak sekali data yang dihasilkan dari penelitian ternak di Indonesia yang mewarnai buku ini. Pemikiran tentang perlunya penambahan energi untuk ternak yang digembalakan dan kebutuhan energi untuk ternak-ternak di Indonesia di era pemanasan bumi sudah saatnya harus dimiliki oleh para nutrisionist. Untuk itu, kehadiran alat kalorimeter hewan menjadi prioritas utama untuk mengukur kebutuhan dan neraca energi ternak tropika pada berbagai status faal dan pakan yang kompleks.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih pada guru saya Prof. Djokowoerjo Sastradipradja dan Prof. Toha Sutardi yang telah banyak memberi ilmu pada saya. Kepada rekan seperjuangan dalam mengajar mata kuliah Bioenergetika ternak, yaitu Dr. Sumiati, diucapkan terima kasih atas kebersamaannya. Terima kasih atas dorongan semangat dari suami dan anak-anaku. Semoga ilmu ini manfaat adanya.

Penulis berharap agar buku ini dapat dijadikan pustaka atau rujukan bagi peneliti lain yang sama-sama menekuni bidang bioenergetika, umumnya pada hewan dan khususnya pada ternak tropika.

Bogor, September 3013

Penulis

DAFTAR ISI

PENDAHULUAN	1
SEJARAH BIOENERGETIKA	6
KONSEP BIOENERGETIKA	11
A. Alat ukur energy	
Bomb Kalorimeter type Adiabatik	13
Bomb Kalorimeter type Balistik	14
B. Alat Ukur Kalorimeter Tubuh	16
Kalorimeter Langsung	16
Kalorimeter Tak Langsung	20
PEMBENTUKAN ENERGI DALAM TUBUH	24
a. Sintesa Energi di Tingkat Sel	24
b. Proses Glikogenolisis dan Glikolisis	24
c. Reaksi Siklus Krebs dan Sintesa ATP di Mitokondria	26
OKSIDASI BERBAGAI NUTRIEN MAKRO	30
a. Karbohidrat	30
b. Lemak	31
c. Protein	31
PERHITUNGAN PRODUKSI PANAS TUBUH	35
BIOENERGETIKA PADA RUMINANSIA	40
A. Sistim Energi untuk Hewan Ruminansia	
A.1. Sistem Energy Bruto (EB)	40
A.2. Digestibility of Energy (DE) atau energi tercerna	41
A.3. Metabolizable of Energy (ME) atau energi metabolis	42
A.4. Heat Increament (HI) atau produksi panas tubuh	48

A.5. Net Energy (NE) atau energi yang teretensi	49
B. Kandungan Energi Pakan dan Pemanfaatannya dalam Tubuh Ternak	50
C. Efek Suhu Lingkungan Terhadap Evaluasi Pemanfaatan Energi	51
D. Pengukuran Neraca Energi pada Ruminansia	56
D.1. Koleksi Total	56
D.2. Pengukuran RE dari neraca C/N	57
D.3. Metode Pematangan	58
D.4. Metode CERT	60
D.5. Metode Pengukuran Nadi Jantung	65
D.6. Pengukuran energi di tingkat organ	69
D.7. Metode Urea Space	85
E. Pola Pemanfaatan Energi pada Ternak Ruminansia di Negara Tropis Lembap	88

BIOENERGETIKA PADA UNGGAS	95
A. Konsep Energetika pada Ungags	95
B. Respiratory Quotient (RQ)	95
C. Pengukuran Produksi Panas pada Unggas	97
C.1. Nilai Panas Fisiologi	98
C.2. Kebutuhan Panas pada Unggas	99
C.3. Suhu Tubuh pada Unggas dan Pengaturannya	101
C.4. Kecepatan metabolisme dan Pengaturannya	103
PENGUKURAN ENERGI KUANTITATIF	110
A. Metabolisme Energi Pada Unggas	110
B. Pengukuran Kebutuhan energi pada Unggas	112
C. Pendugaan Kebutuhan Energi Metabolis Untuk Produksi Telur dengan Metode Faktorial	116
D. Pengukuran Energi pada Bahan Pakan Unggas	119
E. Pengukuran Energi Produktif	129
F. Neraca Energi pada Unggas	130
G. Pengaruh Lingkungan terhadap Neraca Energi	136
H. Data Neraca Energi Ternak Unggas di Indonesia	139
H.1. Neraca Energi pada Itik, Entok dan Mandalung	139
H.2. Neraca Energi pada Ayam Kampung	147
DAFTAR PUSTAKA	153
GLOSARY	158
INDEX	159

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Nilai energi bruto dari beberapa bahan pakan dan jaringan hewan (MJ/kg BK)	15
Tabel 2	Neraca energi pada sintesa laktosa (KJ)	30
Tabel 3	Neraca energi pada sintesa lemak (KJ)	31
Tabel 4	Nilai panas yang dihasilkan pada berbagai senyawa organik hasil oksidasi dan pembakaran murni	33
Tabel 5	Kandungan energi hasil pembakaran dan oksidasi (MJ/kg)	34
Tabel 6	Nilai faktor pada persamaan untuk perhitungan produksi panas hasil beberapa penelitian	36
Tabel 7	Nilai setara kalor untuk berbagai nilai RQ	37
Tabel 8	Contoh perhitungan produksi panas secara tradisional	38
Tabel 9	Nilai produksi panas dan retensi energi dari perhitungan neraca C/N	39
Tabel 10	Nilai EM dari berbagai jenis pakan pada ruminansia	44
Tabel 11	Mekanisme perubahan aktivitas akibat terpapar pada suhu yang beda	55
Tabel 12	Nilai Neraca energi dari domba yang diberi perbedaan jumlah konsentrat	56
Tabel 13	Neraca energi kambing betina tumbuh	57
Tabel 14	Validasi teknik pengukuran komposisi tubuh	59
Tabel 15	Komposisi kambing betina tumbuh yang diberi berbagai tingkat ransum	60
Tabel 16	Neraca energi pada kambing etawah pada kondisi faal dan jumlah pakan yang beda	64
Tabel 17	Neraca energi pada kambing dengan perbedaan aktivitas	68
Tabel 18	Serapan O ₂ di organ jeroan kambing tumbuh	74
Tabel 19	Laju alir darah porta dan serapan VFA	74

Tabel 20	Pemanfaatan energi pada domba yang diberi casabio	79
Tabel 21	Laju produksi VFA, volume rumen dan laju pakan di rumen kambing tumbuh	79
Tabel 22	Neraca energi pada domba yang diberi silase dan hay	80
Tabel 23	Laju alir darah mamari, status nutrien di darah dan serapan nutrien di ambing kambing PE laktasi yang diberi limbah tempe	83
Tabel 24	Jumlah dan komposisi susu kambing PE laktasi	84
Tabel 25	Performa sapi potong dan komposisi tubuh dengan metoda <i>urea space</i>	87
Tabel 26	Teori kebutuhan energi metabolis untuk ayam broiler pembibit (Kal/ekor/hari)	115
Tabel 27	Perhitungan EMSn dari gandum	124
Tabel 28	Perhitungan kandungan energi metabolis bungkil safflower	125
Tabel 29	Neraca energi harian pada ayam broiler umur 28 hari	132
Tabel 30	Rataan bobot badan, konsumsi ransum, EMN, produksi telur dan berat telur ayam broiler pembibit selama pengukuran kalorimeter, harike-4 sampai ke- 7	135
Tabel 31	Neraca energi pada ayam broiler pembibit	136
Tabel 32	Partisi retensi energi pada ayam broiler pembibit	136
Tabel 33	Rataan bobot badan itik, entok dan mandalung sebelum pengukuran konsumsi oksigen	139
Tabel 34	Konsumsi oksigen itik, entok dan mandalung	139
Tabel 35	Rataan produksi karbohidrat ternak itik, entok dan mandalung	141
Tabel 36	Rataan nilai kuosien respirasi itik, entok dan mandalung	142
Tabel 37	Nilai setara kalor untuk unggas	143

Tabel 38	Produksi panas puasa dan produksi panas saat pemberian pakan pada itik, entok dan mandalung minggu 1, 4, 8 berdasarkan konsumsi O ₂	144
Tabel 39	Produksi panas puasa dan produksi panas saat pemberian pakan pada itik, entok dan mandalung minggu 1, 4, 8 berdasarkan konsumsi O ₂	144
Tabel 40	Perkiraan kebutuhan energi metabolitik, entok dan mandalung minggu 1, 4, 8 berdasarkan pengukuran menggunakan <i>chamber</i> respirasi dan perhitungan berdasarkan bobot badan	146
Tabel 41	Rataan konsumsi O ₂ dan produksi panas pada tahapan puasa dan pemberian makan antara ayam kampung dan ayam persilangan	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Pemanfaatan energi pada ruminansia	3
Gambar 2	Pemanfaatan energi pada unggas	4
Gambar 3	Bomb kalorimeter adiabatik	14
Gambar 4	Bomb kalorimeter balistik	14
Gambar 5	Kalorimeter tipe <i>Isothermal</i>	17
Gambar 6	Kalorimeter tipe <i>Heat sink</i>	18
Gambar 7	Kalorimeter tipe Konveksi	18
Gambar 8	Kalorimeter tipe Differential	19
Gambar 9	Kalorimeter Langsung	20
Gambar 10	Kalorimeter terbuka	22
Gambar 11	Kalorimeter tak langsung di NIAI Jepang	22
Gambar 12	Skema kalorimeter tak langsung	23
Gambar 13	Proses glikogenolisis, glikolisis dan siklus krebs	25
Gambar 14	Siklus krebs di mitochondria	27
Gambar 15	Proses pembentukan ATP hasil transport electron	27
Gambar 16	Skema peredaran nutrien dari saluran pencernaan	28
Gambar 17	Proses arus pengeluaran panas tubuh (energi) hewan ke lingkungan	54
Gambar 18	Domba di infusi dengan isotop $\text{Na}^{14}\text{HCO}_3$	63
Gambar 19	Gambaran frekwensi nadi jantung kambing lokal selama pengamatan 4 jam	66
Gambar 20	Alat Polar Sport Tester	66
Gambar 21	Energi yang hilang pada domba yang dipelihara di kandang dan di lapang	67
Gambar 22	Pengukuran panas metabolisme pada pencernaan kambing	72
Gambar 23	Skema tempat pengambilan darah pada organ jeroan	73
Gambar 24	Alat Blood Gas Analyzer	75

Gambar 25	Perbandingan antara laju alir darah di uterus, konsentrasi O ₂ di arteri dan vena diukur dengan Blood Flow meter	77
Gambar 26	Data laju alir darah di ambing kambing laktasi dengan alat <i>blood flow meter</i>	82
Gambar 27	Sapi PO dengan LMB	87
Gambar 28	Buah lerak	87
Gambar 29a	Energi yang hilang pada kambing PE tumbuh	89
Gambar 29b	Energi yang hilang pada kambing PE bunting	89
Gambar 29c	Energi yang hilang pada kambing PE laktasi	89
Gambar 30	Hubungan antara produksi panas dengan temperatur lingkungan	104
Gambar 31	Regulasi temperatur sosial pada anak ayam umur 20 hari	106
Gambar 32	Hubungan antara produksi panas dengan bobot badan	108
Gambar 33	Hubungan antara logaritma produksi panas dengan bobot badan	108
Gambar 34	Hubungan antara konsumsi energi metabolis dengan retensi energi	131
Gambar 35	Neraca energi harian untuk ayam broiler jantan umur 28 hari yang dipelihara pada suhu 22°C	131
Gambar 36	Pengaruh energi ransum terhadap neraca energi pada ayam broiler betina umur 21 hari	133
Gambar 37	Neraca energi dari ayam petelur dengan bobot badan 1,5 kg	134
Gambar 38	Zona suhu nyaman untuk ayam leghorn putih yang sedang tumbuh	137
Gambar 39	Memperlihatkan respon ayam petelur terhadap perubahan temperatur lingkungan.	137
Gambar 40	Pengaruh suhu lingkungan terhadap neraca energi pada ayam leghorn	138
Gambar 41	Alat Kalometer pada Unggas	152

PENDAHULUAN

Kalorimeter adalah alat untuk mengukur panas. Panas yang dihasilkan dapat berasal dari pembakaran bahan pakan atau dapat berupa energi yang dimanfaatkan oleh tubuh untuk proses metabolisme atau lebih dikenal dengan panas metabolisme atau produksi panas tubuh. Maka tidak heran bila Brody (1945) mengatakan bahwa *energy is the fire of life*. Sejak abad ke 17 pengetahuan tentang adanya energi atau panas tubuh telah dikenal oleh para peneliti dan terus dikembangkan hingga sekarang. Energi ini dapat diukur secara kuantitatif baik secara *in vitro* dengan alat *bomb calorimetry* atau secara *in vivo* ditingkat keseluruhan tubuh, organ, jaringan maupun sel. Energi pakan yang masuk ke tubuh akan dimetabolis dan diubah bentuk menjadi energi yang berguna untuk tubuh dan disimpan untuk menunjang pertumbuhan dan produksi, dan sebagian energi yang tidak berguna akan dibuang dalam bentuk panas tubuh.

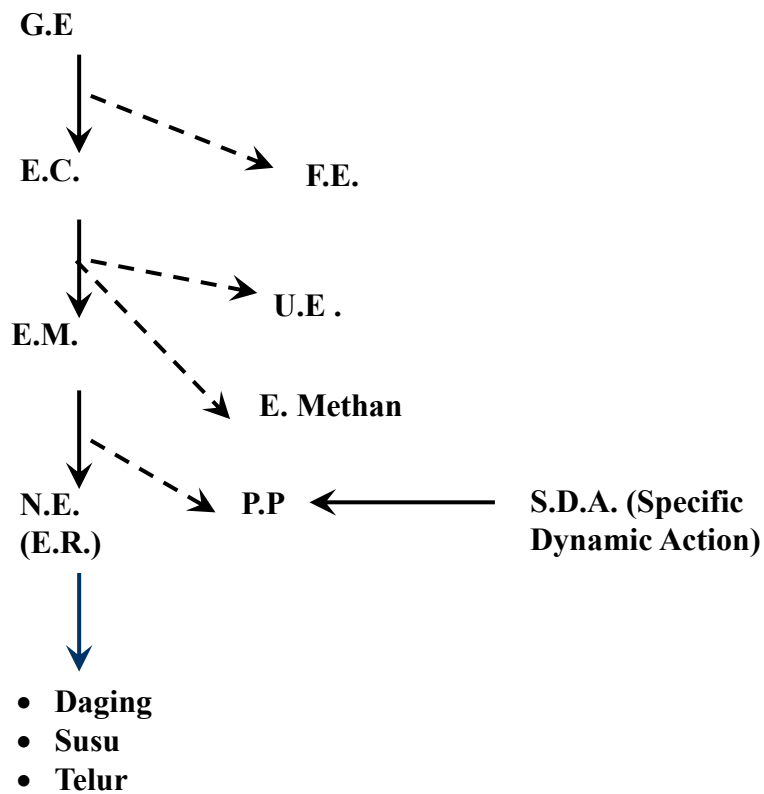
Alat untuk mengukur panas tubuh secara langsung disebut *direct calorimetry* (kalorimeter yang langsung mengukur panas yang dikeluarkan oleh tubuh), sedangkan yang untuk mengukur panas tubuh secara tak langsung adalah *indirect calorimetry* (kalorimeter untuk mengukur konsumsi oksigen atau produksi karbondioksida dari hasil metabolisme). Alat kalorimeter langsung mempunyai beberapa tipe yaitu isothermal/gradient layer, heat sink, convection dan differential. Alat kalorimeter tak langsung ada dua yaitu yang terbuka dan tertutup.

Proses pembakaran makanan dalam tubuh melibatkan reaksi biokimia yang memerlukan oksigen telah banyak dijelaskan dalam beberapa buku Biokimia, dan Fisiologi. Dari sejumlah energi pakan

yang masuk ke tubuh akan didistribusikan dan hasil partisi energi tersebut diilustrasikan sebagai energi yang tercerna semu (EC), energi termetabolis (EM) dan energi yang teretensi (ER). Besarnya EC adalah sejumlah energi yang terserap dan cara menghitung EC adalah energi bruto dikurangi dengan energi yang keluar bersama feses (EF). Besarnya energi yang termetabolis (EM) adalah jumlah EC dikurangi dengan energi yang keluar bersama urin (EU). Nilai EM pada ternak ruminansia dapat dihitung setelah dikoreksi dengan energi yang keluar sebagai metan (energi CH₄). Energi yang tersimpan (ER) dapat dihitung dari nilai EM yang telah dikurangi dengan energi yang keluar sebagai panas tubuh (Produksi Panas tubuh = PP). Nilai PP ini merupakan akumulasi panas dari hasil panas metabolisme hasil proses pencernaan pakan di usus, (sering diistilahkan dengan *Specific Dynamic Action*), ditambah dengan panas pengaruh aktivitas (untuk ternak kerja). Menurut McDonald et al. (2002), pemanfaatan energi pada ternak ruminansia sedikit berbeda dengan ternak non ruminansia. Pada ternak ruminansia, disamping energi yang keluar bersama feses, urin dan panas tubuh juga ada yang keluar bersama gas metan, sedangkan pada ternak non ruminansia (babi dan kuda) sedikit terjadi pengeluaran gas metan dan bahkan di unggas tidak menghasilkan metan. Pemanfaatan energi pada ternak non ruminansia lebih efisien dibandingkan dengan ternak ruminansia.

Neraca pemanfaatan energi pada ternak ruminansia dapat diuraikan seperti pada Gambar 1. Energi basal adalah energi yang diperlukan untuk aktifitas basal seperti : a) kontraksi otot, b) mengatur suhu tubuh dan c). menghantarkan impuls. Komponen neraca energi pada ternak meliputi energi yang dikonsumsi, energi feses, energi

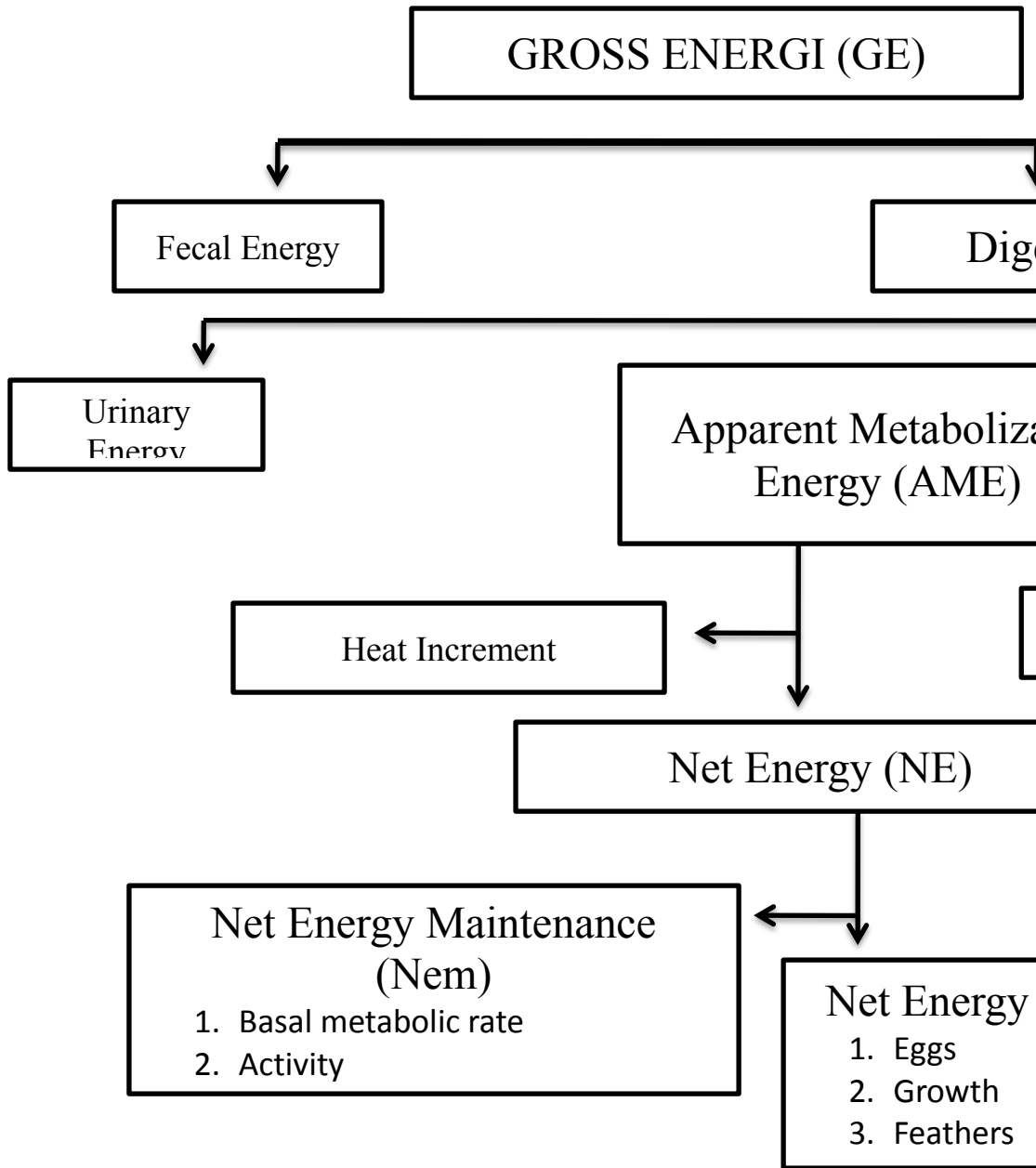
metan (pada ternak ruminansia), energi urine, panas metabolisme (*heat increment*), total produksi panas tubuh (*heat production*), dan retensi energi berupa susu, telur, daging, dan tenaga (Mc Donald, 2002).



-
- **Kontraksi otot**
 - **Mempertahankan suhu**
 - **Menghantar impuls**

Gambar 1. Pemanfaatan energi pada ruminansia (Mc Donald et al, 2002)

Negara tropika mempunyai kekhasan dengan suhu rata-rata di atas 25°C dan kelembaban relative di atas 70%. Ternak yang hidup dilingkungan ini tentu memerlukan adaptasi yang tinggi sehingga partisi energi yang masuk ke tubuh mempunyai pola yang sedikit berbeda dengan ternak di daerah subtropika. Diperlukan informasi besarnya nilai pemanfaatan energi pada ternak tropika, baik ruminansia, unggas dan hewan air, sebagai dasar penentuan kebutuhan nutrisi untuk mendukung produksi. Para peternak dulu sangat mengabaikan efek lingkungan terhadap pemanfaatan energi pakan. Namun dengan adanya era pemanasan bumi selama beberapa dekade ini tentunya efisiensi pemanfaatan energi perlu diperhitungkan.



Gambar 2. Pemanfaatan energi pada unggas (Leesson and Summers, 2001)

Pendekatan pengukuran bioenergetika kuantitatif di Indonesia masih sangat langka dan minim data, hal ini disebabkan oleh kurangnya fasilitas laboratorium pendukung. Pada era tahun 80-an, teknik isotop dapat menjawab pertanyaan berapa besarnya produksi panas tubuh ternak tropika dengan pelarutan isotop menggunakan metoda CERT. Pada awal tahun 2012, beberapa lembaga riset telah memiliki alat kalorimeter tubuh. Ini artinya sudah waktunya kita meneliti dan menghitung besarnya partisi energi pada ternak baik pada monogastrik maupun ruminansia dengan berbagai status faal dan jenis pakan tropika yang hidup dilingkungan negara tropika di era global warming.

Buku ini ditulis dengan tujuan memberi gambaran pemanfaatan energi oleh ternak yang hidup di negara tropika yang dilandasi teori bioenergetika. Metode dan teknis analisis banyak yang telah dimodifikasi untuk menyesuaikan dengan keadaan fasilitas laboratorium tanpa meninggalkan kaidah teori yang mendasari ilmu bioenergetika hewan. Kajian metabolisme kuantitatif dalam tubuh ternak merupakan dasar dari perhitungan neraca energi. Pendekatan metode bedah dilakukan sebagai jembatan pengukuran metode non invasive yang belum semuanya dapat dilakukan di laboratorium di Indonesia. Besarnya penggunaan energi di tingkat organ dapat diukur dengan prinsip Fick yaitu mengalikan laju alir darah dengan selisih konsentrasi oksigen di pembuluh arteri (yang masuk ke organ) dan pembuluh vena (yang keluar dari organ).

SEJARAH BIOENERGETIKA

Sejarah berawalnya penemuan ilmu tentang adanya panas yang dihasilkan oleh hewan berasal dari pengamatan seorang peneliti dari Prancis bernama Lavoisier pada tahun 1794, yang mengamati sebungkah es yang meleleh ketika berada di dekat tubuh seekor babi yang sedang tiduran. Peneliti tersebut membuktikan bahwa ada panas yang dihasilkan oleh tubuh babi dan uap panas tersebut mengakibatkan melelehnya es disekitar tubuh. Penelusuran produksi panas dari tubuh hewan dilanjutkan oleh Dulong tahun 1841, yang menyatakan bahwa panas yang dihasilkan dari tubuh hewan merupakan hasil pembakaran karbon (C) dan hydrogen (H) asal makanan dalam tubuh. Pembakaran di tingkat sel tersebut selanjutnya sekarang dikenal dengan proses metabolisme sel yang menghasilkan ATP.

Robert Meyer pada tahun 1842 membuat suatu perhitungan neraca energi yang selanjutnya menjadi dasar dari alat *Indirect calorimetry* (kalorimeter tak langsung). Penyempurnaan pengukuran panas tubuh tersebut dilanjutkan oleh peneliti bernama Renault dan Reiset pada tahun 1849, yang membuat perhitungan pengukuran produksi panas tubuh dengan kalorimeter sistem tertutup. Yang dimaksud dengan sistem tertutup adalah oksigen yang digunakan ternak untuk bernafas berasal dari sejumlah udara yang tersedia di ruang tertutup dan terukur. Untuk menyediakan udara di ruang tertutup ternyata tidak mudah. Kebocoran menjadi unsur penyebab kekurangan data. Untuk menyediakan ruang atau bilik yang kedap udara tentunya memerlukan biaya mahal. Oleh karena itu pada tahun 1862 Pettenkofer mulai menciptakan alat kalorimeter sistem terbuka

pertama. Kalorimeter sistem terbuka artinya bahwa udara yang digunakan untuk pernafasan berasal dari udara luar, sehingga yang diukur adalah jumlah produksi CO₂ dari hasil pernafasan. Pada tahun 1892, Haldane melakukan penyempurnaan terhadap alat kalorimeter terbuka sehingga terciptalah alat “*open circuit –gravimetric*”, yaitu pengukuran gas-gas yang dianalisis berdasarkan reaksi gravimetri.

Pada tahun 1902 Rubner membuat alat ukur panas tubuh yang secara langsung dapat mengukur panas tubuh yang dikeluarkan dan disebut *Direct Calorimetry*. Alat tersebut dapat mengukur secara langsung produksi panas tubuh yang dihasilkan oleh hewan. Kelemahan alat ini disamping memakan biaya yang mahal juga sangat rentan terhadap kebocoran dan sangat kompleks. Oleh karena itu peneliti lain bernama Armsby (1904) lebih menyukai alat *open circuit calorimetry* yaitu kalorimeter yang mengukur produksi CO₂ langsung dari hasil pernafasan ternak yang mengambil udara dari luar secara langsung. Alat ini masih memaksa ternak dalam keadaan statis (tidak dapat banyak bergerak) di suatu tempat, oleh karena itu data yang dihasilkan kurang mewakili produksi panas tubuh selama sehari. Pada kurun waktu yang berdekatan, seorang peneliti lain bernama Zunt (1906) menciptakan alat *portable respirometer*. Alat ini dirancang untuk digunakan dengan cara digendong oleh pemakainya agar dalam pengukurannya dapat dilakukan bersamaan dengan aktivitas bebas, seperti merumput, jalan dan beraktivitas lain.

Kajian pada pengukuran pengeluaran panas tubuh ini dilanjutkan oleh Kleiber (1935) yang menyatakan bahwa panas yang keluar dari tubuh hewan berdarah panas (homeothermik) dapat secara radiasi, konduksi, konveksi dan evaporasi. Proses radiasi yaitu

pengeluaran panas tubuh berupa gelombang radiasi yang dipancarkan oleh hewan langsung ke alam bebas. Proses konduksi adalah pengeluaran panas tubuh dengan cara merambatkan panas melalui media benda padat, seperti menempelkan tubuh ke benda atau dinding yang suhunya lebih rendah, sedangkan proses konveksi adalah pengeluaran panas tubuh dengan cara mengalirkan udara (angin) ke permukaan sehingga panas tubuh akan dialihkan ke tempat lain. Pada proses evaporasi, panas tubuh akan keluar dengan cara penguapan melalui udara pernafasan. Keempat proses tersebut merupakan kejadian alami yang dilakukan oleh makhluk hidup dalam rangka menyeimbangkan panas tubuh melalui proses homeostasis.

Bapak kalorimetri yang paling terkenal bernama Brody pada tahun 1945 menciptan alat yang disebut *close calorimetry system* (kalorimeter sistem tertutup). Alat ini dirancang sedemikian sehingga jumlah konsumsi oksigen dapat terukur karena dialirkan pada ruangan tertutup. Kalorimeter tipe tak langsung ini dalam perhitungannya memerlukan alat pengukur kecepatan aliran oksigen (flow meter) dan alat pengukur konsentrasi gas oksigen (oksigenometer). Data kecepatan aliran dikalikan jumlah oksigen masuk dikurangi yang keluar (delta oksigen) merupakan jumlah konsumsi oksigen. Pengukuran tersebut perlu diamati secara kontinyu. Setelah perang dunia kedua, diciptakan alat komputer sehingga dapat digunakan untuk membantu dalam pemantauan data secara kontinyu selama 24 jam atau lebih.

Bersamaan dengan itu pada kurun waktu tahun 1940 -1950 mulai berkembang ilmu bioenergetika pada hewan air (ikan) yang dikembangkan oleh Jobling dan kawan-kawan. Bioenergetika pada

hewan bebas seperti burung yang terbang, mulai diamati seiring dengan penelitian Lifton and McClintock (1955) yang menginfusi burung dara dengan larutan $^2\text{H}_2\text{O}$ (air deuterium) saat terbang. Air deuterium yang diinfusikan tersebut sebagai indikator penggunaan oksigen tingkat tubuh dan untuk pengukurannya, cairan tubuh disampling pada waktu yang telah ditentukan kemudian diukur konsentrasinya dengan alat mass spektrofotometer. Perkembangan dan modifikasi alat kalorimeter langsung dilakukan oleh Mount (1967), Dauncey (1978) dan Murgatroyd (1984) dengan menggunakan metoda *Heat sink principles*.

Hasil penelitian pemanfaatan energi diberbagai ternak ini diseminarkan secara internasional untuk pertama kalinya pada tahun 1958 di Kopenhagen Eropa dalam bentuk symposium European Assosiation Animal Production (The1st EAAP). Pada acara tersebut berkumpul tokoh ahli energi ternak sedunia termasuk dari belahan Amerika, Australia dan Asia.

Pada era pemakaian teknik isotop, seorang animal nutrisionist asal Australia yang pernah hijrah ke Universitas Alberta di Edmonton Canada bernama Bruce Young (1970) giat mengembangkan metode pelarutan isotop. Sekarang beliau menikmati masa akhir karyanya dan kembali ke negara kangguru Australia tanpa bersentuhan dengan isotop lagi. Young mengembangkan teknik *Carbondioxide Entry Rate Technique* (CERT) dengan menggunakan perunutan isotop ^{14}C dalam bentuk $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ yang diinfusikan pada sapi yang digembalakan untuk mengukur produksi panas tubuh (PP) melalui pengukuran aktivitas jenis $^{14}\text{CO}_2$ yang dihasilkan. Corbett pada tahun 1971 melakukan pengukuran pada *grazing sheep* dengan mengukur

produksi $^{14}\text{CO}_2$ dari ternak yang diinfusi dengan $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ menurut metoda CERT. Metoda ini juga digunakan di IPB untuk pengukuran pada domba dan kambing yang produktif pada berbagai status faal. Pada tahun 1970 sampai 2000 kelompok peneliti IPB menghasilkan beberapa publikasi internasional yang dipresentasikan di forum EAAP.

Penelitian bioenergetika pada manusia dilakukan oleh Schoeller dan Webb (1984) yaitu dengan memberi minum air berat dan pengukuran $^2\text{H}_2\text{O}$ (D2O) pada manusia yang sedang aktif bekerja tersebut dilakukan melalui sampling darah. Konsentrasi D2O di darah diukur konsentrasinya terhadap waktu (kinetika) dengan menggunakan alat Mass Spektrofotometer.

Pada tahun 2003 symposium EAAP yang ke 17 di Rostock German untuk pertama kalinya symposium energi disatukan dengan materi symposium protein. Hingga saat ini acara rutin tersebut menjadi bernama Symposium Energi dan Protein dan yang terakhir dilaksanakan di Parma Itali pada tahun 2012. Demikian perkembangan ilmu bioenergetika makin masuk sampai tingkat sel dan bahkan lebih jauh lagi bergabung dengan ilmu genetika sehingga arah penelitian lebih menuju pada kajian nutrigenom aspek energetik.

KONSEP BIOENERGETIKA

Energi didefinisikan sebagai suatu kemampuan melakukan kerja. Ada banyak bentuk energi seperti energi kimia, energi panas, energi elektrik, energi gerak dan energi radiasi. Energi radiasi digunakan oleh tumbuhan untuk diubah menjadi energi kimia yang menghasilkan senyawa kompleks berupa nutrient (CHO) dari tanaman. Energi kimia dari tanaman tersebut dimakan oleh hewan dan dikonversi menjadi produk ternak berupa susu, telur, daging, tenaga dan energi untuk hidup pokok. Pada proses perubahan bentuk dari satu jenis energi menjadi energi bentuk lain akan terjadi proses penggunaan atau menghasilkan energi (entalpi).

Hukum termodinamika pertama menyatakan bahwa energi didefinisikan sebagai panas yang digunakan untuk meningkatkan suhu 1°C , dari $14,5^{\circ}\text{C}$ menjadi $15,5^{\circ}\text{C}$, pada sejumlah 1 gram air membutuhkan energi sebesar 1 kalori (Kleiber, 1975). 1 kalori sama dengan 4,184 Joule. Pada ilmu nutrisi ternak dalam mengekspresikan energi biasanya digunakan satuan KJ atau MJ.

Semua makhluk hidup memerlukan energi untuk kehidupannya. Energi yang dimaksud dalam tubuh makhluk hidup berupa ATP yang dihasilkan dari proses metabolisme di sel (mitokondria). Pada proses metabolisme tersebut terjadi pembentukan dan perombakan energi tubuh dan menghasilkan eksese panas yang harus dikeluarkan dari tubuh. Pengeluaran panas tubuh yang berasal dari produk metabolisme dan aktivitas dapat diukur dengan alat kalorimeter tubuh.

Metoda pengukuran energi pada ternak kian dikembangkan, seperti energi yang dikonsumsi dan yang diekskresikan berupa pakan dan feses atau ekskreta dapat diukur dengan alat bomb kalorimeter. Energi yang diekskresikan dalam bentuk metan dapat dihitung dengan alat *hood chamber* dan *methane analyzer* dan konsentrasi gas yang dihasilkan dikalikan dengan nilai setara kalor untuk metan. Energi dari urin diukur dari urin yang telah dikeringkan dengan alat *freeze-drying*, lalu padatan urin dibakar dengan alat *bomb calorimeter*. Cara lain untuk mendapatkan data EU dihitung dari total nitrogen urin (N-urin) yang dikalikan dengan nilai setara kalor untuk setiap gram nitrogen urin.

Pada saat kondisi tidak ada alat *chamber* kalorimetri, maka produksi panas tubuh dapat dihitung secara tak langsung dengan pengukuran produksi karbondioksida melalui peruntukan isotope ^{14}C (Sastradipraja, 1977). Aktivitas jenis karbondioksida- ^{14}C yang diperoleh dikonversikan menjadi konsentrasi $^{14}\text{CO}_2$ lalu dikalikan dengan nilai setara kalor untuk setiap liter karbondioksida yang dihasilkan pada nilai *respiration quotient* (RQ) tertentu. Panas metabolisme (*heat increment*) ialah panas yang dihasilkan dari proses pencernaan, penyerapan, transpor nutrien dan panas metabolisme yang dapat diukur juga dengan teknik isotop. Retensi energi (RE) adalah besarnya energi yang disimpan, yaitu dapat berupa telur, susu, daging dan energi untuk kerja. Energi asal produk tersebut juga dapat diekspresikan sebagai nilai energi dari produk melalui pengukuran dengan alat bomb kalorimeter atau dari hasil perhitungan nilai setara kalor terhadap hasil analisis produk (protein, lemak dan karbohidrat).

A. Alat Ukur Energi

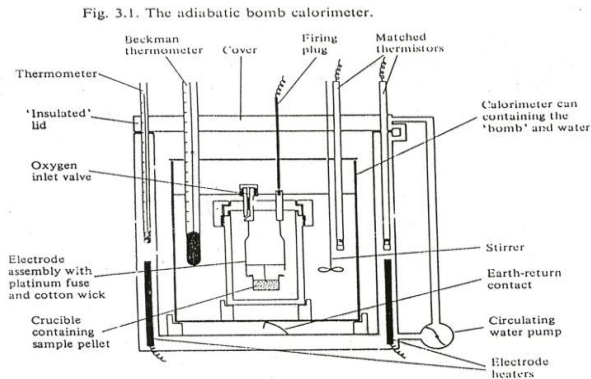
Energi bruto adalah sejumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran sejumlah berat pakan dengan menggunakan alat bomb kalorimeter. Alat tersebut terbuat dari tabung metal yang terdiri dua bagian sekat yang dapat diisi air. Contoh dari bahan yang akan dianalisis, ditempatkan di dalam bagian tabung yang kosong (tidak berisi air) lalu diberi tekanan O_2 tertentu, kemudian dilakukan pembakaran, sehingga terjadi kenaikan suhu air. Perbedaan suhu air sebelum dan sesudah pembakaran dicatat. Jumlah panas yang dihasilkan merupakan perkalian dari berat contoh bahan, selisih kenaikan suhu dan kalor jenis air.

Alat ukur energi dapat dibedakan menjadi dua yaitu a). alat ukur energi untuk bahan padatan seperti pakan atau makanan serta bahan apadatan lain, dan b) alat ukur untuk makhluk hidup (termasuk ternak). Alat ukur untuk bahan padatan disebut Bomb Kalorimeter. Ada dua tipe bomb kalorimeter yaitu tipe adiabatik dan tipe balistik.

a. Bomb Kalorimeter Tipe Adiabatik

Alat ini bekerja berdasarkan perbedaan suhu air sebelum dan sesudah terjadinya pembakaran sampel. Sampel dengan berat tertentu dan dibuat pellet diletakan pada *crucible*, kemudian alat bomb kalorimeter diberi oksigen agar setelah alat dihubungkan dengan aliran listrik maka akan terjadi pembakaran melalui kabel platinum. Panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut akan dihantarkan melalui media air yang ada pada dasar alat tersebut dan diaduk rata sehingga mengakibatkan panas yang dihasilkan dapat mengakibatkan adanya kenaikan suhu air. Perbedaan suhu air sebelum dan setelah

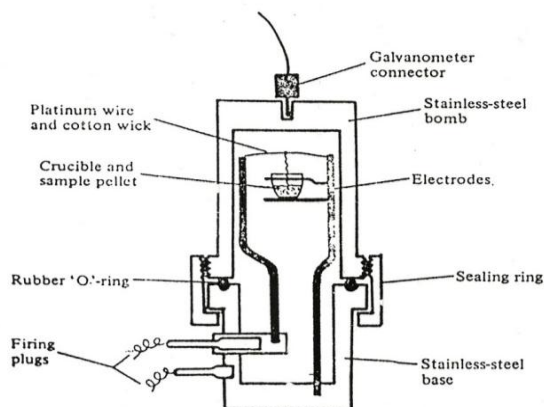
pembakaran ini yang akan pakai untuk perhitungan yang didasarkan pada rumus dan prinsip hukum termodinamika.



Gambar 3 . Bomb kalorimeter adiabatik (reproduksi buku Animal & Human Calorimetry, 1987)

b. Bomb Kalorimeter Tipe Balistik

Alat ini agak sedikit berbeda dengan tipe adiabatik karena pada pengukurannya tidak menggunakan media air. Prinsip kerja alat ini berdasarkan sistim pembacaan panas hasil pembakaran sampel yang telah diterjemahkan dengan alat galvanometer menjadi nilai kalor.



Gambar 4. Bomb kalorimeter balistik (reproduksi buku Animal & Human Calorimetry, 1987)

Energi Bruto (EB) atau *Gross energy* (GE) pada berbagai bahan

Bomb kalorimeter disamping dapat untuk mengukur kandungan energi dari bahan pakan juga dapat untuk mengukur komponen bahan padatan lain seperti jaringan otot hewan, telur, feses dan padatan urin. Pada Tabel 5 di bawah ini merupakan beberapa contoh energi bruto dari bahan pakan dan jaringan hewan. Nilai energi lemak merupakan 2,5 kali dari energi karbohidrat, dan data menunjukkan kandungan energi yang dihasilkan dari pembakaran protein lebih tinggi dari energi asal karbohidrat.

Tabel 1. Nilai energi bruto dari beberapa bahan pakan dan jaringan hewan (MJ/kg BK)

Bahan Pakan	Jenis	MJ/kg BK
Komponen Pakan	Glukosa	15,6
	Pati	17,7
	Selulosa	17,5
	Kasein	24,5
	Mentega	38,5
	Minyak biji	39
Produk Fermentasi	Asetat	14,6
	Propionat	20,8
	Butirat	24,9
	Metan	55,0
Jaringan Hewan	Otot	23,6
	Lemak	39,3
	Tallow	22,4*
Bahan Pakan/makanan	Biji jagung	18,5
	Bungkil kedele	7,8*
	Dedak padi	7,1*
	Bungkil minyak	21,4
	Dedak gandum	9,0
	Susu	24,9

Sumber : Mc Donald (2002) dan *Astuti et al (2013)

B. Alat Ukur Kalorimeter Tubuh

Sejarah menceritakan perkembangan pembuatan alat ukur kalorimeter tubuh mulai dari yang paling sederhana hingga yang paling canggih. Kalorimeter tubuh terdiri dari dua macam yaitu **kalorimeter langsung** dan **kalorimeter tak langsung**. Alat kalorimeter tak langsung ada dua tipe yaitu **kalorimeter terbuka** dan **kalorimeter tertutup**.

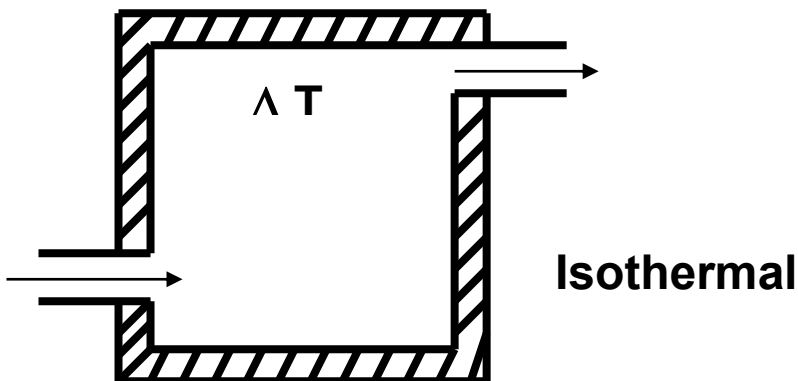
a. Kalorimeter langsung

Yang dimaksud dengan kalorimeter langsung yaitu alat yang mampu mengukur secara langsung panas yang dihasilkan oleh tubuh ternak. Panas yang dikeluarkan oleh ternak baik secara evaporasi, konduksi dan konveksi akan ditangkap oleh sensor yang ada pada ruangan tertutup *respiration chamber* yang diterjemahkan dalam bentuk kalori. Prinsip kerja alat kalorimeter langsung (seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya) adalah menangkap pelepasan panas yang dihasilkan oleh hewan dalam alat kalorimeter tersebut melalui signal-signal dalam bilik tertutup. Produksi panas diukur dari perubahan suhu ruangan yang ditangkap oleh aliran air pada pipa yang terpasang diruangan sehingga mengakibatkan perubahan suhu dari sejumlah volume air yang mengalir di pipa yang masuk dan keluar dari bilik tersebut.

Ada empat tipe kalorimeter langsung yaitu *isothermal*, *heat sink*, *convention* dan tipe *differential calorimeter*.

- a. Isothermal kalorimetri dibuat dari bahan isolator terbuat dari jaket air khusus mengelilingi ruangan agar tidak terjadi kebocoran. Prinsip kerja kalorimeter isothermal

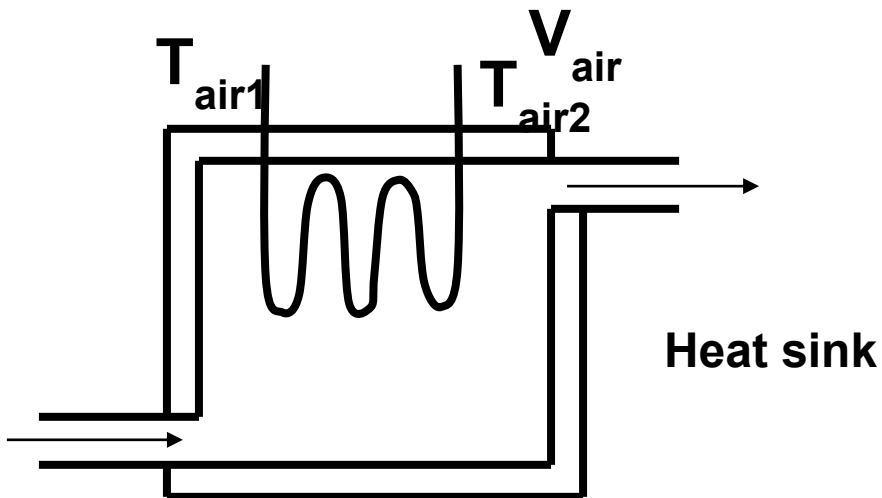
adalah bahwa suhu yang dihasilkan oleh hewan di dalam bilik kamar akan dilalukan melalui lapisan isolator jaket udara sehingga menyebabkan suhu dipermukaan lapisan meningkat dan menyebabkan suhu udara dalam jaket yang mengelilingi ruangan juga akan meningkat. Kenaikan suhu permukaan isolator bilik dikarenakan oleh produksi panas tubuh ternak diharapkan tidak terjadi kebocoran keluar karena akan mengurangi perhitungan besarnya panas produksi oleh ternak tersebut. Alat ini dibuat pertama oleh d'Arsonval (1886) dan Rubner (1894)



Gambar 5. Kalorimeter tipe *Isothermal* (reproduksi buku *Animal & Human Calorimetry*, 1987)

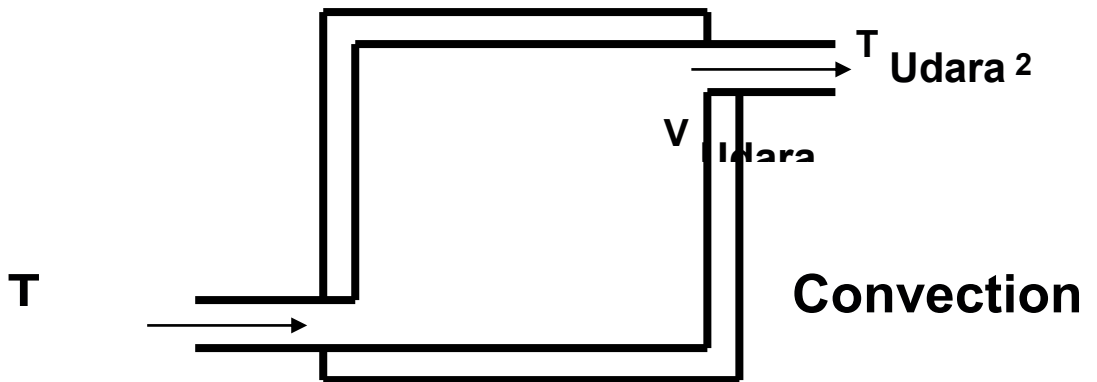
- b. Alat kalorimeter langsung tipe *heat sink* ini berkerjanya berdasarkan panas yang dihasilkan oleh ternak di dalam ruangan dan panas tersebut akan ditangkap oleh “*liquid-cooled heat exchanger*” yang berfungsi meregulasikan suhu yang masuk dan keluar ruangan. Jumlah panas yang dikeluarkan oleh objek ternak tidak mudah menguap akan dikeluarkan oleh *heat exchanger*, sedangkan panas tubuh

yang bersifat mudah menguap akan dikeluarkan melalui ventilasi.



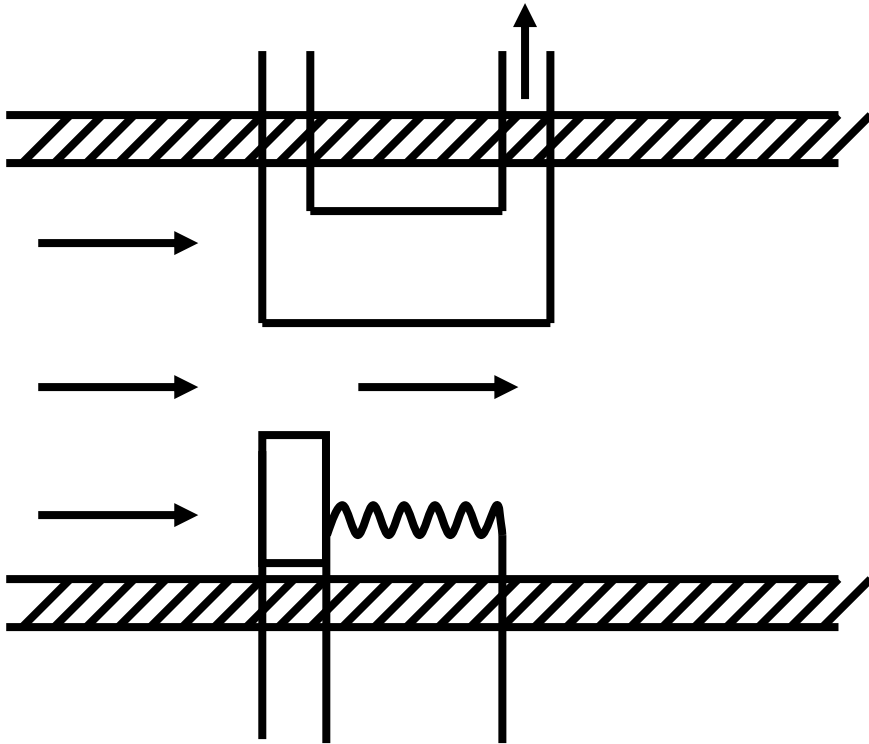
Gambar 6. Kalorimeter tipe *Heat sink* (reproduksi buku *Animal & Human Calorimetry*, 1987)

- c. Kalorimeter tipe konveksi atau disebut dengan kalorimeter udara. Kerja alat ini didasarkan pada pengukuran perbedaan peningkatan suhu udara (masuk dan keluar) dari ventilasi ruangan tersebut. Udara yang keluar dilindungi oleh insulasi di lapisan dalam ruangan dan sirkulasi udara di luar dibuat sedemikian sehingga sama dengan bantuan peredam radiasi.



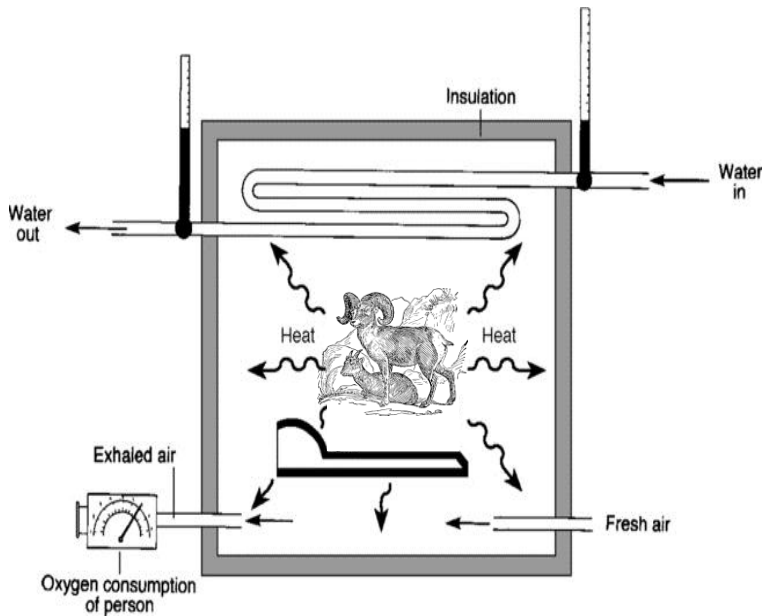
Gambar 7. Kalorimeter tipe konveksi (reproduksi buku *Animal & Human Calorimetry*, 1987)

- d. Kalorimeter tipe *differential calorimetry* ini terdapat dua ruang kembar, yang satu ruang untuk menempatkan hewan yang akan diukur dan ruang yang lain berisi pemanas yang berfungsi untuk mengukur agar panas yang keluar dari tubuh hewan dengan cara mengatur suhunya sedemikian sehingga menjadi sama dengan kenaikan suhu pada kedua bilik.



Gambar 8. Kalorimeter tipe Differential (reproduksi buku Animal & Human Calorimetry, 1987)

Ada beberapa alat kalorimeter langsung yang telah digunakan di beberapa negara seperti di Hannah Institute, Universitas Alberta Edmonton Kanada, di Rowett Institute England, Universitas Hohenheim German, dan National Institute of Animal Industry Tsukuba Japan.



Gambar 9. Kalorimeter langsung

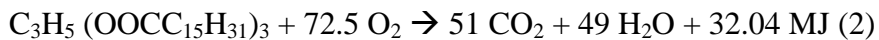
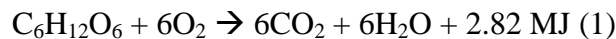
b. Kalorimeter tak langsung

Yang dimaksud dengan alat kalorimeter tak langsung adalah alat yang digunakan untuk mengukur produksi panas tubuh hewan secara tak langsung, yaitu berupa produksi karbondioksida (CO_2) atau berupa konsumsi oksigen (O_2). Jumlah konsumsi O_2 atau produksi CO_2 pada nilai *respiration quotient* (RQ) tertentu lalu dikalikan dengan nilai setara kalor maka akan dihasilkan jumlah panas (kalori) yang dihasilkan oleh ternak tersebut. Panas yang dihasilkan jumlahnya akan sama dengan panas yang digunakan oleh tubuh.

Prinsip kerja kalorimeter tak langsung yaitu dengan mengukur jumlah panas yang dihasilkan oleh hewan melalui perhitungan proses oksidasi nutrisi di dalam tubuh yang melibatkan penggunaan oksigen dan menghasilkan karbondioksida. Pada pengukuran dengan cara ini, ada istilah yang harus digunakan yaitu RQ yang nilainya merupakan

rasio antara volume CO₂ yang diproduksi dengan volume O₂ yang dikonsumsi.

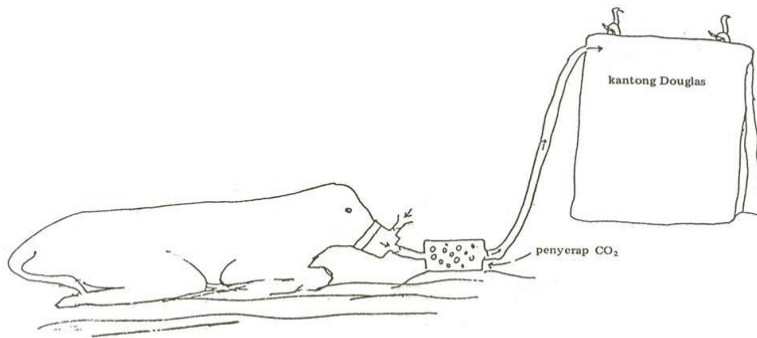
Contoh pada proses oksidasi karbohidrat dan lemak di bawah ini (Mc Lean, et al., 1987):



Dari persamaan (1) didapat nilai RQ= 6/6 =1 (untuk KH), sedangkan dari persamaan (2) didapat RQ= 51/72,5 = 0,70 (lemak), artinya pada proses pembakaran lemak diperlukan oksigen yang lebih banyak dibandingkan pada saat pembakaran glukosa. Pada reaksi oksidasi protein dibutuhkan 0,96 liter O₂ dan dihasilkan 0,77 liter CO₂, sehingga didapat nilai RQ sebesar 0,96/0,77 = 0,80. Jadi nilai RQ suatu bahan pakan sebesar 0,90 maka diperkirakan bahwa makanan tersebut berasal dari campuran 67.5% karbohidrat dan 32.5% lemak, dengan kebutuhan O₂ untuk pembakaran sebesar 20,60 KJ/liter.

b.1. Kalorimeter tak langsung terbuka

Alat ini dibuat dengan tujuan ternak mengambil udara pernafasan dari ruang terbuka (langsung dari luar) dan yang diukur adalah jumlah produksi CO₂. Adapun jumlah produksi panas yang dihasilkan (penggunaan panas) dihitung dari total produksi CO₂ dikalikan nilai setara kalor untuk setiap liter CO₂ yang diproduksi, pada nilai setara kalor tertentu.



Gambar 36. Kalorimetri terbuka dengan kantong Douglas

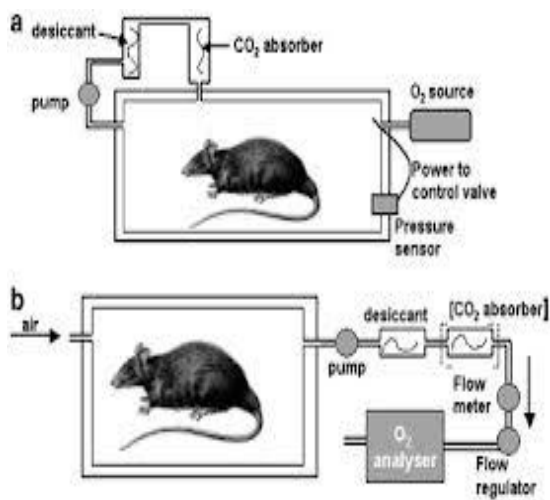
Gambar 10. Kalorimeter terbuka (reproduksi buku Animal & Human Calorimetry, 1987)

b.2. Kalorimeter tak langsung tertutup

Alat ini dirancang dalam ruang tertutup yang dialiri sejumlah O_2 (terhitung) untuk udara pernafasan ternak di dalamnya. Total jumlah konsumsi O_2 yang digunakan dan dikalikan dengan nilai setara kalor untuk setiap liter O_2 pada nilai RQ tertentu itu merupakan hasil produksi panas tubuh.



Gambar 11. Kalorimeter tak langsung di NIAI Jepang (dokumen Astuti, 1998);



Gambar 12. Skema Kalorimeter tak langsung

PEMBENTUKAN ENERGI DALAM TUBUH

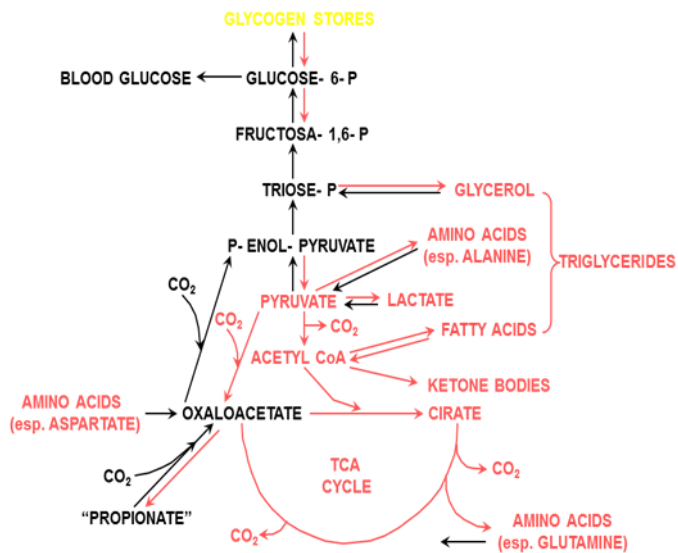
a. Sintesa Energi di Tingkat Sel

Energi dalam tubuh berbentuk ATP (adenosin trifosfat) dapat disintesa dari hasil metabolisme nutrien baik yang masuk bersama makanan maupun dari hasil perombakan cadangan nutien yang disimpan tubuh. Senyawa ATP merupakan bentuk penyimpanan energi kimia yang penting. Pembentukan ATP terjadi di bagian organela mitokondria sel. Substrat untuk pembentukan ATP berasal dari bahan pakan yang dikonsumsi oleh ternak berupa zat karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral dan air. Semua nutrien yang telah dicerna melalui proses enzimatik, fisik dan biologis, akan berubah menjadi senyawa sederhana yang akan diserap dan ditransportasikan ke seluruh organ dan sel tubuh yang membutuhkan melalui sistem peredaran darah. Hati merupakan organ yang berperan dalam mengatur distribusi nutrien, termasuk detoksifikasi senyawa toksik yang masuk tubuh. Dari hati, nutrien dibawa ke organ target untuk dilakukan pembentukan ATP ditingkat sel, tepatnya di mitokondria.

b. Proses Glikogenolisis dan Glikolisis

Proses glikogenolisis adalah merupakan peristiwa perombakan glikogen yang dipecah menjadi glukosa. Proses glikolisis adalah merupakan peristiwa perombakan glukosa menjadi asam piruvat yang terjadi secara anaerob. Pada proses ini, 2 molekul ATP digunakan untuk inisiasi proses fosforilasi mulai glukosa sampai terbentuk 2 molekul gliseraldehid-3-phospat (GTP). Proses selanjutnya dari GTP berubah menjadi asam piruvat dihasilkan NADH dan 2 ATP. Jadi

untuk setiap 1 molekul glukosa untuk menjadi 2 molekul asam piruvat akan menghasilkan 8 ATP. Reaksi kelanjutan dari asam piruvat berubah menjadi asetil ko-A dan masuk jalur siklus krebs. Dalam siklus kreb asetil ko-A berubah menjadi asam sitrat, Isositrat, α -ketoglutarat, suksinil ko-A, suksinat, fumarat, malat, oksalasetat dan selanjutnya hasil reaksi-oksidasi menghasilkan CO₂ dan H₂O. Pada proses ini, 1 molekul glukosa menjadi 2 molekul asam piruvat menghasilkan 8 ATP, sedangkan 2 molekul piruvat diubah menjadi CO₂ dan H₂O akan menghasilkan 30 ATP. Jadi total setiap 1 molekul glukosa akan menghasilkan 38 ATP. Energi yang ditangkap pada pembentukan 38 ATP dapat dihitung sebanyak = 38 X 52 = 1976 kj/molekul glukosa (Mc Donald et al., 1988).



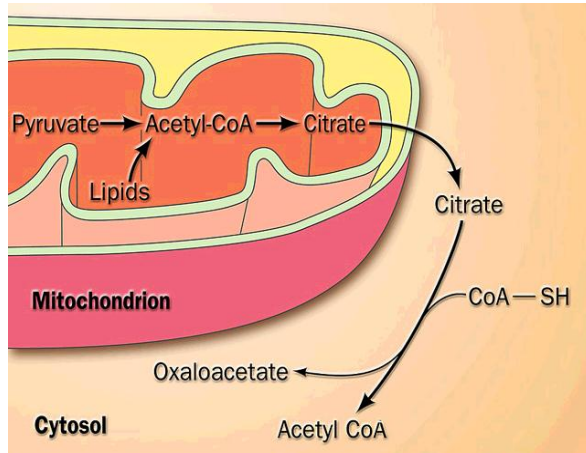
Gambar 13. Proses Glikogenolisis, glikolisis dan siklus krebs (Riis, 1983)

Glukosa selalu dibutuhkan oleh otak dan organ penting lainnya seperti ambing (saat laktasi), uterus (saat bunting dan bertelur) oleh karena itu darah selalu dalam keadaan memiliki konsentrasi glukosa yang cukup (normal). Pada kondisi kekurangan asupan makanan dari luar maka untuk memenuhi kebutuhan nutrisi organ tersebut dilakukan pemecahan cadangan glikogen di hati, cadangan lemak di jaringan adiposa, simpanan mineral di tulang, bahkan cadangan protein di otot.

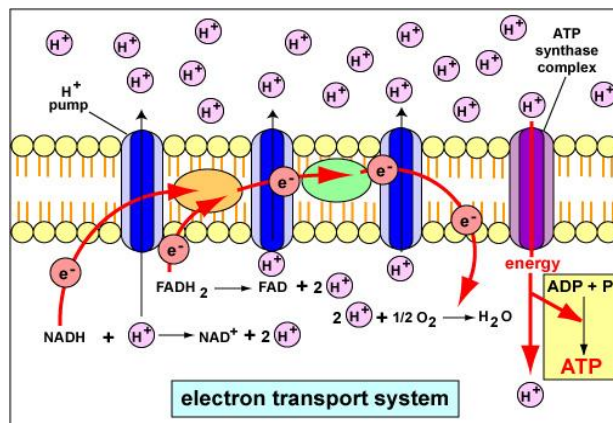
Proses glukoneogenesis adalah suatu proses pembentukan glukosa baru yang terbentuk dari prekursor senyawa lain selain glukosa. Senyawa prekursor tersebut antara lain dapat berupa asam amino alanin yang masuk melalui jalur piruvat, asam amino aspartat yang masuk melalui pintu oxalasetat dalam siklus krebs dan dapat bersamaan dengan masuknya asam propionat sebagai prekursor juga dalam proses glukoneogenesis (khusus pada hewan ruminansia). Ketiga prekursor ini merupakan zat penting bagi ternak ruminansia yang akan dijadikan sebagai sumber energi.

c. Reaksi siklus krebs dan sintesa ATP di mitochondria

Telah dijelaskan di atas bahwa proses pembentukan ATP terjadi di sel dengan reaksi keluar-masuk mitochondria dan masuk ke sitoplasma. Proses pemecahan glukosa sampai terbentuk asam piruvat di dalam mitochondria, dilanjutkan reaksi pemecahan menjadi asetil ko-A. Reaksi perubahan asam sitrat menjadi oksalasetat terjadi di sitoplasma, dan reaksi selanjutnya kembali terjadi di dalam mitochondria. Proses transpor elektron selanjutnya terjadi dengan bantuan cytochrom dan koenzim FAD dan NAD penting untuk pembentukan ATP.



Gambar 14. Siklus krebs di mitochondria



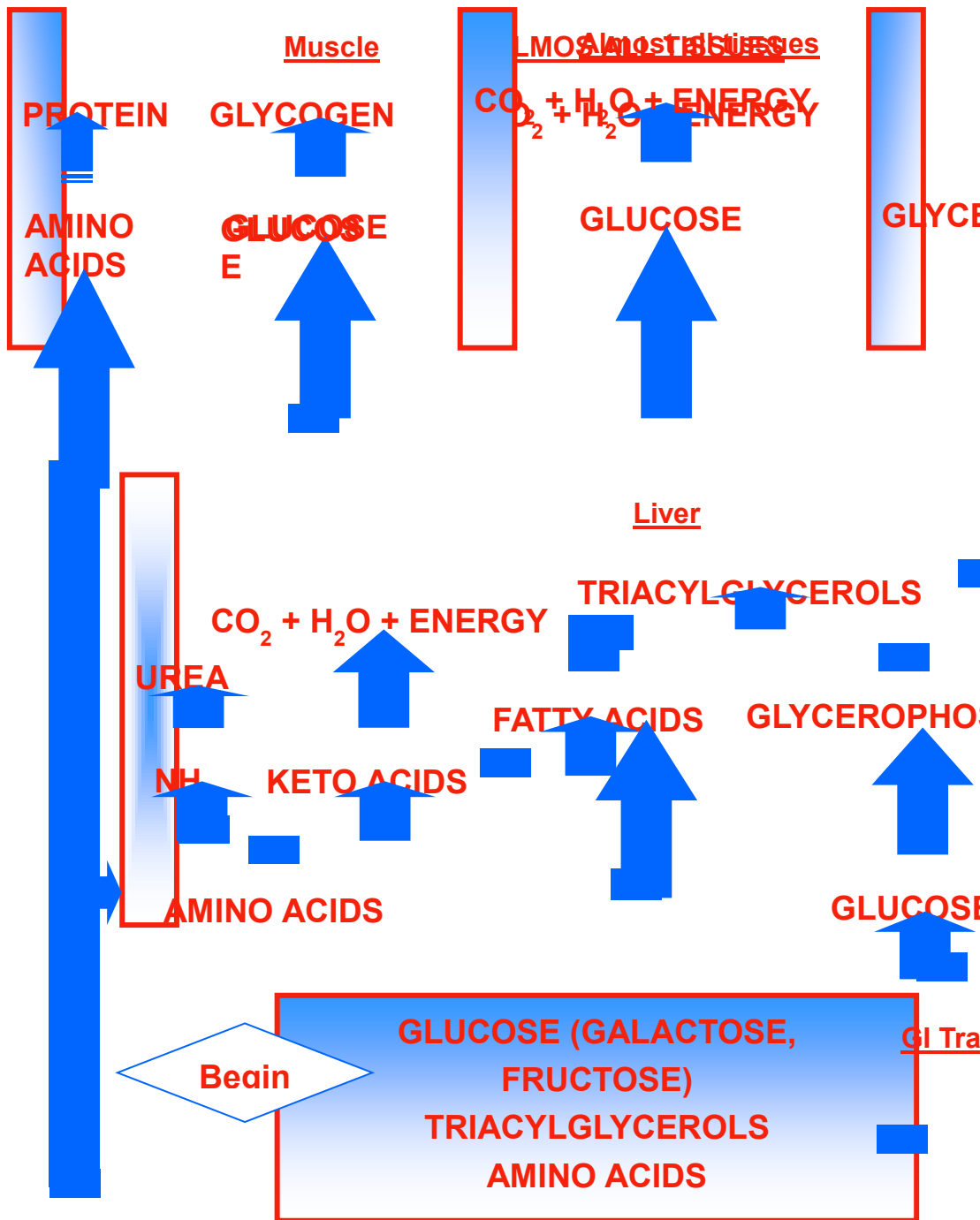
Gambar 15. Proses pembentukan ATP hasil transport electron

Proses transpor elektron merupakan rangkaian reaksi dari perubahan senyawa satu ke senyawa lainnya yang melibatkan atom hidrogen, koenzim serta cytochrom. Sebagai contoh pada oksidasi isositrat menjadi α ketoglutarat terjadi hidrogen yang dilepas dari isositrat lalu diterima oleh NAD^+ dan dilanjutkan ke koenzim FAD. Pada peristiwa tersebut ada dua elektron didonasikan ke ubiquinon

dan bersamaan dengan itu terbentuk dua proton (2H^+). Elektron tersebut lalu ditransferkan melalui sekuens cytochrom ke cytochrom a₃ yang mempunyai kemampuan mentransfer elektron ke oksigen. Pada reaksi ini ATP akan dihasilkan dari ADP + Pi. Pada mekanisme oksidasi fosforilasi ini dinyatakan bahwa proses pelepasan energi mengindikasikan bahwa produksi ATP terjadi saat transfer hidrogen dari reduksi NAD menjadi FAD, pada peristiwa transfer elektron dari cytochrom b ke c₁ dan dari cytochrom a₃ ke oksigen. (Gambar 15).



.



Gambar 16. Skema peredaran nutrisi dari saluran pencernaan

Pada Gambar 16 menunjukkan skema peredaran nutrien dari saluran pencernaan tepatnya di usus halus lalu masuk ke hati dan berbagai organ lain yang membutuhkan untuk dijadikan ATP atau disimpan sebagai cadangan atau kelebihan nutrien.

Nutrien dari usus halus yang siap diserap baik makro dan mikro nutrien telah dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana. Gugus monosakarida berupa glukosa, galaktosa dan fruktosa langsung masuk ke sistem peredaran darah dan didistribusikan ke hati dan organ lain seperti otak, ginjal, paru-paru, jaringan perifer, otot, jaringan adiposa. Di hati, kelebihan glukosa disimpan sebagai glikogen dan sebagian ada yang dipecah menjadi asam lemak dan gliserophosphat untuk selanjutnya dirubah menjadi triasilgliserol. Di otot, kelebihan glukosa juga disimpan sebagai glikogen, sementara di jaringan adipose, glukosa akan dipecah juga menjadi asam lemak dan gliserophosphat dan disimpan dalam bentuk triasilgliserol.

Asam amino dari usus diserap masuk ke hati untuk dipecah menjadi ammonia dan benda-benda keton (asetoasetat dan aseton) dan selanjutnya pecahan asam-asam keto akan menjadi CO₂, H₂O dan energi. Di jaringan otot, asam amino dan asam nukleat akan disimpan dalam bentuk protein otot. Asam lemak dan triasilgliserol masuk ke sistim peredaran darah dibawa oleh chylomicron (senyawa lipoprotein). Di hati, triasilgliserol akan disimpan dalam bentuk senyawa yang sama, sedangkan sebelum disimpan di jaringan adiposa, triasilgliserol dipecah terlebih dahulu menjadi senyawa gliserol dan asam lemak. Asam lemak yang masuk ke jaringan adiposa akan bergabung kembali dengan gliserophosphat untuk selanjutnya membentuk triasilgliserol yang disimpan di jaringan adiposa tersebut.

OKSIDASI BERBAGAI NUTRIEN MAKRO

Pada proses metabolisme nutrien menunjukkan bahwa untuk membentuk ATP diperlukan energi dan juga dihasilkan energi. Jumlah energi yang digunakan dan yang dihasilkan berbeda-beda tergantung macam nutrien.

a. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan salah satu nutrien yang mudah dijadikan sumber energi tubuh. Jumlah energi yang terbentuk dari proses oksidasi karbohidrat berbeda-beda tergantung monosakarida apa yang dioksidasi. Contoh neraca energi pada sintesa laktosa seperti tertera pada Tabel 2 menunjukkan besarnya efisiensi penggunaan energi sebesar 96%.

Tabel 2. Neraca energi pada sintesa laktosa (KJ)

Reaksi yang terjadi	Nilai kalori (KJ)
2 mol glukosa	5606
2 mol glukosa \rightarrow 1 mol G-1-P	170,4
1 mol G -1 -P \rightarrow galaktosa -1-P	85,2
Jadi energy yang dibutuhkan untuk 1 mol laktosa	5861,6
Energy yang disimpan untuk 1 mol laktosa	5648,4
Efisiensi energy pada sintesa laktosa $(5648,4/5861,6) = 0,96$	

Sumber: McLean dan Tobin (1987)

b. Lemak

Neraca energi pada sintesa asam lemak menghasilkan efisiensi sekitar 81%. Adapun uraian reaksi adalah seperti pada Tabel 3. sebagai berikut :

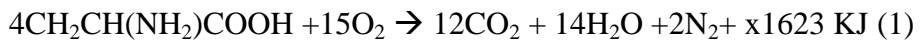
Tabel 3. Neraca energi pada sintesa lemak (KJ)

Reaksi yang terjadi	Nilai kalori (KJ)
Energi yang hilang :	
- 8 mol asetat	6996
- 8 mol asetat → asetil koA	1363,20
- 7 mol asetil koA → malonil koA	596,40
- 7 malonil koA	3578,40
Energi untuk 1 mol palmitat	12534
Energi untuk 3 mol palmitat	37602
- ½ mol glukosa	1401,50
- ½ mol glukosa → DHAP	85,20
- 1 mol DHAP → 1 mol GTP	255,60
Energi untuk 1 mol GTP	1742,30
Total energi 1 mol tripalmitin	39344,30
Energi yang tersimpan	32037
Jadi efisiensi energi sintesa lemak	$(32037/ 39344,3) = 0,81$

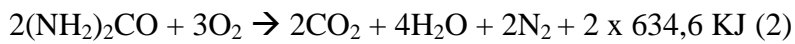
Sumber: McLean dan Tobin (1987)

c. Protein

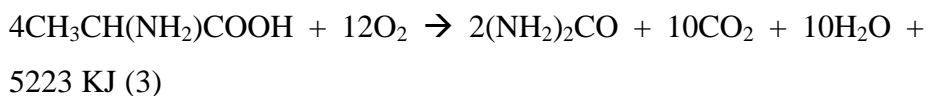
Protein asal tanaman dan hewan mengandung campuran lebih dari 19 asam amino. Protein tidak dapat dioksidasi secara sempurna seperti karbohidrat dan lemak. Pada hewan mamalia, metabolisme protein akan menghasilkan urea yang selanjutnya diekskresikan dalam bentuk N-urin. Pengukuran N-urin dapat dijadikan estimasi jumlah protein yang dimetabolisme. Sintesa urea merupakan reaksi yang kompleks dan menurut hukum Hess dinyatakan bahwa panas yang terlibat pada proses tersebut terlepas dari jalur reaksi kimiawinya. Sebagai contoh oksidasi asam amino alanin (BM = 89,094):



Oksidasi urea (BM = 60,056):



Dengan mengurangkan dua persamaan reaksi tersebut menjadi :



Dari persamaan (3) dapat disimpulkan bahwa hasil oksidasi 4 molekul asam amino alanin ($4 \times 89,094$) mengkonsumsi 12 molekul oksigen ($12 \times 22,41$ liter) dan akan menghasilkan 2 molekul urea ($2 \times 60,065$ g) ditambah 10 molekul karbondioksida ($10 \times 22,41$ liter) dan panas sebesar 5223 KJ. Ini artinya nilai $q = 5223 / (12 \times 22,41 \text{ liter}) = 19,42$ KJ/liter O_2 atau 4,64 Kal/liter O_2 . Maka nilai RQ = 0,83.

Berikut ini adalah beberapa contoh nilai besaran energi hasil reaksi secara oksidasi dalam tubuh dibandingkan dengan hasil analisis

dengan alat bomb kalorimeter menunjukkan angka perbedaan efisiensi yang beragam. Entalpi panas oksidasi dan panas pembakaran pada analisis berbagai senyawa murni seperti terlihat pada Tabel 3. Rasio panas oksidasi terhadap panas pembakaran untuk senyawa karbohidrat dan lemak menunjukkan nilai mendekati 1, sedangkan untuk senyawa protein mempunyai nilai sekitar 0,8 – 0,9. Hal ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dengan cara pembakaran dan oksidasi untuk karbohidrat dan lemak lebih efisien (1), dibandingkan dengan oksidasi protein yang memerlukan energi ekstra terbuang yang lebih besar dibandingkan proses pembakarannya sehingga efisiensinya kurang dari 1.

Tabel 4. Nilai panas yang dihasilkan pada berbagai senyawa organik hasil oksidasi dan pembakaran murni.

Senyawa organik	Pembakaran (KJ/mol)	Oksidasi (KJ/mol)
Karbohidrat:		
Glukosa	2803	2803
Sukrosa	5641	5641
Asam lemak :		
Asetat	875	875
Propionat	1527	1527
n-butirat	2184	2184
Palmitat	10031	10031
Asam amino:		
Alanin	1621	1297
Sistein	2262	1938
Glisin	974	650
Phenilalanin	4646	4322

Lisin	3683	3037
Triptopan	5628	4996

Sumber: McLean dan Tobin (1987)

Tabel 4. menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dari pembakaran senyawa karbohidrat dan lemak akan menghasilkan nilai yang sama, baik melalui proses pembakaran maupun proses oksidasi. Lain halnya dengan senyawa protein yang menunjukkan panas yang dihasilkan dengan proses pembakaran lebih tinggi dibandingkan dengan hasil oksidasi. Ini artinya bahwa protein untuk dijadikan sumber energi melalui proses oksidasi akan kurang efisien. Pada proses oksidasi protein akan melalui beberapa jalur panjang yang melibatkan penggunaan energi, sehingga efisiensi penggunaan energi melalui proses oksidasi akan menjadi berkurang .

Hal ini juga dapat dilihat pada contoh lain kandungan energi dari hasil pembakaran senyawa murni makronutrien dibandingkan hasil oksidasi, seperti protein, karbohidrat dan lemak seperti pada tabel berikut.

Tabel 5. Kandungan energi hasil pembakaran dan oksidasi (MJ/kg)

Nutrien makro	Komposisi (%)	Energi Pembakaran	Energi Oksidasi
Protein	C (56)	23,86	17,0
	O (23)		
	N (16)		
	H (7)		
	S (1)		
Lemak	C (76)	39,0	38,0
	O (12)		
	H (12)		
Karbohidrat	O (53)	17,0	17,0
	C (40)		

PERHITUNGAN PRODUKSI PANAS TUBUH

Perhitungan untuk mengestimasi produksi panas tubuh (PP) ternak ruminansia dan monogastrik telah disusun oleh beberapa peneliti sejak era tahun 80 an. McLean dan Tobin (1987) merumuskan produksi panas tubuh baik bagi manusia maupun ternak secara umum mengikuti rumus :

$$PP \text{ (kJ)} = \alpha V_{O_2} + \beta V_{CO_2} - \gamma N - \delta V_{CH_4}$$

Menurut Brauwer (1965) rumus produksi panas tubuh ternak ruminansia mengikuti rumus:

$$PP \text{ (kJ)} = 16,18 V_{O_2} + 5,02 V_{CO_2} - 5,99 N - 2,17 V_{CH_4}$$

Rumus produksi panas tubuh untuk manusia menurut Abraham (1943) adalah :

$$PP \text{ (kJ)} = 16 V_{O_2} + 5,15 V_{CO_2} - 7,8 N$$

Keterangan : PP adalah produksi panas tubuh dalam satuan (KJ), sedangkan V_{O_2} , V_{CO_2} dan V_{CH_4} masing-masing mewakili volume gas O_2 , CO_2 dan CH_4 , sedangkan N adalah nitrogen.

Retensi energi dengan menggunakan nilai neraca C dan N mengikuti persamaan:

$RE \text{ (kJ)} = 51,83 C - 19,40 N$, dengan menggunakan perhitungan neraca C/N.

Beberapa angka faktor yang digunakan pada perhitungan produksi panas seperti tercantum pada table di bawah ini. Faktor tersebut berbeda-beda menurut hasil temuan beberapa peneliti. Nilai koefisien untuk V_{O_2} dan V_{CO_2} berbeda yang menunjukkan besarnya rataan konsumsi oksigen dan produksi karbondioksida.

Tabel 6. Nilai faktor pada persamaan untuk perhitungan produksi panas hasil beberapa penelitian

Persamaan menurut :	$\alpha V_{O_2(kj/l)}$	$\beta V_{CO_2(kj/l)}$	$\gamma N(kj/g)$	M (kj)
Abramson-Lusk	916	249	-10	1155
Abramson-Benedict	927	239	-7	1159
Abramson-Benedict	985	190	-9	1166
Consolazio et al.	905	235	-16	1124
Weir	945	224	-12	1157
Ben-Porat et al.	937	221	-18	1140
Brouwer	926	242	-8	1160

Sumber : Mc Lean and Tobin (1987)

Yang dimaksud dengan *Respiration Quotion* (RQ) atau disebut koefisien respirasi adalah rasio antara besarnya produksi CO_2 dengan konsumsi O_2 . Nilai ini digunakan saat pengukuran dengan alat kalorimeter tak langsung. Pada nilai RQ tertentu maka nilai setara

kalor berlaku untuk setiap jumlah (liter) oksigen yang dikonsumsi atau sejumlah (liter) produksi CO₂ yang dihasilkan.

$$\text{Rumus RQ} = \frac{\text{Produksi CO}_2}{\text{Konsumsi O}_2}$$

Tabel 7 merupakan bentuk tabel dari nilai setara kalor pada berbagai nilai RQ pada oksidasi karbohidrat dan lemak.

Tabel 7. Nilai setara kalor untuk berbagai nilai RQ

	O ₂ Kal/lt	CO ₂ Kal/lt	CO ₂ Ksl/g	%kons. O ₂ Oleh KH	%kons O ₂ Oleh fat	%PP Oleh KH	%PP Oleh fat	Panas/ LtO ₂ (KJ)
0,707	4,68	6,69	3,40	0	100	0	100	
0,75	4,73	6,32	3,22	14,7	85,3	15,6	84,4	19,62
0,80	4,80	6,0	3,05	31,7	68,3	33,4	66,6	20,10
0,85	4,86	5,72	2,91	48,8	51,21	50,7	49,3	20,35
0,90	4,92	5,47	2,79	65,9	34,1	67,5	32,5	20,61
0,95	4,98	5,24	2,67	82,9	17,1	84	16,0	20,87
1,00	5,04	5,04	2,56	100	0	100	0	21,13

Sumber : Mc Lean and Tobin (1987)

Untuk oksidasi 100% lemak maka diperlukan sejumlah oksigen yang lebih banyak dengan produksi karbondioksida yang sedikit, hal ini mengakibatkan nilai RQ menjadi rendah yaitu sekitar 0,70. Sebaliknya pada pembakaran karbohidrat, jumlah oksigen yang dibutuhkan dan karbondioksida yang dihasilkan kurang lebih sama, sehingga nilai RQ menjadi sekitar 1,0. Tabel di atas menunjukkan nilai setara kalor untuk penggunaan oksigen atau produksi karbondioksida dalam setiap liter pada nilai RQ yang berbeda.

Tabel 8. menunjukkan cara perhitungan secara tradisional dengan menghitung jumlah konsumsi oksigen dan produksi

karbondioksida serta total urin. Perhitungan diawali dari hasil pembakaran protein sampai dengan didapatkan data jumlah panas hasil oksidasi protein. Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung produksi panas bahan asal non protein. Jumlah panas untuk pembakaran protein dan non protein merupakan total produksi panas selama 4 jam, maka kecepatan produksi panas per detik dapat dihitung (dalam watt).

Tabel 8. Contoh Perhitungan Produksi Panas Secara Tradisional

Contoh :

Selama 4 jam ternak mengkonsumsi 57,25 L O₂

Produksi 48,30 L CO₂

Produksi urin 1,28 g N₂.

Asumsi dari persamaan Lusk (1928), setiap g N₂ dari protein :

Konsumsi O ₂	= 5,94 L
Produksi CO ₂	= 4,76 L
Panas pembakaran	= 18,68 kJ/L O ₂
Jadi O ₂ untuk oksidasi protein	= 1,28 X 5,95 = 7,60 L
CO ₂ dari oksidasi protein	= 1,28 X 4,76 = 6,09 L
Panas dari oksidasi protein	= 7,60 X 18,68 = 142 kJ
Konsumsi O ₂ dari Non-protein	= 57,25 – 7,60 = 49,65 L
Produksi CO ₂ dari Non-protein	= 48,30 – 6,09 = 42,21 L
RQ non-protein	= 49,65/ 42,21 = 0,85
Nilai setara kalor 1 L O ₂ /kJ	= 20,35
Produksi panas non-protein	= 49,65 X 20,35 = 1010 kJ
Total produksi panas	= 1010 + 142 = 1152 kJ
Jadi kecepatan produksi panas/detik	= 1152 X 1000/ (4x60x60) = 80 W

Sumber : Mc Lean and Tobin (1987)

Contoh perhitungan retensi energi dan produksi panas tubuh dari neraca C/N. Dalam suatu percobaan yang diukur neraca C/N selama 24 jam dihasilkan data sebagaimana Tabel 9.

Tabel 9. Nilai produksi panas dan retensi energi dari perhitungan neraca C/N

Data selama 24 jam	C(g)	N(g)	E (MJ)
Konsumsi	684,50	61,47	28,60
Ekskresi di feses	279,30	13,96	11,47
Ekskresi di urin	33,60	25,41	1,50
Ekskresi sebagai CH ₄	20,30		
Pengeluaran CO ₂	278		
Neraca	3,3	2,30	
Konsumsi sebagai ME			13,95
Cadangan protein dan lemak :			
Cadangan protein (2,30 X 6,25)	14,40		
Cadangan C sebagai protein (14,4 X 0,512)	7,4		
Cadangan C sebagai lemak (73,3 – 7,4)	65,9		
Cadangan lemak (65,9 : 0,746)	88,3		
Retensi energi dan produksi panas dihitung :			
Cadangan energi sebagai protein (14,4 X 23,60)			0,34
Cadangan energi sebagai lemak (88,3 X 39,3)			3,47
Total retensi energi = (0,34 + 3,47)			3,81
Produksi panas = (13,95 – 3,81)			10,14

Sumber : Mc Donald et al. (1988)

BIOENERGETIKA PADA RUMINANSIA

A Sistem Energi Pada Ruminansia

a. Sistem Energi Bruto (EB)

Dalam buku *Animal Nutrition* karangan Mc.Donald *et al* (1988) dijelaskan tentang perkembangan sistem energi pada hewan ruminansia. Sekitar tahun 1900 ada dua macam evaluasi sistem Energi Neto (EN) atau ER yang dikembangkan oleh H.P. Armsby dari Universitas Pennsylvania dan O. Kellner dari Jerman. Kedua sistem yang dikembangkan tersebut berlandaskan pada percobaan kalorimeter pada sapi yang diberi pakan standar dan pakan yang di atas kebutuhan hidup pokok. Armsby menggunakan alat kalorimeter langsung untuk mengestimasi produksi panas tubuh dari ternak yang diberi pakan yang berbeda, yaitu kelompok satu di bawah kebutuhan hidup pokok dan kelompok dua diberi pakan standar. Di lain pihak O. Kellner mengukur produksi panas dengan menggunakan alat kalorimeter langsung dari ternak yang diberi pakan di atas kebutuhan hidup pokok (tumbuh), sedangkan untuk mengukur retensi energi digunakan metoda neraca Carbon dan Nitrogen (C/N). Dari perbedaan kedua metode tersebut terlihat bahwa Armsby mengukur nilai EN untuk hidup pokok sedangkan O Kellner mengukur EN untuk ternak penggemukan. Nilai EN berdasarkan Armsby sangat sukses

untuk digunakan sebagai standar sistem evaluasi pakan di Amerika, (walaupun kurang dapat digunakan secara praktis), sedangkan sistem yang dibuat oleh O.Kellner sangat terkenal di Eropa dan masih digunakan sampai sekarang.

Berhubung peternak mengalami kesulitan dalam menggunakan unit satuan energi hasil temuan mereka, maka O. Kellner menggunakan nilai EN dengan menggunakan bahan baku yang biasa digunakan yaitu pati. Nilai EN dari bahan pakan pati yang diberikan pada sapi penggemukan adalah 2,36 Mkal (9,9 MJ/kg), sedangkan nilai EN untuk bahan pakan barley yang diberikan pada hewan yang sama adalah 1.91 Mkal/kg. O. Kellner menghitung nilai setara pati (martabat pati = *starch equivalent*) sebagai $1,91/2,36 = 0,81$ untuk jenis pakan barley yang artinya, 0,81 kg pati setara dengan 1 kg barley. Nilai koefisien dari martabat pati ini (kg) menjadi nilai EN untuk penggemukan yang besarnya adalah 9.9 MJ/kg. Menurut O Kellner nilai EN untuk penggemukan, hidup pokok dan produksi susu berbeda-beda. Untuk itu maka dibuatlah suatu termitologi sebagai kf (koefisien untuk penggemukan), km (koefisien untuk hidup pokok) dan kl (koefisien untuk laktasi) dengan angka rasio masing-masing sebesar 1,0; 1,30, dan 1,25. Sebagai contoh jika hewan membutuhkan energi sebesar 30 MJ (3 kg MP) untuk hidup pokok, maka nilai energi untuk penggemukan apabila dibagi dengan 1,30 adalah merupakan nilai EN untuk penggemukan yaitu $30/1,30 = 23$ MJ (2.3 kg MP).

b. Digestibility of Energy (DE) atau Energi Tercerna (EC)

Pengukuran kebutuhan energi untuk ternak yang berdasarkan energi bruto (EB) kurang akurat karena ada energi lain yang terbuang

bersama feses, sehingga tak dapat disumbangkan untuk produksi atau retensi energi tubuh. Pada saat tidak terjadi proses pencernaan makanan, pada dinding usus terjadi proses degradasi yang sisanya akan dibuang melalui saluran pencernaan. Perhitungan nilai kecernaan yang tidak memperhitungkan besarnya sel rusak yang dibuang bersama feses sering diistilahkan dengan kecernaan semu (apparent digestibility), hal ini dikarenakan data tidak dikoreksi dengan besarnya energi berupa dinding sel yang ruptur yang keluar bersama feses. Energi tercerna semu adalah energi bruto (EB) dikurangi dengan energi yang terkandung dalam feses (EF). Sedangkan energi cerna yang sesungguhnya (true digestibility) adalah sejumlah energi yang dikonsumsi dikurangi dengan energi yang keluar bersama feses yang telah dikoreksi dengan energi yang ruptur berupa dinding sel.

$$EC \text{ semu} = \text{Konsumsi energi} - \text{energi di feses}$$

$$EC \text{ sesungguhnya} = \text{konsumsi energi} - (\text{energi feses} + \text{energi endogenus})$$

c. Metabolizable of energy (ME) atau energi termetabolis (EM)

Pada ruminansia, hewan akan mengalami kehilangan energi bersama dengan urin dan gas metan hasil fermentasi di rumen. Besarnya nilai EM adalah nilai DE dikurangi dengan energi urin (EU) dan energi gas metan (Em). Energi yang keluar bersama urin berupa senyawa N, seperti urea, asam hipurat, kreatinin, alantonin, glukoronat dan asam sitrat. Gas metan yang dihasilkan sangat erat hubungannya dengan jumlah, kualitas dan jenis pakan yang dikonsumsi. Pada pengukuran pemenuhan nutrisi untuk hidup pokok saja, besarnya gas

metan yang dikeluarkan sekitar 8% dari nilai GE atau 12% dari nilai EM (Edey, 1988; Takahashi, 2000). Makin tinggi tingkat kecernaan pakan maka produksi gas metan semakin rendah (2% - 7% dari GE). Sedangkan Johnson dan Johnson (1995) menyatakan bahwa energi yang hilang bersama metan sebesar 2%-12% dari konsumsi energi, sementara Pelchen dan Peters (1998) melaporkan bahwa metan yang diproduksi ternak domba sebesar 7,22% dari energi yang dikonsumsi. Untuk mendapatkan informasi besarnya masing-masing energi tersebut perlu dilakukan penelitian dengan model neraca pemanfaatan energi pada pakan. Besaran feses, urin dan gas metan diukur satu per satu dalam kandang metabolik. Untuk pengukuran gas metan, hewan harus ditempatkan dalam ruang respirasi (respiration chamber). Jika alat tersebut tidak tersedia, gas tersebut dapat diestimasi dari besarnya GE ataupun diukur dengan gas test (Menke test) dan metode RUSITEC (rumen simulasi teknik). Estimasi besarnya EM adalah sekitar 0,8 dari nilai DE, artinya sekitar 20% dari DE semu dikeluarkan bersama urin dan gas metan. Untuk menghitung produksi gas metan juga dapat dilakukan secara stoikiometri dari terbentuknya VFA hasil fermentasi, yaitu asam asetat (C2), asam propionat (C3), dan asam butirat (C4) melalui persamaan CH_4 (metana) = $0,45 C_2 - 0,275 C_3 + 0,40 C_4$ (Moss *et al.*, 2000). Angka koefisien yang tinggi pada C2 dan C4 memberi arti bahwa jika konsentrasi asetat dan butirat hasil fermentasi meningkat maka produk gas metan semakin tinggi pula.

Nilai EM sesungguhnya adalah dihitung dari DE semu dikurangi energi endogenous, energi urin dan gas metan. Faktor yang mempengaruhi nilai EM dari suatu bahan pakan adalah :

1. Besarnya zat yang hilang bersama feses

2. Species hewannya
3. Kelengkapan dari asam amino untuk sintesa protein
4. Cara pemberian pakan
5. Tingkat pemberian pakan
6. Jumlah produksi gas metan

Beberapa nilai EM dari berbagai jenis pakan seperti tertera pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai EM dari berbagai jenis pakan pada ruminansia

Hewan	Pakan	Gross Energi	Kehilangan Energi			EM
			Feses	Urin	Metan	
Domba	Barley	18.5	3.0	0.6	2.0	12.9
	Ryegrass kering	19.5	3.4	1.5	1.6	13.0
	Ryegrass kering tua	19.0	7.1	0.6	1.4	9.9
	Rumput hay	18.0	5.4	0.9	1.5	10.2
	Rumput hay tua	17.9	7.6	0.5	1.4	8.4
	Rumput silase	19.0	5.0	0.9	1.5	11.6
Sapi	Jagung	18.9	2.8	0.8	1.3	14.0
	Barley	18.3	4.1	0.8	1.1	12.3
	Dedak gandum	19.0	6.0	1.0	1.4	10.6
	Lucerna hay	18.3	8.2	1.0	1.3	7.8

Sumber : Mc Donald (1988)

Dari tabel di atas terlihat bahwa nilai EM dari bahan barley sangat dipengaruhi oleh jumlah energi yang hilang bersama feses. Nilai EM pada ruminansia berbeda dengan non ruminansia, perbedaan ini disebabkan adanya produksi gas metan yang dikeluarkan dari hasil fermentasi rumen. Energi yang hilang bersama urin dihitung dari setiap 1 g N yang diekskresikan sebagai urea setara dengan nilai 31 KJ. Angka tersebut menunjukkan bahwa pada peristiwa sintesa protein akan terjadi perombakan N dengan jumlah yang berbeda tergantung

kelengkapan dari asam amino yang tersedia. Bentuk pakan seperti pellet, bubuk (mash) atau bentuk hasil potongan-potongan, akan menghasilkan jumlah feses yang tidak sama sehingga secara tidak langsung mempengaruhi nilai EM. Demikian pula jumlah konsumsi pakan akan mempengaruhi nilai pencernaan pakan sehingga nilai EM akan berbeda. Pemberian senyawa yang bersifat defaunasi (chloroform dan monensin) akan mempengaruhi jumlah produksi gas metan sehingga dapat memperbaiki nilai EM. Banyak penelitian yang dapat membuktikan bahwa produksi metan dapat diturunkan dengan berbagai cara, antara lain dengan pemberian ionophore monensin pada domba (Astuti dan Djajanegara 1988), pemberian minyak kelapa (Machmuler and Kreuzer, 1999), peningkatan proporsi konsentrat terhadap hijauan dalam ransum (Benchaar *et al.*, 2001, Yusiati *et al.*, 2012), pemberian saponin asal lerak pada domba dan sapi potong (Wina *et al.*, 2006; Astuti *et al.*, 2009; Suharti *et al.*, 2011; Thalib *et al.*, 2010) dan perlakuan tannin pada fermentasi rumen (Jayanegara *et al.*, 2009). Hasil penelitian membuktikan bahwa ada korelasi positif yang kuat antara kandungan NDF bahan pakan dan konsentrasi metan yang dihasilkan (Santoso *et al.*, 2007). Estimasi nilai EM untuk aktivitas hidup pokok dan penggemukan akan sedikit berbeda karena untuk hidup pokok akan dihasilkan produksi panas yang tinggi, yang merupakan hasil dari dua perombakan yaitu perubahan lemak menjadi ATP dan penggunaan ATP sendiri untuk memelihara jaringan tubuh, sedangkan pada kondisi penggemukan hanya terjadi proses anabolisme saja.

Sistim EM yang digunakan di Inggris

Sistem energi untuk ruminansia yang digunakan di negara Inggris dikembangkan oleh K. L. Blaxter. Nilai energi diekspresikan sebagai *energy metabolisme* (EM) dan nilai ini pada ransum dihitung melalui evaluasi masing-masing jenis pakan. Kebutuhan energi untuk hewan yang diekspresikan dalam bentuk EN dapat digunakan untuk menduga nilai EM untuk hidup pokok, penggemukan dan laktasi melalui suatu persamaan. Nilai rasio EM/EB menggambarkan koefisien metabolisme (qm) suatu pakan dengan satuan MJ/kg. Nilai ini dapat dikonversikan menjadi nilai bahan kering EM (MJ/kg) pakan, dengan mengalikan faktor 18,4.

Ada perbedaan persepsi diantara para ahli nutrisi dalam menterjemahkan penggunaan sistim energi ini. Di negara German, penggunaan sistem energi berdasarkan nilai EN, DE atau bahkan EB. Nilai EB ini sangat bergantung pada nilai koefisien pencernaan pakan. Di negara Eropa Timur sistem yang dipakai adalah sama seperti yang sudah dipakai di negara Belanda, Perancis, Swiss dan German Barat. Di Belanda penggunaan cara perhitungan energi dengan istilah *Animal Production Level* (APL). Perhitungan berdasarkan nilai EN untuk hewan tumbuh mempunyai nilai $APL = 1,5$. Di Perancis penggunaan sistim energi sama dengan di Belanda, namun dengan angka faktor koreksi yang berbeda. Untuk hewan tumbuh yang diberi pakan barley mempunyai nilai EN_{mp} sebesar 9 MJ/kg bahan kering pakan, sedangkan di Belanda nilai EN_{mp} sebesar 8 MJ/kg bahan kering pakan. Di Skandinavia, sistim EN diekspresikan sebagai *Scandinavian Feeds Units* (SFU) yang mempunyai kemiripan dengan sistem Martabat Pati (MP) dari O.Kellner. Sistim ini masih digunakan terus oleh beberapa negara tetangganya seperti Norwegia, Swedia dan Denmark.

Di Amerika sistem yang digunakan adalah *Total Digestible Nutrient* (TDN). Khusus untuk perhitungan sapi perah dan sapi potong digunakan sistem EN. Untuk sapi potong digunakan EN_m (net energi untuk hidup pokok) dan EN_p (net energi untuk pertumbuhan). Nilai-nilai ini ternyata lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai yang digunakan oleh sistem di Inggris. Hal ini disebabkan oleh rendahnya nilai ratio angka metabolisme terhadap bahan kering pakan (M/D). Pada hewan laktasi digunakan sistem TDN dan EM seperti halnya di negara Belanda, dengan sedikit perbedaan angka faktornya, misalnya pakan yang mengandung ME 10 MJ/kg bahan kering pakan setara dengan besarnya EN 6 MJ/kg bahan kering (Amerika) dan EN 5.8 MJ/kg bahan kering (Belanda).

Pada tahun 1966, saat buku *Animal Nutrition* dibuat pertama kali, sistem energi untuk ruminansia yang sering digunakan adalah martabat pati (MP) menurut O.Kellner. Kini sistem tersebut sedang dalam tahap evaluasi. Harapannya akan dibuat sistem yang baru, lebih akurat, tidak rumit dan dapat diterima secara internasional. Sistem energi yang paling kuno telah dibuat untuk hewan laktasi dan mempunyai keakuratan yang lebih baik dibandingkan untuk hewan tumbuh. Demikian pula dengan nilai variasi efisiensi penggunaan ME dan kandungan energi (pada susu) yang ternyata lebih kecil pada sapi perah dibandingkan pada sapi potong (kenaikan bobot badan).

Sistem evaluasi energi pakan di Indonesia belum ada. Telah banyak hasil evaluasi energi pada berbagai ternak di Indonesia namun belum dirumuskan dalam suatu sistem yang terstandar. Para peneliti dan praktisiwan banyak mengadopsi standar kebutuhan berdasarkan buku NRC atau berdasarkan pendekatan dari data pengalaman di

lapang. Sebagai nutritionist yang handal, Profesor Toha Sutardi pernah menulis tentang kebutuhan energi pada ternak sapi perah, namun hingga kini belum sempat diterbitkan.

d. Heat Increment (HI) dan peningkatan suhu tubuh atau produksi panas tubuh (PP)

Setelah ternak makan, maka akan terjadi proses pencernaan yang diikuti dengan proses transpor nutrient melalui sistem peredaran darah dilanjutkan dengan proses metabolisme di tingkat sel yang berakibat suhu tubuh akan meningkat. Peningkatan suhu inilah yang sering diterjemahkan dengan istilah *heat increment* atau produksi panas metabolisme. Untuk mencapai keseimbangan suhu, maka panas tubuh yang terbentuk harus dibuang. Proses pembuangan panas ini sering disebut dengan peristiwa kehilangan panas (*heat loss*). Panas yang diproduksi tersebut dikeluarkan melalui beberapa cara yaitu proses radiasi, konduksi, konveksi dan evaporasi. Pada hewan yang sedang puasa, beberapa saat setelah diberi makan, maka akan terjadi peningkatan produksi panas diatas produksi panas pada kondisi metabolisme basal. Kelebihan panas (selisih produksi panas saat sebelum dan sesudah makan) dikenal dengan istilah "*heat increment of food*" atau panas metabolisme yaitu kenaikan suhu yang disebabkan proses mencerna, transpor dan metabolisme makanan. Satuan yang biasa digunakan adalah MJ/kg bahan kering pakan. Terjadinya peningkatan suhu tersebut lebih disebabkan oleh kurang efisiennya pemanfaatan energi saat terjadi proses metabolisme nutrien. Sebagai contoh pada saat oksidasi glukosa untuk membentuk ATP, terjadi kehilangan panas sekitar 0,31 sehingga nilai efisiensi energi dari

oksidasi senyawa tersebut sekitar 0.69. Energi yang hilang sebesar 0,31 tersebut digunakan untuk proses mastikasi, mendorong makanan ke dalam saluran pencernaan, proses absorpsi dan peristiwa pemindahan atau pertukaran ion Na^+ dan K^+ yang melawan konsentrasi gradien yang memerlukan ATP. Pada saat proses inilah terbentuk panas sehingga mengakibatkan peningkatan produksi panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi di dalam rumen membutuhkan energi sebesar 5% - 10% dari total konsumsi EB. Produksi panas yang terbentuk sebesar angka tersebut harus dikeluarkan agar tidak terjadi *heat shock* (cekaman panas). Nilai besaran produksi panas ditingkat organ jeroan atau diistilahkan dengan panas metabolisme dilaporkan sekitar 30% - 50% dari total produksi panas tubuh (PP). Demikian pula hasil yang didapat pada ternak domba dan kambing di Indonesia yang diberi pakan konsentrat dan hijauan menghasilkan nilai panas metabolisme sebesar 20% -30% dari total PP (Astuti, et al., 2000)

e. Net Energy (NE) atau Energi yang diretensi (RE)

Besarnya nilai energi neto (EN) atau retensi energi (RE) merupakan sejumlah energi yang digunakan untuk hidup pokok dan produksi. Besarnya EN merupakan selisih dari nilai EM dikurangi nilai PP (EM - PP). Nilai EN untuk hidup pokok meliputi untuk kontraksi otot jantung dan saluran pencernaan serta pertukaran ion-ion. Besarnya EN untuk produksi dapat bermacam-macam bentuknya seperti produksi susu, daging, tenaga, bulu dan anak. Untuk mengukur total produksi panas tubuh digunakan alat kalorimeter hewan atau *respiration chamber*. Panas tersebut dapat diukur secara langsung

dengan alat kalorimeter langsung maupun melalui pertukaran gas dengan alat kalorimeter tak langsung . Pada hewan ruminansia, pengukuran PP selaku dikoreksi dengan angka panas fermentasi di rumen yang besarnya sekitar 2 KJ/liter gas. Nilai NE pada ruminansia dapat diukur dengan menggunakan metode ruang urea (urea space). Dari komposisi tubuh berupa air tubuh dapat dihitung besarnya lemak dan protein tubuh. Total lemak dan protein tubuh dikalikan dengan besarnya pertambahan bobot badan dan dikalikan dengan nilai setara kalor maka akan didapatkan nilai EN.

B. Kandungan Energi Pakan dan Pemanfaatannya dalam Tubuh Ternak

Nutrien atau zat makanan sangat dibutuhkan oleh ternak untuk pembentukkan jaringan tubuh, sintesa susu, sintesa telur, pembentukan tenaga, mengaktifkan kerja enzim dan hormon serta untuk memenuhi kebutuhan hidup pokok berupa kontraksi otot dan organ tubuh. Kemampuan pakan untuk menyediakan energi merupakan unsur penting sebagai indikator nilai dari kandungan nutrisi pakan tersebut. Ternak yang sedang puasa atau kelaparan, energi yang digunakan dapat berasal dari perombakan cadangan tubuh, mulai dari glikogen, lemak dan yang terakhir protein tubuh. Energi yang digunakan untuk aktivitas hidup pokok (bila ternak sedang istirahat dan tidak produksi) mengakibatkan adanya kenaikan suhu yang terbentuk dan akan dikonversikan ke dalam bentuk panas tubuh. Ternak yang sedang puasa, jumlah panas yang diproduksi besarnya sama dengan energi yang dikatabolis dari jaringan, sehingga keadaan ini disebut dengan kondisi metabolisme basal. Pada ternak yang sedang tumbuh, kelebihan energi setelah digunakan untuk hidup pokok, sisa

proteinnya akan digunakan untuk pembentukan jaringan baru. Pada ternak yang telah dewasa, menjelang tua kelebihan energi ini akan disimpan dalam bentuk lemak, sedangkan untuk ternak yang sedang status produksi, kelebihan energi akan digunakan untuk memproduksi produk sesuai dengan status fisiologisnya, misalnya hewan laktasi akan memproduksi susu, unggas petelur akan memproduksi telur, ternak kerja akan menghasilkan tenaga dan hewan bunting akan menyediakan nutriennya untuk fetus.

C. Efek Suhu Lingkungan terhadap Evaluasi Pemanfaatan Energi

Ternak yang hidup di negara beriklim tropis lembap mempunyai kemampuan beradaptasi dengan kondisi lingkungan, namun untuk beradaptasi tentunya memerlukan “ongkos” dalam upaya meregulasikan panas tubuh sehingga energi yang seharusnya diretensi banyak terbuang. Adaptasi fisiologis didefinisikan sebagai perubahan tingkah laku ternak dan respons metabolik yang akan berdampak pada produktivitasnya. Ciri khas ternak yang hidup di negara tropis adalah mampu beradaptasi dengan suhu lingkungan, badan lebih kecil, bulu lebih tipis, dan biasanya produktivitasnya rendah (Devendra, 2010). Ternak tropis merupakan ternak hasil seleksi yang panjang yang ditekankan pada survivabilitas dan reproduksi sehingga mengorbankan produksinya. Kemampuan adaptasi yang tinggi pada suhu dan kelembapan yang tinggi berakibat pada neraca pemanfaatan energi yang kurang efisien sehingga mengakibatkan produktivitas ternak kurang optimal bila dibandingkan dengan ternak yang dipelihara di negara subtropis. Faktor kekurangefisienan dalam

pemanfaatan energi tubuh dikarenakan tingginya pengeluaran panas, yang merupakan salah satu penyebab rendahnya produksi dan reproduksi ternak lokal di daerah tropis. Ternak tropis, terutama yang digembalakan, akan lebih menderita kondisinya oleh pengaruh panas lingkungan sehingga banyak yang mengalami *heat stress*. Definisi *heat stress* menurut Chase L.E. dalam bukunya “Climate Change Impacts on Dairy Cattle” adalah ketidakmampuan ternak untuk mengeluarkan sejumlah panas tubuh untuk memelihara keseimbangan suhu tubuhnya. Istilah *fenotipik plasticity* yaitu upaya ternak untuk bertahan di lingkungan tropis karena adanya beberapa *gene family* yang khusus dan dapat mengontrol efek *heat stress*, seperti *heat stress protein* (HSP). Mekanisme suatu organisme dalam merespon *heat stress* salah satunya dengan mensintesa suatu protein spesifik (HSP) yang berfungsi melindungi sel dari kerusakan efek panas (Nover dan Scharf, 1997). Fenomena ekspresi gen tersebut memang terjadi dan tentunya hal ini mengakibatkan ternak tropis masih mampu bertahan walaupun dengan keadaan yang kurang optimal. Oleh karena itu, perlu kiranya kita mencermati hal yang saling berkaitan dengan upaya peningkatan efisiensi penggunaan energi (akibat reaksi yang terjadi dalam tubuh) pada ternak yang hidup di daerah tropis.

Semua ternak yang hidup di lingkungan tropis telah beradaptasi dengan baik di lingkungan hidupnya. Yang menjadi masalah adalah bagaimana caranya ternak yang hidup di daerah beriklim tropis tetap dapat menghasilkan produksi yang optimal melalui penekanan energi yang terbuang bersama metana dan panas tubuh. Suhu lingkungan dan kelembaban yang nyaman untuk ternak sangat menentukan produktivitasnya.

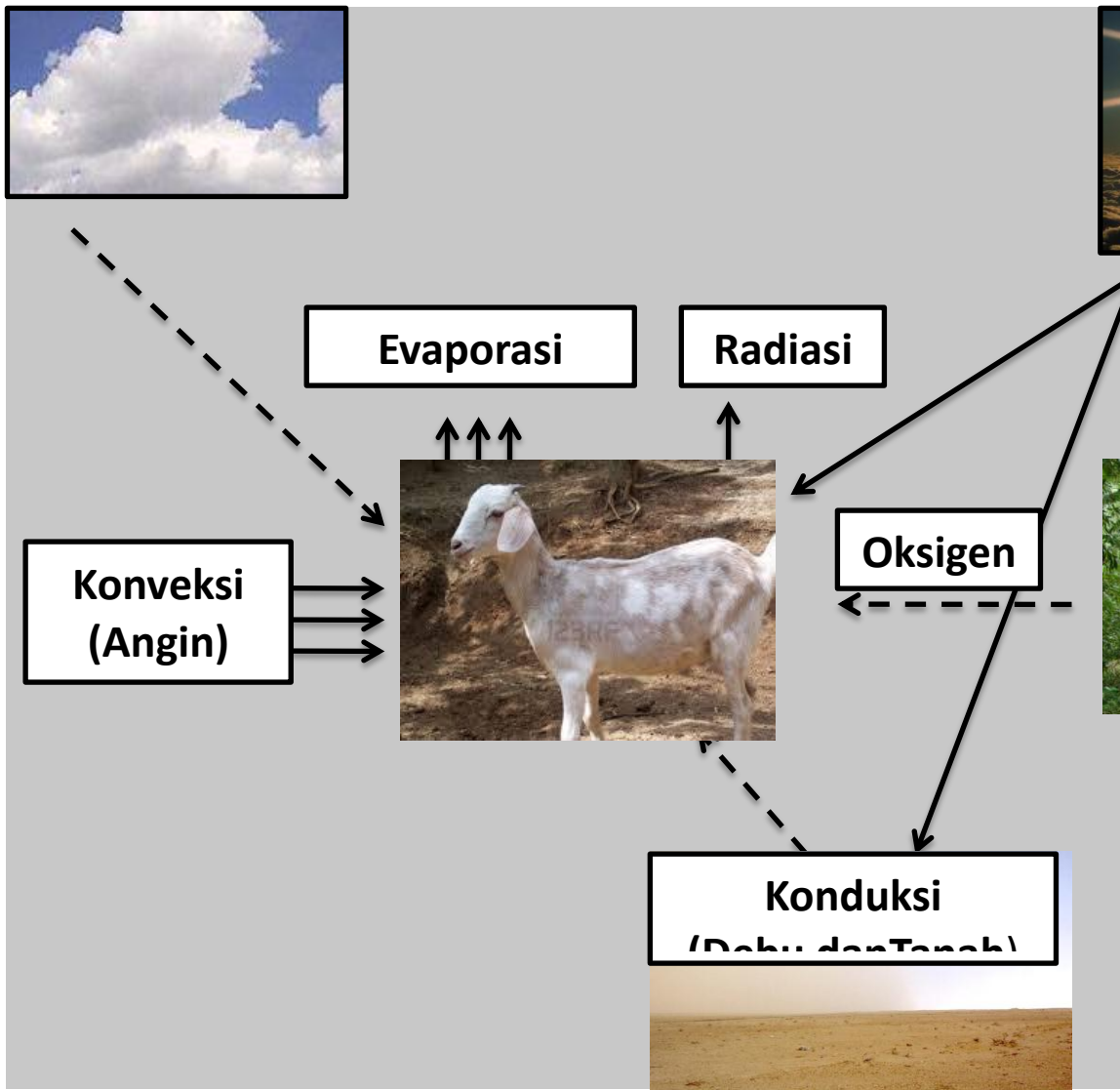
Ternak memerlukan energi yang berasal dari asupan pakan untuk keperluan tumbuh dan reproduksi. Pemanfaatan energi asal pakan tersebut akan berbeda bergantung pada faktor status fisiologi tubuh, jenis bangsa, aktivitas, dan suhu lingkungan ternak. Ternak yang hidup di negara subtropis dengan kondisi suhu nyaman dan kelembapan rendah maka produktivitas akan lebih baik karena energi untuk adaptasi dengan lingkungan dapat ditekan sehingga energi yang diretensi tubuh lebih tinggi.

Sudarman dan Ito (2000) membuktikan bahwa domba yang dipelihara pada suhu yang tinggi (33°C, seperti di negara tropis) dibandingkan dengan domba yang dipelihara di suhu nyaman (23°C seperti di negara subtropis) mempengaruhi angka pengeluaran produksi panas tubuh. Dilaporkan bahwa domba dengan bobot 35 kg yang terpapar di suhu lingkungan 33°C menghasilkan panas tubuh sebesar 23,76 kJ/kg^{0.75}/jam atau setara dengan 8,20 MJ/ekor/h, sedangkan untuk kelompok domba yang dipelihara pada suhu 23°C dihasilkan produksi panas tubuhnya lebih rendah yaitu 20,63 kJ/kg^{0.75}/jam atau setara dengan 7,12 MJ/ekor/h. Ini berarti ada pemborosan energi yang terbuang pada domba yang dipelihara pada suhu 33°C sebesar kurang lebih 13%. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa kenaikan suhu lingkungan di zona yang kurang nyaman dapat mengakibatkan kenaikan produksi panas tubuh.

Contoh lain pada ternak sapi perah di negara empat musim yang mengalami *heat stress* yaitu terpapar pada kondisi THI (temperature humidity index) lebih dari 72, dilaporkan nyata mempengaruhi status reproduksinya yaitu a) mengalami penurunan panjang dan intensitas estrus, b) penurunan fertilitas, c) penurunan

ukuran dan perkembangan folikel ovarium, d) penurunan pertumbuhan fetus dan anak, serta e) peningkatan risiko kematian embrio (Jordan, 2003).

Proses termoregulasi pada ternak dapat melalui empat cara yaitu konduksi yaitu kehilangan panas melalui cara merambatkan molekul-molekul, konveksi yaitu menghilangkan panas melalui bantuan aliran udara, evaporasi yaitu kehilangan panas dalam bentuk proses menguap, dan radiasi yaitu pemancaran panas melalui gelombang elektronit.



Gambar 17. Proses arus pengeluaran panas tubuh (energi) hewan ke lingkungan

Beberapa mekanisme perubahan aktivitas ternak yang terpapar di suhu yang dingin atau panas dalam rangka melakukan adaptasi dan proses homeostasis dalam tubuhnya (Guyton, 1992).

Tabel 11. Mekanisme perubahan aktivitas akibat ternak terpapar pada suhu yang beda

Pengaruh	Mekanisme perubahan aktivitas
<p>Suhu lingkungan dingin : Ternak akan menurunkan kehilangan panas dengan cara</p> <p>Meningkatkan produksi panas tubuh dengan cara</p>	<p>a. Pembuluh darah dan permukaan tubuh melakukan vasokonstriksi (penyempit)</p> <p>b. Mengurangi luas permukaan yang terbuka</p> <p>a. Kontraksi otot dengan menggerakkan tubuh</p> <p>b. Menggigil (shivering thermogenesis)</p> <p>c. Aktivitas makan meningkat</p> <p>d. Sekresi kelenjar tiroid meningkat</p>
<p>Suhu lingkungan panas : Meningkatkan pengeluaran panas dengan cara</p> <p>Produksi panas diturunkan dengan cara</p>	<p>a. Pembuluh darah dan permukaan tubuh dilatasi (melebar)</p> <p>b. Berkeringan karena mekanisme tubuh</p> <p>a. Aaktivitas tubuh menurun</p> <p>b. Sekresi kelenjar tiroid dan ephineprin menurun</p> <p>c. Aktivitas makan menurun</p>

D. Pengukuran neraca energi pada ruminansia

Untuk keperluan informasi data pengukuran energi, beberapa pendekatan pengukuran metabolisme kuantitatif telah dilakukan.

D.1. Koleksi total

Tabel di bawah ini adalah hasil neraca energi dari domba yang diberi pakan dengan jumlah konsentrat yang berbeda. Pengukuran energi yang keluar bersama feses dan urin dilakukan dari data koleksi total. Energi feses merupakan data perkalian total feses dikalikan dengan nilai energi feses (hasil analisis dengan bom kalorimeter). Energi urin didapatkan dari perkalian nilai setara kalor setiap 1 g N-urin mengandung 34 KJ. Energi yang keluar berupa gas metan diestimasikan sebesar 12% dari EB (Edey, 1983). Hasil data menunjukkan bahwa pemberian konsentrat dapat menghasilkan nilai rasio EM/EB (efisiensi energi metabolis) yang cukup tinggi yaitu di atas 80%.

Tabel 12. Nilai neraca energi dari domba yang diberi perbedaan jumlah konsentrat

Parameter	K-700	K- 550	K- 400
Konsumsi Energi (MJ/h)	15.62	13.62	11.58
Energi Feses (MJ/h)	4.71	3.93	3.32
Energi Tercerna (MJ/h)	10.91	9.69	8.26
Energi Gas Metan (MJ/h)	1.87	1.63	1.39
Energi Urine (MJ/h)	0.15	0.10	0.12
E. metabolis (MJ/h)	8.89	7.95	6.67
EM/EC (%)	81.48	82.04	81.84

Sumber Astuti et al (1997) K-700 = konsentrat 700g/e/h; K-550 = konsentrat 550 g/e/h; K-400 = konsentrat 400 g/e/h

Tabel 13. menunjukkan neraca energi yang diukur dengan koleksi total dan dikombinasikan dengan data pengukuran total produksi panas dan data panas metabolisme (produksi panas jeroan) dengan teknik isotop. Data tersebut menunjukkan bahwa panas metabolisme besarnya berkisar antara 20% – 30% dari total panas tubuh.

Tabel 13. Neraca energi kambing betina tumbuh

Parameter (MJ/h)	Ad libitum	80% ad lib	60% ad lib
Konsumsi Energi	6.64	6.28	6.22
Energi Feses	2.70	3.07	2.51
Kecernaan Energi	3.94	3.21	3.71
Energi urine	0.04	0.05	0.07
Energi gas	0.53	0.50	0.50
Energi metabolisme	3.37	2.66	3.13
Retensi energi	0.56	0.66	0.91
Produksi Panas	2.81	2.00	2.23
Panas metabolisme	0.64	0.64	0.67
Panas metabolis/total PP (%)	22.78	32.00	30.05

Sumber : Astuti et al. (2000)

D.2. Pengukuran Retensi Energi dari balans C dan N

Bentuk simpanan energi dalam tubuh dominan berupa protein dan lemak, sedikit sekali dalam bentuk karbohidrat. Oleh sebab itu jumlah protein dan lemak yang didepot dapat diestimasi dari neraca C dan N kemudian dihubungkan dengan nilai kalori dari nutrien tersebut.

Kita ketahui bahwa C dan N masuk ke dalam tubuh bersama dengan makanan, sedangkan ekskresi N bersama urin dan feses, sementara ekskresi C melalui bentuk CO₂ dan metan. Protein tubuh mengandung 160 g N/kg dan 512 g C/kg tubuh, sedangkan C sebagai lemak sebesar 746 g C/kg. Nilai setara kalor untuk protein adalah 23.6 MJ/kg dan lemak 39.3 MJ/kg (sapi dan domba).

Rasio carbon terhadap nitrogen telah lama digunakan untuk menentukan nilai retensi energi pada ternak ruminansia. Pada pekerjaan ini tidak diperlukan koleksi feses dan urine total, namun lebih pada perhitungan kimiawi dari rasio C/N dalam pakan, feses, dan urin (Seperti contoh pada perhitungan di atas).

D.3. Metode Pemotongan

Metode pemotongan ternak yang dilanjutkan dengan analisis komposisi keseluruhan tubuh memungkinkan untuk mendapatkan data retensi energi. Metode ini dianggap cukup mahal karena harus mengorbankan ternaknya. Terkait dengan metode pemotongan hewan percobaan, kini Komisi Etik Penggunaan Hewan Percobaan sangat tidak merekomendasikan metoda ini. Semua penelitian yang menggunakan hewan percobaan dan mengkondisikan hewan tersebut kurang nyaman saat digunakan penelitian (pengukuran atau pemeliharaan), maka perlu mendapat persetujuan dari komisi ETIK HEWAN. Beberapa keuntungan bagi penelitian yang telah mendapat *review* dari komisi etik hewan adalah a). terhindar dari kesalahan data yang disebabkan oleh kesalahan prosedur dalam menangani hewan coba, b) memudahkan saat memasukan paper/tulisan ke jurnal internasional. Mengacu pada penelitian di negara maju, persetujuan

dari komisi etik hewan sudah menjadi keharusan pada saat seleksi masuk ke jurnal internasional.

Hasil penelitian pada domba priangan menunjukkan adanya nilai kesamaan dari pengukuran komposisi tubuh dengan menggunakan metoda pemotongan dibandingkan dengan metoda *Urea Space* (ruang urea).

Tabel 14. Validasi teknik pengukuran komposisi tubuh

Komposisi tubuh	% bobot badan
Teknik pemotongan :	
- Air tubuh	65,87 ± 5,67
- Lemak tubuh	9,86 ± 1,59
- Protein tubuh	16,63 ± 1,14
Teknik ruang urea:	
- Air tubuh	68,64 ± 1,28
- Lemak tubuh	9,78 ± 1,50
- Protein tubuh	16,87 ± 1,30

Sumber: Astuti et al (1999)

Dari data komposisi tubuh data dihitung nilai retensi energi dengan mengalikan data total komponen tubuh dengan nilai setara kalori. Nilai setara kalor masing-masing untuk lemak sebesar 9 kalori/g, dan protein sebesar 4 kalori/g (Mc. Donald, 1988).

Tabel 15 . Komposisi kambing betina tumbuh yang diberi berbagai tingkat ransum

Parameter	R1	R2	R3
Air (%BB)	60.5	60.23	60.57
Lemak (%BB)	21.0	21.3	20.2
Protein (%BB)	15.55	15.5	15.7
PBBH (g/h)	50	58	80
Total tambah lemak(g/h)	10,5	12,18	16,06
Total tambah protein (g/h)	7,75	8,70	12,56
E. asal lemak (kal/g)	94,50	109,62	145,44
E. asal protein (kal/g)	31	34,8	50,24
Total Retensi E. (kal/g)	125,50	144,42	195,68

Sumber : Astuti et al. (19..) R1 = ad libitum R2= 90% ad libitum, R3 = 80% ad libitum

D.4. Metode pelarutan Isotop Carbondioxide Entry Rate Technique (CERT)

Pada era tahun 1970 sampai 1995, penggunaan isotop sebagai perunut pada penelitian metabolisme kuantitatif, termasuk pengukuran produksi panas tubuh dengan metode CERT (*Carbon Dioxide Entry Rate Technique*) sangat berkembang pesat. Pelopor CERT adalah Prof. Bruce Young dari Australia yang sempat menjadi dosen tetap di universitas Alberta Kanada. Pada era tahun 70 an IPB adalah satu-satunya Perguruan Tinggi di Indonesia yang memiliki fasilitas laboratorium isotop, selain BATAN. Neraca energi pada domba dan kambing tropis pada berbagai status gizi dan kondisi faal telah dievaluasi dan merupakan salah satu luaran yang dapat berkontribusi dalam menentukan kebutuhan pakan untuk ternak tropis.

Prinsip kerja dengan menggunakan CERT yaitu untuk mengukur produksi CO₂ melalui pelarutan dengan ¹⁴C. Azas CERT digunakan untuk mengukur laju pembentukan CO₂ hasil katabolisme tubuh yang didasarkan pada teknik pelarutan isotop Na¹⁴HCO₃ yang diinfusikan dengan laju tetap kedalam tubuh. Perlakuan didahului dengan penyuntikan dosis awal 40 uci selama satu menit dan dilanjutkan dengan dosis infusi tetap sebanyak 0,5 uci/menit sampai dosis plateau atau konstan di dalam tubuh domba atau kambing. Sampel darah awal diambil sebelum infus masuk (0 menit) dan pengambilan secara berkala setiap 30 menit untuk memperoleh data aktivitas jenis bicarbonat, lalu dilakukan perhitungan dengan cara mencacah kristal ¹⁴CO₂ dari hasil kristalisasi sampel tersebut. Sample kristal CO₂ dicampur dengan menggunakan larutan pengemban (cocktail), kemudian dicacah dengan alat *Liquid Scintillation Counter*. Hasil cacahan dalam aktivitas jenis dengan satuan mCi, diterjemahkan menjadi konsentrasi CO₂.

Adapun rumus pendekatan pengukuran produksi panas tubuh dengan metode CERT adalah sebagai berikut :

$$\text{Produksi CO}_2 = \frac{\text{laju infusi bikarbonat-}^{14}\text{C}}{\text{aktivitas spesifik }^{14}\text{CO}_2}$$

Jumlah total produksi CO₂ dikalikan dengan nilai setara kalor CO₂ pada kondisi *respiration quotient* 0.80 (diestimasi hewan makan campuran karbohidrat, protein dan lemak) maka akan didapat nilai produksi panas tubuh.

Keuntungan lain penggunaan metode CERT, di samping untuk pengukuran produksi panas tubuh pada hewan dalam kondisi bebas,

juga dapat untuk menilai proses glukoneogenesis dengan prekursor berupa asam lemak propionat hasil fermentasi di rumen (Manik *et al.*, 1989; Sastradipradja, 1995).

Kinetika Glukosa dan Glukoneogenesis

Pengukuran kinetika glukosa dan glukoneogenesis secara *in vivo* akan melibatkan fiksasi CO₂. Pekerjaan ini dilakukan setelah pengukuran laju alir darah. Dalam teknik ini yang diukur adalah produksi CO₂ yang selanjutnya secara tidak langsung dipakai sebagai patokan dalam menentukan produksi panas (PP) oleh tubuh.

Kinetika glukosa diukur dengan menggunakan kaidah pengenceran glukosa-2-³H yang disuntikan dengan dosis tunggal dalam waktu singkat yaitu satu menit secara intra vena sesuai petunjuk Katz dan Dunn (1961) dalam Bergman (1983). Pul dan fluks glukosa dihitung dari berkurangnya aktivitas jenis glukosa (berlabel ³H) dalam plasma dengan berjalannya waktu (Sastradipradja *et al.*, 1976).

Derajat glukoneogenesis ditentukan dengan menginfusikan larutan NaH¹⁴CO₃ dengan laju tetap ke dalam tubuh melalui pembuluh darah vena. Besarnya proses glukoneogenesis didasarkan pada anggapan bahwa sebagian glukosa endogen melibatkan fiksasi CO₂. Dari hasil tersebut diperoleh koefisien alih (KA) yang merupakan nisbah antara aktivitas jenis ¹⁴C-glukosa dengan aktivitas jenis ¹⁴C-bikarbonat darah. Nisbah ini merupakan indeks besarnya proses glukoneogenesis yang melibatkan fiksasi CO₂ tersebut (Sastradipradja *et al.*, 1976; Manik dan Sastradipradja, 1989).

Rumus pendekatan pengukuran glukoneogenesis dengan metode CERT mengikuti rumusan sebagai berikut :

PUL Glukosa(g)=dosis isotop $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ / aktivitas jenis $^{14}\text{CO}_2$

$$\text{Ruang glukosa (\%)} = \frac{\text{PUL glukosa}}{\text{Konsentrasi glukosa X BB}} \times 100\%$$

Fluks glukosa (mg/menit) = k X PUL glukosa

$$\text{Koefisien alih (\%)} = \frac{\text{Aktivitas jenis } ^{14}\text{C-glukosa}}{\text{Aktivitas jenis } ^{14}\text{C-BaCO}_3} \times 100\%$$

Glukoneogenesis(mg/menit)=KoefisienalihX 6 X fluks glukosa

Faktor 6 pada perhitungan glukoneogenesis berasal dari jumlah 6 buah C dalam glukosa. Nilai k pada perhitungan fluks merupakan slope dari persamaan waktu terhadap aktivitas jenis.



Gambar 18. Domba di infusi dengan isotop $\text{Na}^{14}\text{HCO}_3$ (dokumen Astuti, 1995)

Hasil pengukuran produksi panas tubuh dengan menggunakan metoda CERT (Tabel 16). Percobaan yang dilakukan pada kambing etawah dengan tiga status faal yang berbeda yaitu tumbuh, bunting dan laktasi yang diberi pakan *ad libitum*, 80% *ad libitum* dan 60% *ad libitum* merupakan gambaran neraca energi pada ternak lokal (Astuti et al., 2000).

Tabel 16. Neraca energi pada kambing etawah pada kondisi faal dan jumlah pakan yang beda

Parameter	<i>ad libitum</i>	80% dari <i>ad lib.</i>	60% dari <i>ad lib.</i>
--MJ/h--			
<i>Tumbuh :</i>			
Konsumsi energi (KE)	8,53	6,27	4,71
Energi tercerna (EC)	5,22 (61%)	3,71(59%)	2,83(60%)
Energi metabolis (EM)	4,47(53%)	3,10(49%)	2,40(51%)
Produksi panas (PP)	3,63(42%)	3,25(51%)	3,31(70%)
Retensi energi (RE)	0,85(10%)	-0,08(-1%)	-0,91(-19%)
<i>Bunting:</i>			
Konsumsi energi (KE)	17,34	14,48	12,29
Energi tercerna (EC)	10,44(60%)	8,69(60%)	7,34(60%)
Energi metabolis (EM)	8,14(47%)	6,15(42%)	5,05(41%)
Produksi panas (PP)	7,23(41%)	6,09(42%)	4,61(38%)
Retensi energi (RE)	2,67(15%)	0,44(3%)	0,03(0.2%)
<i>Laktasi :</i>			
Konsumsi energi (KE)	15,98	14,07	11,37
Energi tercerna (EC)	10,70(67%)	10,12(72%)	8,18(72%)
Energi metabolis (EM)	9,26(58%)	8,85(63%)	7,10(62%)
Produksi panas (PP)	6,28(39%)	5,46(39%)	5,21(43%)
Retensi energi (RE)	3,16(20%)	3,00(20%)	1,68(15%)

Keterangan : satuan (%) = % dari konsumsi energi (Astuti et al. 2000)

D.5. Metode pengukuran nadi jantung

Pengukuran produksi panas pada ternak yang hidup bebas dapat dilakukan secara non invasive dengan pengukuran nadi jantung. Hubungan antara nadi jantung dengan produksi panas tubuh dapat dijadikan salah satu alternatif pengukuran pada ternak bebas. Alat *Polar Sport Tester* dapat digunakan untuk mengukur nadi jantung yang bersamaan dengan pengukuran produksi panas. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang erat antara data nadi jantung dan produksi panas tubuh pada kambing peranakan etawah yang diukur pada berbagai status faal yang berbeda. Pengukuran produksi panas tubuh dengan metode pengukuran nadi jantung mengikuti persamaan (Astuti *et al.*, 1997; Astuti *et al.*, 2013):

Pada kambing tumbuh:

$$Y_t = 1,5 + 0,0250 X_t \quad (R^2 = 0,72)$$

Y_t = produksi panas tubuh kambing tumbuh (KJ/BB^{0.75}/menit)

dan X_t = jumlah detak jantung/menit kambing tumbuh.

Kambing Bunting :

$$Y_b = 2,46 + 0,0033 X_b \quad (R^2 = 0,93)$$

Y_b = produksi panas tubuh kambing bunting (KJ/BB^{0.75}/menit)

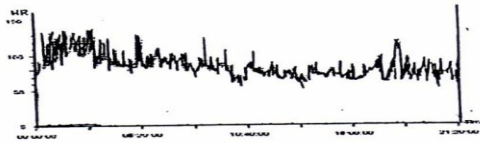
dan X_b = jumlah detak jantung/menit kambing bunting.

Kambing Laktasi:

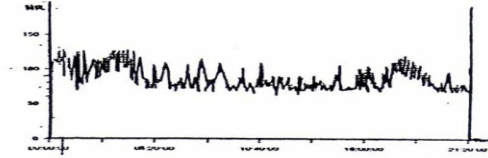
$$Y_l = 5,26 + 0,054 X_l \quad (R^2 = 0,93),$$

Y_l = produksi panas tubuh kambing laktasi (KJ/BB^{0.75}/menit)

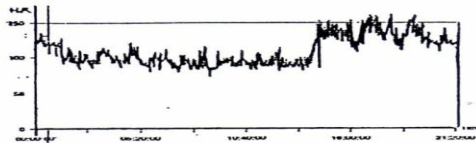
dan X_l = jumlah detak jantung/menit kambing laktasi.



Gambar 4. Grafik Frekwensi Denyut Jantung Kambing Bunting



Gambar 3. Grafik Denyut Jantung Kambing Tumbuh



Gambar 5. Grafik Frekwensi Denyut Jantung Kambing Laktasi

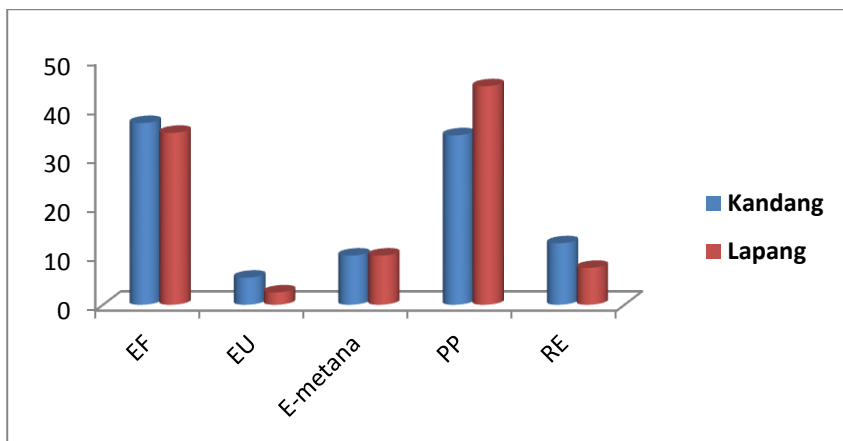
Gambar 19. Gambaran frekwensi nadi jantung kambing lokal selama pengamatan 4 jam



Gambar 20. Alat Polar Sport Tester

Sebagian besar peternak di negara tropis menggembalakan domba atau kambingnya di padang pangan disekitar kebun dan

sawahnya. Ternak yang dikandangkan biasanya diberi rumput dan legum sebagai pakan utama. Hanya sedikit peternak yang memberi konsentrat sebagai pakan tambahan. Suatu penelitian dirancang untuk mengetahui jumlah energi ekstra yang digunakan oleh ternak saat beraktivitas di padang pangonan selama merumput dan dibandingkan dengan yang diberi rumput di kandang (*cut and carry*) (Astuti *et al.*, 1999). Perhitungan produksi panas dilakukan dengan cara mengukur nadi jantung dengan menggunakan alat *polar sport tester*. Produksi panas tubuh ternak dikandang dan di lapang dibandingkan dengan tujuan mengukur ekstra panas yang dihasilkan akibat merumput.



Gambar 21. Energi yang hilang pada domba yang dipelihara di kandang dan di lapang (Astuti *et al.* 1999).

Gambar 21. menjelaskan bahwa produksi panas tubuh untuk ternak yang digembalakan lebih tinggi dibandingkan dengan ternak yang diberi rumput di kandang. Hal ini mengakibatkan nilai RE ternak yang digembalakan lebih rendah. Oleh sebab itu perlu dipikirkan berapa jumlah penambahan energi untuk ternak yang digembalakan.

Penelitian perbedaan pemanfaatan energi pada kambing yang digembalakan seperti tertera pada Tabel 17.

Tabel 17. Neraca energi pada kambing dengan perbedaan aktivitas

Parameter	Kandang		Lapang	
	konsentrat	rumpit	konsentrat	rumpit
Konsumsi energi(Mj/h)	12,01	11,24	12,08	9,85
Energi feses (%KE)	32	42	33	37
Energi urin (%KE)	5	6	2	3
E.metana (%KE)	10	10	10	10
Energi Metabolis (%KE)	52	42	55	49
Produksi panas (%KE)	32	37	45	44
Retensi energi (%KE)	20	5	10	5

Sumber : Astuti et al. (1997); E. metana diestimasi berdasarkan Edey (1983).

Tabel 17. menunjukkan perbedaan pemanfaatan energi ternak antara yang dipelihara di dalam kandang dengan yang di padang penggembalaan (merumpit). Persentase produksi panas ternak yang dikandangkan dan diberi konsentrat lebih rendah dibandingkan dengan yang tanpa konsentrat, sedangkan untuk ternak yang digembalakan menghasilkan produksi panas yang lebih tinggi (10-13%) dibandingkan yang dikandangkan. Besarnya energi yang digunakan saat berjalan merumpit dengan cekaman panas harian di atas 30°C dan rendahnya kualitas rumput, berakibat pada meningkatkan total produksi panas tubuh sehingga menurunkan konversi energi yang termetabolis menjadi produk ternak. Oleh karena itu, perlu informasi untuk menentukan berapa energi ekstra yang harus

ditambahkan pada ternak yang digembalakan agar tercapai produksi yang optimal.

Data tersebut sebanding dengan hasil AFRC (1980) yang menyatakan bahwa kebutuhan energi untuk aktivitas merumput, jalan dan bergerak di padang penggembalaan berada di atas kebutuhan basalnya. NRC (1981) menyatakan bahwa kebutuhan energi pada kambing yang digembalakan sebesar 25% di atas kebutuhan hidup pokoknya, sedangkan yang digembalakan di perbukitan membutuhkan 50% di atas kebutuhan hidup pokoknya.

D.6. Pengukuran Energi Tingkat Organ

Pengukuran energi yang pernah dilakukan pada ternak domba/kambing lokal di tingkat organ jeroan sebagai pengukuran panas metabolisme secara keseluruhan dan juga secara spesifik dari panas yang dihasilkan dari proses fermentasi di rumen. Organ lain yang dapat diukur produksi panasnya adalah kaki belakang (untuk ternak kerja atau hewan balap), organ ambing untuk ternak laktasi dan organ uterus untuk ternak bunting.

a. Metode pengukuran panas metabolisme di organ pencernaan

Pengukuran *heat increment* atau panas metabolisme pada hewan ruminansia tidak mudah karena proses absorpsi terjadi pada waktu yang cukup lama. Cara lain dapat ditempuh dengan melakukan pengukuran penggunaan oksigen pada organ jeroan selama proses pasca absorpsi sehingga jumlah oksigen yang dipakai saat kegiatan proses pengunyahan, pencernaan, fermentasi di rumen, penyerapan hingga metabolisme dapat dihitung (Astuti *et al.*, 1995; Sastradipradja

et al., 1996). Teknik perunutan dengan menggunakan para amino asam hipurat (PAH) menurut Katz dan Bergman (1969) telah dimodifikasi dengan menggunakan para amino asam hipurat-³H. Hasil percobaan tersebut . dapat menghasilkan data laju aliran darah ke organ jeroan. Pengukuran ini didahului dengan penyuntikan dosis primer PAH-3H 5,75 uci larutan dan diikuti dosis infusi dengan laju sebanyak 0,6 mci/menit. Pengambilan darah pertama dilakukan setelah konsentrasi PAH konstan di peredaran darah yaitu sekitar 2 jam (untuk domba dan kambing). Darah diambil setiap 2 jam di arteri menuju jeroan dan vena yang keluar dari jeroan (Gambar 23), lalu dilakukan preparasi untuk pencacahan dengan alat liquid scintillation counter. Laju aliran darah (LAD) dihitung berdasarkan azas Fick menurut Katz and Bergman (1969) dengan melakukan pembagian antara laju infusi PAH dengan konsentrasi PAH di arteri dan vena (delta PAH_{a-v}). Perkalian laju alir darah dengan selisih konsentrasi oksigen yang masuk ke organ jeroan melalui pembuluh arteri dengan yang keluar dari organ jeroan melalui vena mesenterika adalah jumlah penggunaan oksigen di organ jeroan yang dapat dihitung dengan mengikuti rumus:

$$\text{LAD} = \frac{\text{Laju Infusi PAH (cpm/menit)}}{[\text{PAH-VP} - \text{PAH -A}] \text{ cpm/menit}}$$

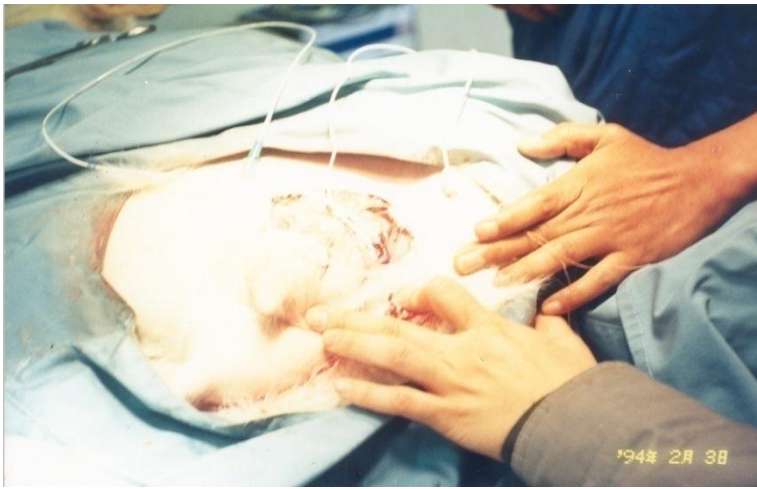
$$\text{Penggunaan O}_2 = \text{LAD} \times [\text{O}_2\text{VP} - \text{O}_2\text{A}]$$

Panas metabolisme = penggunaan O₂ jeroan X nilai setara kalor O₂

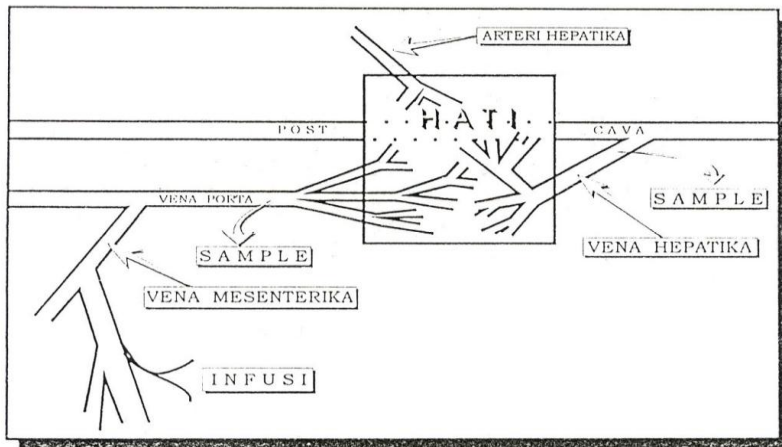
Prosedur Bedah Organ Jeroan

Pekerjaan ini dilakukan untuk menginfusikan larutan para amino hippuric acid (PAH) ke vena mesenterika guna mengukur laju alir darah ke vena porta (organ jeroan). Penimbangan bobot badan dilakukan pada awal pekerjaan untuk menentukan dosis anestesi local dan total. Pencukuran di bagian abdomen dextra diikuti dengan pencucian agar terhindar dari kuman saat dilakukan pembedahan. Setelah hewan siap, dilakukan pembiusan total dengan menyuntikan Xylapec dosis 0.05 ml per kg BB diikuti dosis 0.11 ml per kg bobot badan secara intra muscular. Dalam kondisi setengah terbius, hewan diikatkan ke meja operasi agar tidak banyak bergerak dan pekerjaan dilanjutkan dengan pembiusan lokal dengan cara penyuntikan lidocain dosis 1 ml per ekor secara subkutan di sekitar abdomen dextra yang akan dibedah. Setelah hewan benar-benar dalam kondisi terbius, segera dilakukan penyayatan sepanjang 10 cm di bagian abdomen dextra sampai tampak terlihat rongga perut. Dengan bantuan tang penjepit, kulit perut diangkat agar dapat melakukan penyayatan lebih dalam hingga didapatkan vena mesenterika dextra. Sementara itu, pompa infuse (kode SE 056) disiapkan berikut larutan PAH sebanyak 30 ml yang dihubungkan dengan selang kateter yang pada ujungnya diberi jarum ukuran nomor 23 untuk menginfusikan PAH. Setelah bagian vena dipreparir dan siap menerima infus, ujung atas vena dijepit dengan alat *bulldog* agar darah tampak terkumpul dan memudahkan pemasukan jarum ke dalam vena tersebut, lalu jarum dari selang pompa infus ditusukkan ke arah aliran darah di vena mesenterika dextra tersebut untuk selanjutnya di fiksirkan ke bagian kulit luar. Apabila telah yakin bahwa infus dapat masuk dengan lancar, *bulldog*

dilepas, bagian kulit yang terbuka ditutup dengan bantuan tang penjepit (tang arteri) dan mulai dilakukan infusi. Sebelum dilakukan infusi, penyuntikan dosis primer PAH dilakukan melalui vena jugularis sebanyak 1 ml, selanjutnya pompa infuse diinyalakan dan laju kecepatan infuse diatur agar tidak mengganggu kondisi fisiologis hewan.. Pada pekerjaan ini kecepatan infusi adalah 0.12 ml per menit. Pengambilan darah dilakukan di vena porta dan arteri carotis communis sebanyak tiga kali dengan selang waktu 30 menit dan diawali pada 30 menit pertama setelah infusi. Darah yang diperoleh segera disentrifuse untuk mendapatkan plasma yang kemudian digunakan untuk menganalisis kandungan nutrien dan gas-gas O₂ dan CO₂. Di samping itu juga dilakukan pengukuran aktivitas jenis isotop PAH untuk mengukur laju alir darah ke jeroan.



Gambar 22. Pengukuran panas metabolisme pada pencernaan kambing (dokumen D. A. Astuti, 1998)



Gambar 23. Skema tempat pengambilan darah pada organ jeroan

Pengukuran produksi panas juga dapat dilakukan dari pengukuran produksi CO₂. Delta CO₂ arteri-vena porta dikalikan dengan laju alir darah ke jeroan akan mendapatkan nilai produksi CO₂ dari organ jeroan. Apabila dinyatakan dalam kalori atau joule maka nilai tersebut menggambarkan besarnya produksi panas dari aktivitas metabolisme organ jeroan.

Data pada Tabel 18. menunjukkan contoh perhitungan pengukuran produksi panas di jeroan atau panas metabolisme pada kambing tumbuh dan laktasi yang diberi ransum komplet campuran konsentrat dan hijauan dengan jumlah yang berbeda (ad libitum, 90% dari ad libitum dan 80% dari ad libitum). Laju alir darah yang diukur dengan peruntukan isotop dapat digunakan untuk menghitung besarnya serapan nutrisi (glukosa, asam amino, asam lemak, VFA dan bahkan oksigen) di organ terkait (satuan volume/menit). Serapan atau penggunaan oksigen dalam sehari dapat dihitung dengan mengalikan angka 1440 (24 jam x 60 menit). Jika nilai setara kalor untuk setiap liter oksigen adalah 4,80 kalori/liter pada RQ = 0,80 maka produksi

panas di organ jeroan atau panas metabolisme selama satu hari dapat dihitung melalui perkalian nilai serapan O₂ di jeroan dengan nilai setara kalor untuk oksigen.

Tabel 18. Serapan O₂ di organ jeroan kambing tumbuh

Parameter (%BB)	R1	R2	R3
Laju alir darah (ml/menit)	840,4	509,2	589,2
Delta O ₂ arteri-vena (ml/100ml)	2,63	4,35	3,91
Serapan O ₂ (ml/menit)	22,09	22,14	23,02
Produksi panas jeroan (MJ/h)	0,643	0,64	0,67

Sumber : Isnardono (1997); R1 = SK rendah & protein fermented; R2 = SK tinggi & protein sukar fermented; R3 = SK rendah & protein sukar fermented

Demikian halnya contoh untuk menghitung serapan VFA di jeroan yang dominan berasal dari rumen yaitu merupakan perkalian laju alir darah di porta dengan delta VFA di darah arteri dan vena porta. Perhitungan dapat diestimasi dalam unit per hari dengan mengalikan angka jumlah jam dan menit dalam sehari (seperti pada tabel di bawah).

Tabel 19. Laju alir darah porta dan serapan VFA

Parameter	Perlakuan		
	18% protein	16% protein	14% protein
Laju Alir Darah Porta (ml/menit)	611±2.83	501±4.95	392±89.10
Selisih VFA Arteri dan Vena Porta (mM)	0,022±0.001	0.016±0.004	0.013±0.003
Serapan VFA (mM/menit)	13.44±0.81	7.63±0.61	5.22±2.26
Prod. Panas jeroan (MJ/h)	0.53±0.14	0.56±0.01	0.34±0.05

Sumber : Artha Putra (1996)

Alat analisa untuk gas darah digunakan Blood Gas Analyzer yang untuk mengukur gas-gas darah dalam bentuk gas oksigen dan karbondioksida dalam satuan mmHg. Data tersebut dapat diterjemahkan menjadi persen konsentrasi atau volume (liter) .



Gambar 24. Alat Blood Gas Analyzer (dokumen Astuti DA, 2000)

Analisis Gas-gas CO₂ dan O₂ darah

Gas-gas darah diukur dengan menggunakan alat analisis gas-gas darah (Corning bloodgas analyzer) dengan menentukan pH, PO₂, pCO₂ dan Hb yang kemudian diterjemahkan menjadi kandungan gas-gas darah dalam satuan volume% (Shapiro et al. 1982). Kandungan O₂ darah adalah jumlah O₂ yang terlarut dan yang terikat oleh HbO₂. Yang terlarut dalam darah dihitung dengan rumus:

$$\text{O}_2 \text{ (ml/100ml)} = 0.0235 \times \text{pO}_2 \text{ (mmHg)} \times (22.4)/(32 \times 760)$$

Untuk O₂ yang terikat oleh Hb dihitung sebagai: Hb (g%) x 1.35 x %HbO₂

Persen HbO₂ dibaca dari kurva-kurva disosiasi HbO₂ standar yang dipengaruhi efek Bohr. Kandungan CO₂ darah dihitung dari kurva disosiasi ikatan Hb-CO₂.

Pengukuran kandungan gas di dalam darah berupa CO₂ dan oksigen diterjemahkan menjadi satuan volume gas dalam darah dengan menggunakan kurva disosiasi HbO₂ pada berbagai tekanan pCO₂ menurut teknik pendekatan yang dikembangkan di Laboratorium Kimia Faal, Fakultas Kadokteran Hewan, IPB, dengan rumus yang digunakan adalah :

$$Y_{PO_2} = 100 - 120 e^{-k p O_2}$$

untuk Y = % HbO₂, pada berbagai tekanan CO₂ digunakan beberapa rumus yaitu:

1. % HbO₂ = $100 - 120 e^{-0.028 p O_2}$ (pada pCO₂ 20 mm Hg)

2. % HbO₂ = $100 - 120 e^{-0.028 p O_2}$ (pada pCO₂ 30 mm Hg)

3. % HbO₂ = $100 - 120 e^{-0.028 p O_2}$ (pada pCO₂ 40 mm Hg)

4. % HbO₂ = $100 - 120 e^{-0.028 p O_2}$ (pada pCO₂ 50 mm Hg)

5. % HbO₂ = $100 - 120 e^{-0.028 p O_2}$ (pada pCO₂ 60 mm Hg)

6. % HbO₂ = $100 - 120 e^{-0.028 p O_2}$ (pada pCO₂ 70 mm Hg)

Dari data tekanan pO₂ (mmHg) dapat dihitung konsentrasi O₂ dalam % mengikuti tahapan sebagai berikut :

1. Hb (g%) X 1,34 X SO₂ = oksigen yang terikat di Hb
2. PO₂ X 0,003 = oksigen yang terlarut di plasma

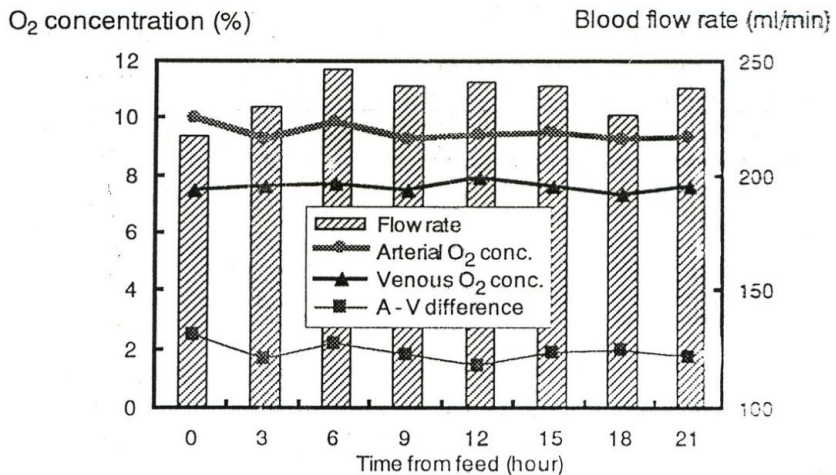
3. $1+2 =$ kandungan oksigen dalam %.

Sebagai contoh:

Diketahui Hb 15 g%, PO₂ 100 mm Hg, SO₂ 100%, maka perhitungannya :

1. $15 \times 1,34 \times 1,00 = 20,10 \text{ vol\%}$
2. $100 \times 0,003 = 0,30$
3. Kandungan O₂ = 20,40 vol%.

Hasil pembacaan gas darah yang telah diterjemahkan menjadi konsentrasi darah seperti pada diagram bi bawah ini.



Gambar 25. Perbandingan antara laju alir darah di uterus, konsentrasi O₂ di arteri dan vena diukur dengan Blood Flow meter. (Astuti et al, 1998).

Disamping pengukuran energi di organ jeroan secara total, energi hasil fermentasi rumen berupa pengeluaran gas metan juga dapat diukur baik secara *in vivo* maupun *in vitro*. Melalui alat *respiration chamber* dan metan analyzer, produksi energi asal metan

secara *in vivo* dapat dihitung dari jumlah produksi metan dalam liter, dan dikalikan dengan nilai setara kalor setiap liter metan maka akan didapatkan jumlah kalori yang keluar atau diproduksi asal metan.

Untuk pengukuran energi yang keluar bersama metan secara *in vitro* dapat diukur melalui pendekatan produksi metan (mL) hasil kajian dengan alat RUSITEC (*rumen simulation technique*) atau hasil produksi gas test, kemudian dikalikan dengan nilai setara kalori. Untuk menghitung dalam satuan per ekor per hari dapat dikalikan dengan waktu pengamatan total dan volume rumen hewannya ($\pm 10\%$ BB) serta nilai setara kalor untuk metan (9,45 Kal/L gas CH₄). Cara lain perhitungan energi asal metan yang menggambarkan proses fermentasi di rumen dapat didekati dari hasil analisis VFA parsial dan menggunakan rumus Moss *et al.* (2000).

$$\text{Metan (mM/l)} = 0,45 (\text{asetat}) - 0,275 (\text{propionat}) + 0,40 (\text{butirat})$$

Nilai metan dalam mol harus dikonversikan menjadi volume (liter atau ml) sehingga harus melibatkan hukum tetapan gas yaitu $PV = nRT$, dimana P adalah tekanan gas (atm), V adalah volume (liter), n adalah konsentrasi metan (mol), R adalah tetapan atau konstanta gas yang besarnya 0,0821 dan T adalah suhu dalam satuan Kelvin. Contoh di bawah ini adalah hasil perhitungan gas metan dari VFA parsial.

Tabel 20. Pemanfaatan energi pada domba yang diberi cassabio

Parameter	Kontrol	20% casabio	40% casabio	60% casabio
Konsumsi energi (Kal/e/h)	2063	2182	2212	2356
Kecernaan energi (% KE)	64	62	62	70
VFA total (mM)	135	111	161	147
- Asetat	70	55	84	89
- Propionat	35	24	43	30
- Butirat	21	23	24	21
Energi CH4 (Kal/e/h)	164	156	207	242
Energi CH4(% KE)	7	7	9	10

Sumber: Susanda et al (2013)

Tabel 21. Laju produksi VFA, volume rumen dan laju pakan di rumen kambing tumbuh

Parameter	Perlakuan		
	18% Protein	16% Protein.	14% protein
Laju Produksi VFA (mM/jam):			
Asetat	40.43±4.32	49.61±2.80	56.36±16.76
Propionat	17.71±0.54	19.69±0.64	25.63±5.09
Butirat	6.29±1.88	6.63±3.23	4.41±0.58
Total	64.59±6.26	77.10±1.76	97.12±24.81
Volume Rumen (liter)	4.33±0.48	4.11±0.27	4.12±0.01
Laju pakan dalam rumen (jam ⁻¹)	0.047±0.001	0.068±0.01	0.060±0.004

Sumber : Artha Putra. (1996)

Santoso *et al.* (2007) melaporkan bahwa domba yang diberi pakan basal silase mengeluarkan energi terbuang bersama urin, metan, dan panas tubuh lebih tinggi dibandingkan domba yang diberi pakan

hay, sedangkan sebaliknya, energi yang terbuang bersama feses lebih rendah. Pemanfaatan energi pada domba yang diberi silase dan hay di negara temperate seperti pada Tabel berikut. Data energi metan diukur dengan metan analyzer dan produksi panas diukur dengan alat *respiration chamber*.

Tabel 22. Neraca energi pada domba yang diberi silase dan hay

Parameter	Silase	Hay
Neraca energi:		
Konsumsi energi (Kal/kg ^{0.75} /h)	239	248
Energi tercerna (Kal/ kg ^{0.75} /h)	171	165
Energi metabolis (Kal/ kg ^{0.75} /h)	141	141
Kehilangan energi: (% KE)		
Energi feses	28,54	33,11
Energi metan	5,03	3,17
Energi urine	7,43	6,35
Produksi panas	49,22	46,01
Retensi energi	23,40	27,80

Sumber : Santoso *et al.* (2007)

Data pada Tabel 21 menjelaskan bahwa dari 100 persen energi yang dikonsumsi oleh domba dengan ransum berbasis serat berbentuk silase dan hay, maka energi yang keluar bersama feses dan urine rata-rata berkisar 30% dan 7%, sedangkan energi yang keluar sebagai gas metana berkisar 3-5%. Produksi panas tubuh untuk domba yang diberi silase dan hay cukup tinggi, yaitu sebesar 47,5%, sehingga energi yang teretensi untuk hidup pokok dan produksi sebesar 25%.

b. Metode pengukuran penggunaan energi di organ ambing

Untuk mendapatkan besarnya penggunaan oksigen di kelenjar ambing terkait proses pembentukan susu, maka dilakukan pengukuran secara tak langsung penggunaan oksigen di ambing. Besarnya laju aliran darah ke ambing dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Blood Flow Meter* atau dapat pula dengan menggunakan rumus berdasarkan indikator yang diamati (phe, nitrogen atau tyr). Cant *et al.* (1993) melakukan pengukuran laju alir darah ke ambing berdasarkan prinsip Fick dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{LAD}_m = \frac{(\text{FY}_b \times 0,965) + \text{FY}_f}{\text{FY}_{a-vm}}$$

FY_b = phe-tyr di protein susu

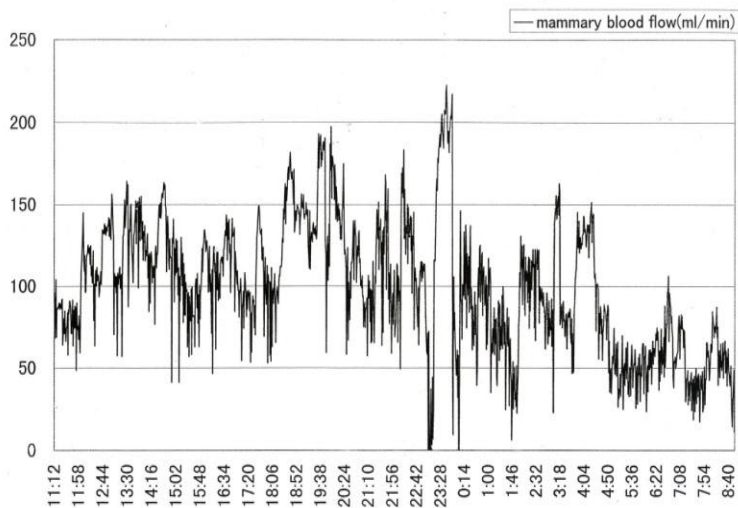
FY_f = phe-tyr di susu bebas protein

FY_{a-v} = phe-tyr di arteri dan vena mamaria

LAD_m = Laju alir darah ke mamari

Data laju alir darah ke mamari dikalikan selisih konsentrasi oksigen (atau nutrien lain) di arteri dan vena mamaria merupakan jumlah oksigen (nutrien) yang digunakan di ambing, jika angka tersebut dikalikan dengan nilai setara kalor maka akan didapatkan besaran penggunaan energi di ambing.

Penggunaan O_2 di ambing = $\text{LAD}_m \times [\text{O}_2 \text{ arteri-vena mamaria}]$.



Gambar 26. Data laju alir darah di ambing kambing laktasi dengan alat blood flow meter (dokumen D.A. Astuti, 1998)

Gambar 26 menjelaskan tentang laju alir darah di ambing kambing laktasi yang diukur dengan menggunakan alat *blood flow meter*. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dan dihasilkan data aliran darah yang berfluktuasi. Pada percobaan ini pakan diberikan secara ad libitum sehingga tampak bahwa setiap saat terjadi sintesa susu yang digambarkan dengan aliran darah yang membawa nutrien ke ambing selalu aktif.

Hasil penelitian pengukuran penggunaan energi pada kambing peranakan etawah yang diberi limbah tempe dan aplikasinya pada tingkat peternak seperti yang dilaporkan Astuti *et al.* (2002).

Tabel 23. Laju alir darah mamari, status nutrien di darah dan serapan nutrien di ambing kambing PE laktasi yang diberi limbah tempe

Parameter	Kontrol	Limbah tempe segar	Limbah tempe fermente
Laju alir darah mamari (ml/min)	333	502	333
Glukosa (mg%)			
- Arteri	55	60	79
- Vena Ambing	38	42	55
Penggunaan Glukosa (mg/min)	51	35	72
Trigliserida (mg%)			
- Arteri	27	33	35
- Vena Ambing	17	18	17
Penggunaan Trigliserida (mg/min)	33	30	54
Protein (mg%)			
- Arteri	12	12	13,50
- Vena Ambing	9	8	9,50
Penggunaan protein (mg/min)	6,6	20	13,20
Asetat (mM)			
- Arteri	5,07	4,43	6,96
- Vena Ambing	4,97	4,36	6,81
Penggunaan Asetat (mM/min)	33,30	35,14	49,95
PO2 (mmHg)			
- Arteri	82	86	91
- Vena Ambing	33	41	31
Penggunaan O2 (PPm) (ml/min)			

PPm = penggunaan panas di ambing dengan mengalikan nilai setara kalori

Energi asal susu

Besaran energi dalam bentuk produk dapat dihitung dari hasil analisis produk terkait. Pada produk susu, energi dapat dihitung dari hasil analisis lemak, total protein dan laktosa susu. Untuk menghitung energi asal susu dapat dilakukan dengan dua cara yaitu susu segar di *Freezed drying* dan cara kedua dengan perhitungan menggunakan nilai setara kalori.

Energi asal Susu = Energi Protein + Energi Lemak + Energi Laktosa

Nilai setara kalori untuk 1 gram protein susu adalah 23,85 KJ, untuk 1 gram lemak susu sebesar 38,5KJ dan untuk 1 gram laktosa susu sebesar 16,74 KJ (Johnson, 1999).

Tabel 24. Jumlah dan komposisi susu kambing PE laktasi

Parameter	Kontrol	limbah tempe segar	Limbah tempe fermented
Produksi susu (ml/h)	1075	700	1545
Total protein susu (g/h)	51,46	29,89	74,88
Total lemak susu (g/h)	42,88	29,05	63,30
Total laktosa susu (g/h)	37,52	27,30	63,30
Energi asal protein (KJ)	1213	715	1785
Energi asal lemak (KJ)	1222	1118	2437
Energi asal laktosa (KJ)	628	447	1059
Total energy asal susu (KJ)	3063	2281	5282

Sumber : Astuti et al (2002)

D.7. Metode Pengukuran Komposisi Tubuh dengan Ruang Urea (*Urea Space*)

Pengukuran retensi energi berdasarkan komposisi tubuh telah banyak diaplikasikan pada ternak tropis, seperti pada domba, kambing, kerbau, dan sapi bali (Astuti, *et al.*, 1998, Mahardika *et al.*, 1997; Sukarini, *et al.*, 2004). Penggunaan metode *urea space* telah banyak membantu dalam menerjemahkan air tubuh menjadi lemak dan protein tubuh yang selanjutnya diinterpretasikan ke dalam nilai kalori untuk setiap kontribusi protein dan lemak tubuh sehingga didapat total energi yang teretensi.

Untuk menentukan komposisi tubuh hewan adalah dengan cara disembelih dan selanjutnya dianalisis kandungan protein, lemak, glikogen dan airnya. Namun untuk hewan dengan ukuran besar hal ini sulit dilakukan. Cara lain untuk mengestimasi komposisi tubuh adalah dengan cara mengukur kandungan air tubuh dengan metoda Tritiated water space, antipyrine space, N-acetyl-4-aminoantipyrine space dan urea space (Panaretto and Till, 1963). Kelebihan dari cara-cara yang terakhir ini adalah hewan masih hidup sehingga masih dapat digunakan lagi untuk pengamatan berikutnya, tidak memerlukan biaya mahal karena harus menggerus seluruh tubuh dan tidak menyalahi animal welfare. Teknik urea space (US) yang dilakukan pada ternak ruminansia telah mengalami pengembangan metoda (Rule *et al.*, 1986). Prinsip kerjanya US yaitu urea sebagai perunut dapat bersifat seperti air yang dapat masuk kesegala penjuru sel tubuh, sehingga jumlah urea yang beredar dalam tubuh sama dengan air tubuh. Ada korelasi antara kandungan air tubuh dengan lemak dan protein tubuh (Panaretto, 1963).

Sebelum dilakukan pengukuran terlebih dahulu ternak ditimbang (kg) dalam keadaan puasa untuk menentukan dosis pemberian urea. Larutan urea 20% disiapkan untuk masing-masing ternak diinjeksikan sebanyak 0,65 mg setiap bobot badan metabolik ($BB \text{ kg}^{0,75}$). Penyuntikan larutan urea melalui vena jugularis (kiri) selama kurang lebih 1 menit. Setelah kurang lebih 12 – 18 menit, sample darah diambil dari sisi vena jugularis kanan. Darah disentrifuse 4000 g selama 10 menit untuk mendapatkan plasmanya. Plasma darah dianalisis kandungan ureanya dengan metoda KIT menggunakan spektrofotometer.

RUMUS :

$$\text{Urea Spase (\%)} = \frac{\text{dosis urea yang disuntikan (mg)}}{U_{12} - U_0 \text{ (mg\%)} \times 10 \times \text{BB (kg)}}$$

$$\text{Air tubuh (\%)} = 59,1 + 0,22 \times \text{US (\%)} - 0,04 \text{ BB}$$

$$\text{Protein tubuh (Kg)} = 0,265 \times \text{Air tubuh (liter)} - 0,47$$

$$\text{Lemak tubuh (\%)} = 98,0 - 1,32 \times \text{Air tubuh (\%)}$$

Persamaan tersebut diambil dari hasil penelitian Bartle et al (1983), sedangkan rumus protein dan lemak tubuh berdasarkan hasil Panaretto dan Till (1963) dan air tubuh berdasarkan rumus Rule et al (1986).

Tabel 25. adalah komposisi tubuh sapi potong peranakan ongole yang mendapat ekstrak methanol lerak dalam bentuk pakan blok (Lerak Mineral Blok) dengan dosis yang berbeda selama tiga bulan pemeliharaan.

Tabel 25. Performa sapi potong dan komposisi tubuh dengan metoda urea space

Parameter	kontrol	Ekstrak lerak	Ekstrak lerak
		0,033%	0,085%
PBBH (kg/h)	0,80	0,80	0,70
Air tubuh (%)	50,72	50,56	51,17
Protein (%)	13	13	13
Lemak (%)	31	31	30
Protein tubuh (kg)	0,11	0,10	0,09
Lemak tubuh (kg)	0,25	0,24	0,20
Energi asal protein (kJ)	2,52	2,38	2,01
Energi asal lemak (kJ)	15,25	14,29	11,76
Retensi energi (kJ/e/h)	17,77	16,67	13,78

Sumber: Astuti et al. (2009)



Gambar 27. Sapi PO dengan LMB



Gambar 28. Buah lerak

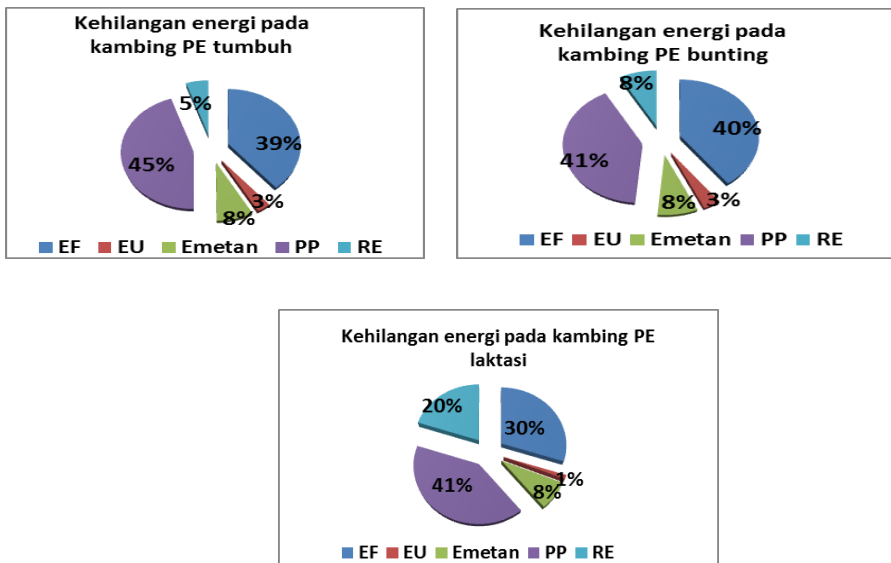
E. Pola Pemanfaatan Energi pada Ternak Ruminansia di Negara Tropis Lembap

Negara tropis adalah negara yang mempunyai daratan berada di bentangan garis khatulistiwa, termasuk Indonesia. Suhu dan kelembabapan di negara tropis lebih tinggi dibandingkan dengan di negara subtropik sehingga berdampak pada model pola pemeliharaan ternak. Sebagian besar pola usaha peternakan di Indonesia masih dalam skala menengah ke bawah dengan kepemilikan rata-rata 10 ekor domba dan kambing per peternak atau 3-4 ekor sapi dan kerbau per peternak, dan sebagian besar dipelihara dengan cara digembalakan. Astuti *et al* (2000) melaporkan bahwa besarnya neraca energi pada kambing yang dipelihara secara semi intensif pada suhu rata-rata 28 – 31°C dengan berbagai kondisi fisiologis berbeda (tumbuh, bunting dan laktasi) memberikan neraca penggunaan energy yang berbeda.

Kambing tumbuh yang diberi pakan konsentrat dan hijauan secara *ad libitum*, 80% dari *ad libitum*, dan 60% dari *ad libitum* (sebagai perwakilan ternak yang digembalakan) menunjukkan besarnya rataan energi tercerna dan termetabolis berturut-turut adalah 60% dan 50% dari total konsumsi energi. Energi yang keluar dalam bentuk produksi panas tubuh berkisar antara 42% (pada yang *ad libitum*) dan sampai 70% (pada ternak yang mengalami kekurangan pakan atau 60% dari *ad libitum*), hingga sisanya yang diretensi sebagai produk dalam bentuk pertumbuhan berkisar 10% (pada yang *ad libitum*) sampai minus 19% (pada yang kekurangan pakan). Tingginya produksi panas tubuh pada kambing yang kekurangan pakan disebabkan oleh 3 faktor yaitu pengaruh suhu lingkungan, tingkat kegelisahan ternak akibat kekurangan pakan dan proses anabolisme

cadangan tubuh yang tinggi. Oleh sebab itu, perlu diperhatikan kecukupan pakan untuk ternak yang sedang tumbuh agar tidak terjadi penurunan bobot badan.

Pada kambing bunting dengan pemberian jenis pakan dan perlakuan yang sama menghasilkan retensi energi sebesar 15% pada yang diberi *ad libitum*, dan 3% sampai 0,2% pada yang kekurangan pakan. Data masih menunjukkan neraca energi yang positif namun hanya untuk memenuhi kebutuhan induk saja, karena anak kambing lahir dengan tingkat kematian yang tinggi.



Gambar 29a. Energi yang hilang pada kambing PE tumbuh; 29b. Energi yang hilang pada kambing PE bunting; 29c. Energi yang hilang pada kambing PE laktasi (Astuti *et al.* 2000).

Pada kambing yang laktasi pemanfaatan energi ditunjukkan dengan tingginya efisiensi pemanfaatan nutrisi tercerna (70%) dan yang termetabolis (60%). Kambing laktasi yang diberi pakan *ad*

libitum dan kekurangan sampai 60% dari *ad libitum* menunjukkan persentase energi yang diretensi tetap positif, yaitu masing-masing sampai 20% dan 15%. Tingginya angka deposisi energi dalam bentuk produk susu ini menunjukkan secara fisiologis bahwa status ternak laktasi akan berusaha memanfaatkan semua nutrien yang masuk secara optimal untuk memproduksi susu.

Jika dilihat dari perbedaan status fisiologi, tampak bahwa ternak yang sedang produksi (bunting dan laktasi) dapat lebih efisien dalam memanfaatkan energi untuk menjadi produk (anakan dan air susu) dibandingkan ternak yang sedang tumbuh. Secara fisiologis, sel-sel tubuh ternak tersebut akan mengatur dan mengolah nutrien yang masuk secara efisien agar dapat menunjang proses produksi. Tabel .. di atas juga memberikan gambaran data bahwa jika pakan tidak memenuhi kebutuhan (80% dan 60% dari *ad libitum*) maka ternak akan merana dan bahkan terjadi penurunan bobot badan (10%-20%) pada yang tumbuh dan bahkan terjadi penurunan retensi energi sampai lebih dari 10% pada yang bunting hingga mengakibatkan kematian fetus di atas 20% (Astuti *et al.*, 2000; Astuti *et al.* 2004). Kondisi ini sering terjadi pada peternakan tradisional yang ternaknya dipelihara hanya dengan diberi rumput lapang saja dan digembalakan.

Sebagai gambaran perbedaan ternak domba dan kambing bunting tunggal dan kembar yang dipelihara dengan model semi intensif dan tradisional pada suhu rata-rata siang hari 30°C. Penelitian ini ditujukan untuk memberi gambaran bahwa kebutuhan nutrien pada ternak yang tidak bunting, bunting tunggal dan bunting kembar berbeda-beda. Domba mempunyai kemampuan yang lebih dalam memanfaatkan bahan pakan yang berkualitas rendah dan sering disebut

dengan ternak *grazer*, sedangkan kambing lebih suka pucuk daun/hijauan yang muda sehingga disebut dengan ternak *browser*, yaitu pandai memilih pakan yang berkualitas baik. Oleh karena itu, pemberian rumput saja pada kambing akan mengakibatkan penderitaan dan performa yang lebih rendah dibandingkan domba.

Sastradipradja *et al.* (1994) melaporkan bahwa domba bunting yang hanya diberi rumput saja dan dipelihara pada suhu di atas 30°C, menghasilkan retensi energi yang negatif pada semua status kebuntingan, sedangkan pada yang diberi tambahan dedak masih menunjukkan kekurangan nutrien pada domba yang bunting tunggal dan kembar. Pada kambing yang diberi rumput ditambah dedak padi atau rumput ditambah konsentrat (perbaikan gizi) menunjukkan neraca energi yang positif pada semua status kebuntingan. Angka produksi panas tubuh yang rendah pada kambing dengan perbaikan gizi menunjukkan rendahnya kontribusi panas metabolis pada proses pencernaan pakan berkualitas. Tingginya panas metabolisme pada domba yang hanya diberi rumput saja disebabkan oleh tingginya energi untuk mencerna pakan sumber serat.

Ada perbedaan pemanfaatan energi ternak antara yang dipelihara di dalam kandang dengan yang di padang penggembalaan (merumput). Persentase produksi panas ternak yang dikandangkan dan diberi konsentrat lebih rendah dibandingkan dengan yang tanpa konsentrat, sedangkan untuk ternak yang digembalakan menghasilkan produksi panas yang jauh lebih tinggi (10%) dibandingkan yang dikandangkan. Besarnya energi yang digunakan saat berjalan merumput dengan cekaman panas harian di atas 30°C dan rendahnya kualitas rumput, berakibat pada meningkatkan total produksi panas

tubuh sehingga menurunkan konversi energi yang termetabolis menjadi produk ternak. Oleh karena itu, perlu informasi untuk menentukan berapa energi ekstra yang harus ditambahkan pada ternak yang digembalakan agar tercapai produksi yang optimal.

Pendekatan manajemen pemberian pakan terkait padat energi seperti karbohidrat terlarut dan minyak, sangat disarankan dengan tujuan meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi. Di samping itu, pola pemberian pakan pada saat suhu lingkungan yang nyaman (malam hari) merupakan alternatif kedua sehingga dapat menekan produksi panas pada ternak tropis yang hidup di era pemanasan bumi seperti saat sekarang ini.

Perspektif tentang lingkungan ternak seperti perkandangan dan manipulasi mikro iklim perkandangan dapat diupayakan melalui pemberian ventilasi, kipas angin pada kandang ternak. Cara yang murah adalah dengan mengatur jumlah ternak persatuan kandang. Untuk domba/kambing dapat dibuat ukuran 6m X 6 m untuk 20 ekor atau untuk kandang individu cukup dengan 150 cm X 60 cm (Devendra, 2010).

Nilai Kebutuhan Energi untuk Kambing Peranakan Etawah Tumbuh dan Laktasi

Penentuan besarnya kebutuhan nutrien yang dibuat berdasarkan metoda konvensional yang melibatkan parameter produksi seperti pertambahan bobot badan dan produksi susu disajikan berdasarkan persamaan regresi hubungan antara besarnya kebutuhan energi metabolik (MJ/h) dengan PBBH (g/h) dan bobot badan

matabolik (kg) mengikuti persamaan regrasi sebagai berikut (Astuti et al., 2000) :

Pada kambing tumbuh:

$$PP \text{ (MJ/h)} = 2,76 + 0,173 \text{ ME (MJ/h)} , \text{ dengan } R^2 = 0,40$$

$$RE \text{ (MJ/h)} = (\text{ME (MJ/h.kg}^{0,75}) - 0,46)/0,122 \text{ dengan } R^2 = 0,91$$

$$\text{ME (MJ/h)} = 1,87 + 0,55 \text{ RE} - 0,001 \text{ PBBH} + 0,044 \text{ Retensi protein} , \\ \text{dengan } R^2 = 0,89$$

Kambing bunting :

$$PP \text{ (MJ/h)} = 4,96 + 0,156 \text{ ME (MJ/h)} \text{ dengan } R^2 = 0,41$$

$$\text{ME (MJ/h.kg}^{0,75}) = 0,55 + 0,088 \text{ RE (MJ/h)} \text{ dengan } R^2 = 0,98$$

$$\text{ME (MJ/h)} = 5,92 + 0,96 \text{ RE} - 0,002 \text{ PBBH} + 0,003 \text{ Retensi protein} , \\ \text{dengan } R^2 = 0,99$$

Kambing laktasi :

$$HP \text{ (MJ/h)} = 5,45 + 0,029 \text{ ME (MJ/h)} \text{ dengan } R^2 = 0,60$$

$$\text{ME (MJ/h.kg}^{0,75}) = 0,50 + 0,068 \text{ RE (MJ/h)} \text{ dengan } R^2 = 0,87$$

$$\text{ME (MJ/h)} = 4,23 + 0,713 \text{ RE} + 0,003 \text{ PBBH} + 0,006 \text{ Retensi protein} \\ + 0,002 \text{ Produksi susu, dengan } R^2 = 0,86.$$

Apabila kita asumsikan hewan dengan bobot badan 12 kg dan PBBH = 0, maka kebutuhan hidup pokok untuk energi adalah sebesar 0.42 MJ/kg^{0,75} BB/h. Untuk kambing tumbuh dan berproduksi. sebesar 100 g/h maka kebutuhan energi sebesar 0.48 MJ/kg^{0,75} BB/h.

Untuk persamaan regresi yang didapat dari hubungan antara kebutuhan energi dengan produksi susu dan BBM pada kambing laktasi adalah :

$$ME_{\text{laktasi}} = 2.36 + 0.00468 \text{ Produksi Susu} + 0.305 \text{ BB}(\text{kg}^{0.75})$$

dengan $R^2 = 0.42$

Dari persamaan tersebut di atas dapat diestimasikan kebutuhan ME untuk hidup pokok adalah $0.52 \text{ MJ/BBkg}^{0.75}/\text{h}$. Apabila kambing tersebut berproduksi 500 ml per hari maka kebutuhannya energi metabolis berubah menjadi $0.73 \text{ MJ/BB kg}^{0.75} /\text{h}$.

Perhitungan kebutuhan energi metabolis (dalam MJ/h) yang didasarkan pada besarnya energi yang diretensi (RE), diperoleh suatu persamaan sebagai berikut :

$$ME_{\text{-tumbuh}} = 0.467 + 0.096 \text{ RE}$$

$$ME_{\text{-laktasi}} = 0.709 + 0.05 \text{ RE}$$

Menggunakan persamaan tersebut di atas, apabila nilai RE dianggap 0 yang artinya tidak ada pertumbuhan maka, kebutuhan energi metabolik untuk kambing tumbuh dan laktasi masing-masing adalah $0.47 \text{ MJ/kg}^{0.75} \text{ BB/h}$ dan $0.71 \text{ MJ/kg}^{0.75} \text{ BB/h}$.

BIOENERGETIKA PADA UNGGAS

A. Konsep Energetika pada Unggas

Semua fungsi dalam tubuh membutuhkan energi, energi, yaitu untuk bergerak, energi untuk makan, energi untuk tumbuh, dan memproduksi. Untuk memperoleh energi yang dibutuhkan tersebut, unggas harus membakar pakan (zat makanan) dalam tubuh.

Sebagai contoh:

1 mol atau 180g glukosa yang dibakar (dioksidasi) dalam tubuh akan menghasilkan energi sebanyak 673 kkal mengikuti persamaan :



Dengan demikian, 180g glukosa mengandung energi yang cukup untuk meningkatkan suhu 673 kg air sebanyak 1°C. Kalori adalah satuan energi panas yang sering juga dinyatakan dalam istilah joule. Satu kkal energi panas ekuivalen dengan 427 meter kg kerja, dan 4.185 joule.

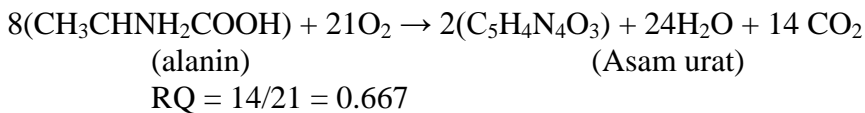
B. Respiratory Quotient (RQ)

Sama halnya dengan ternak lain, untuk menghitung produksi panas tubuh secara tak langsung diperlukan angka RQ. Besaran RQ adalah rasio antara produksi CO₂ per mol O₂ yang dikonsumsi oleh unggas. Ketika unggas mengkonversi 1 mol glukosa dan 6 mol oksigen menjadi 6 mol karbondioksida dan 6 mol air, jumlah produksi CO₂ sama dengan jumlah O₂ yang dikonsumsi. Dengan demikian, untuk glukosa:

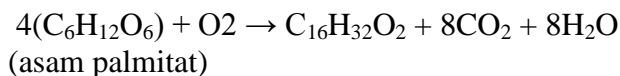
$$RQ = 6CO_2/6CO_2 = 1.0$$

Jika seekor unggas mempunyai $RQ = 1$, hal ini menunjukkan bahwa unggas hanya membakar karbohidrat untuk energi. Lemak lebih jenuh dibandingkan dengan karbohidrat, sehingga CO_2 yang diproduksi lebih kecil, dan $RQ = 0.71$ untuk trigliserida seperti gliserol trioleat. Dengan demikian, angka RQ yang kurang dari 1.0 menunjukkan bahwa seekor unggas menggunakan lebih banyak lemak dan sedikit karbohidrat untuk energi.

Angka RQ pada protein lebih rumit, karena produk akhir dari oksidasi protein adalah CO_2 , H_2O dan asam urat. Unggas berbeda dengan mamalia dalam hal ekskresi nitrogen, dimana mamalia akan mengekskresikan urea sebagai produk sampingan nitrogen (nitrogenous waste). Sebagai contoh, oksidasi asam amino alanin :



Nilai RQ kadang-kadang diluar kisaran normal dari $RQ = 0.7$ (semua protein dan lemak dioksidasi) sampai $RQ = 1.0$ (semua karbohidrat dioksidasi). Sebagai contoh, ketika angsa dan itik hibrida dipaksa makan untuk menghasilkan lemak hati yang sangat tinggi, nilai RQ bisa sampai 1.33. Hal ini karena adanya konversi karbohidrat menjadi lipida dalam hati unggas tersebut:



Dalam kasus di atas, nilai RQ untuk reaksi di atas adalah $RQ = 8/1 = 8.0$, dan jika dikombinasikan dengan reaksi lain dalam tubuh unggas, RQ menjadi 1.33.

Nilai RQ sangat berguna untuk mengidentifikasi apakah unggas dalam status proses metabolis normal atau tidak normal. Nilai RQ sangat tinggi menunjukkan terjadi sintesis lemak dari karbohidrat, nilai RQ yang sangat rendah menunjukkan sintesis karbohidrat dari lemak atau menunjukkan terjadinya oksidasi protein dalam taraf sangat tinggi.

C. Pengukuran Produksi Panas pada Unggas

Panas pada ternak berasal dari panas hasil pembakaran (oksidasi) semua senyawa yang dikatabolis dikurangi panas hasil oksidasi senyawa dalam urin. Produksi panas ini sulit untuk diukur secara langsung. Salah satu cara pengukuran produksi panas pada unggas adalah dengan ditempatkan seekor unggas dalam suatu ruang yang dikelilingi pelapis, dan kenaikan panas pelapis dapat diukur. Banyak cara untuk mengukur kenaikan panas pelapis, yang paling sederhana adalah mengukur perubahan suhu dari udara atau air yang masuk dan keluar suatu pelapis atau jaket yang mengelilingi bilik (chamber).

Suatu cara mengukur produksi panas yang lebih praktis adalah mengukur konsumsi O_2 dan produksi CO_2 dan menduga produksi panas dari perubahan gas. Metode ini disebut kalorimetri tidak langsung (indirect calorimetry), karena perubahan gas yang diukur, bukan kalori (panas) secara langsung. Panas pembakaran per mol O_2

terhadap CO₂ adalah 106 Kal, atau 4.7 Kal/liter pada suhu dan tekanan standar.

Jika perubahan gas pada unggas diukur, penyesuaian harus dilakukan jika O₂ tidak dikonversi secara komplit menjadi CO₂. Kalorimetri tidak langsung merupakan pendugaan produksi panas yang baik pada unggas. Walaupun pengukuran produksi panas pada unggas secara langsung sangat susah, perubahan gas dapat diukur dengan akurat.

Kalorimetri langsung (direct calorimetry) dan kalorimetri tidak langsung (indirect calorimetry) mempunyai prinsip yang berbeda: Kalorimetri langsung mengukur kehilangan panas, sementara kalorimetri tidak langsung mengukur produksi panas. Produksi dan kehilangan panas akan sama jika kapasitas panas dan suhu tubuh konstan.

C.1. Nilai Panas Fisiologis

Dengan diketahui panas dari hasil pembakaran suatu senyawa, maka pendugaan energi yang dihasilkan seekor unggas dari senyawa tersebut dapat dihitung. Pendugaan ini disebut “ekuivalen panas fisiologis” (physiological fuel equivalent). Untuk glukosa (sudah dibahas sebelumnya), panas sebesar 673 kkal dari hasil oksidasi 180 gram menunjukkan energi bruto sebesar 3.7 Kal/gram. Untuk karbohidrat lainnya, seperti glikogen, panas yang dihasilkan lebih tinggi yaitu 4.2 Kal/gram, sehingga angka rata-rata 4.0 Kal/gram biasanya digunakan sebagai nilai panas fisiologis dari semua karbohidrat. Demikian juga dengan lemak, nilai panas hasil

pembakaran sebesar 9.5 Kal/gram, menunjukkan ekuivalen panas fisiologis.

Protein, tidak seperti karbohidrat dan lemak, mempunyai nilai panas pembakaran yang berbeda dengan nilai ekuivalen panas fisiologis. Nilai panas pembakaran protein adalah 5.7 Kal/gram, tetapi sebesar 1.3 Kal/gram hilang dalam urin sebagai asam urat jika protein dikatabolis untuk menghasilkan panas. Dengan demikian nilai panas fisiologis protein tersebut adalah $5.7 - 1.3 \text{ Kal/gram} = 4.4 \text{ Kal/gram}$.

Nilai ekuivalen panas fisiologis didasarkan pada asumsi bahwa semua nutrisi 100 persen dicerna, diserap dan dikonversi menjadi asam urat. Asumsi ini tidak valid untuk sebagian besar bahan pakan karena tidak digunakan (dicerna dan diserap) 100 persen. Nilai ekuivalen panas fisiologis adalah pendugaan yang sangat bagus untuk bahan pakan yang digunakan sebagai sumber energi.

C.2. Kehilangan panas pada Unggas

Unggas adalah hewan homeothermik. Unggas memelihara suhu tubuhnya dalam keadaan konstan ($\pm 41^\circ\text{C}$), sementara suhu lingkungan sangat fluktuasi. Ketahanan unggas, terutama waktu terbang, tergantung koordinasi yang cermat dalam tubuh oleh sistem syaraf pusat. Kecepatan dari proses syaraf tergantung pada suhu. Tanpa suhu yang konstan sangat susah untuk unggas untuk cepat terbang, menangkap mangsa, dan sebagainya.

Untuk menjaga suhu tubuh tetap konstan, unggas harus menyeimbangkan antara panas yang dihasilkan dari oksidasi lemak, karbohidrat dan protein dengan kehilangan panas tubuh. Kehilangan panas tubuh dapat terjadi dalam 4 cara:

- a. **Kehilangan panas melalui radiasi.** Panas mengalir sebagai gelombang elektromagnetik pada kecepatan cahaya 3×10^{10} cm/detik. Radiasi tergantung pada suhu permukaan yang memancarkan, posisi tempat radiasi dan kualitas permukaan tempat radiasi. Kehilangan panas melalui radiasi tidak tergantung pada temperatur dari udara diantara permukaan tempat radiasi, karena hal ini akan menghasilkan suatu kehampaan (vacuum). Pemain ski di salju akan nyaman dengan pakaian renang, karena adanya peningkatan panas radiasi. Walaupun suhu udara kurang dari 0°C , peningkatan panas dapat terjadi selama suhu matahari lebih tinggi dibandingkan dengan suhu kulit.
- b. **Kehilangan panas melalui konveksi.** Panas hilang melalui konveksi tergantung dari kepadatan dan pergerakan udara, digambarkan dengan persamaan berikut:

$$Kc = 1.043 \times \sqrt{v}$$

Dimana, Kc = panas hilang melalui konveksi ($\text{kkal/m}^2/\text{jam}$)

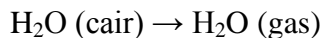
v = kecepatan udara

Jika kecepatan udara meningkat 100 kali, pendinginan meningkat $\sqrt{100} = 10$ kali. Sebuah kipas, baik manual atau mekanik mendinginkan melalui konveksi.

- c. **Kehilangan panas melalui konduksi.** Panas mengalir dari tubuh sejumlah material yang berhubungan langsung, seperti alas kandang(litter) pada broiler, atau alas kawat lantai kandang pada sangkar petelur. Kehilangan panas melalui konduksi tergantung

jenis bahan lantai, Kehilangan melalui *litter* berbeda dengan kehilangan melalui kayu atau logam.

d. Kehilangan panas melalui evaporasi. Kehilangan panas melalui evaporasi sangat penting untuk unggas, digambarkan dengan persamaan berikut:



Ketika evaporasi terjadi, energi panas diambil dari lingkungan dan ditangkap dalam air dalam bentuk gas. Sumber utama kehilangan panas dari unggas melalui kantung udara. Air dalam bentuk cair dalam tubuh unggas yang menguap melalui kantung udara menggambarkan energi panas dari unggas.

Unggas bisa *panting* untuk meningkatkan kecepatan udara melalui kantung udara, meningkatkan kecepatan evaporasi dan kecepatan pendinginan tubuh. Kipas angin dapat digunakan dalam kandang unggas untuk mempercepat pendinginan tubuh, terutama ketika temperatur lingkungan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu tubuh unggas. Peningkatan kecepatan udara tidak akan bekerja melalui konveksi, karena panas harus mengalir dari yang lebih hangat ke tubuh yang lebih dingin. Untuk peternak unggas, pendinginan melalui konveksi dan evaporasi adalah dua fenomena yang sangat mudah dimanipulasi untuk mendinginkan tubuh unggas dan meningkatkan performa di lingkungan panas.

C.3. Suhu tubuh pada unggas dan pengaturannya

Temperatur tubuh internal unggas lebih bervariasi dibandingkan dengan mamalia, sehingga tidak ada suhu tubuh absolut.

Pada unggas dewasa variasi suhu tubuh anantara 105°F dan 107°F (40.6° dan 41.7°C). Sejumlah variasi sekitar suhu tersebut atau bahkan diluar suhu tersebut bisa saja terjadi, hal ini disebabkan beberapa faktor :

1. Suhu tubuh anak ayam yang baru menetas sekitar 103.5°F (39.7°C), dan meningkat setiap hari sampai mencapai level stabil pada umur 3 minggu
2. Bangsa unggas yang berukuran lebih kecil mempunyai suhu tubuh lebih tinggi dibandingkan dengan bangsa unggas berukuran besar
3. Ayam jantan mempunyai suhu tubuh sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan ayam betina, hal ini dapat disebabkan oleh kecepatan metabolis dan massa otot yang lebih besar pada ayam jantan
4. Aktivitas dapat meningkatkan suhu tubuh. Sebagai contoh, suhu tubuh unggas yang dipelihara dalam kandang sistem *litter* lebih tinggi dibandingkan dengan unggas yang dipelihara dalam sangkar
5. Unggas yang sedang *molting* (rontok bulu) mempunyai suhu tubuh lebih tinggi dibandingkan unggas yang berbulu penuh
6. Induk ayam yang sedang mengeram mempunyai suhu tubuh lebih tinggi dibandingkan dengan induk ayam yang tidak sedang mengeram
7. Setelah makanan masuk ke dalam saluran pencernaan dan proses pencernaan dimulai, suhu tubuh akan meningkat
8. Suhu tubuh ayam lebih tinggi pada saat periode intensitas cahaya tinggi dibandingkan pada saat intensitas cahaya rendah atau periode gelap

9. Terdapat kecenderungan suhu tubuh akan meningkat jika suhu lingkungan di atas atau di bawah suhu nyaman (thermoneutral zone), suhu nyaman untuk unggas dewasa adalah 65 – 75°F (18-24°C).

Pengaturan suhu tubuh dikontrol oleh sistem syaraf pusat di dalam tubuh unggas. Pengaturan suhu tubuh dicapai dengan 4 cara, yaitu:

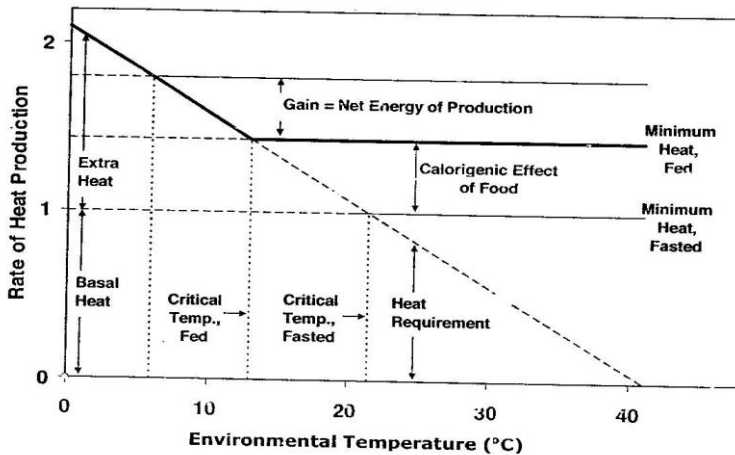
1. Darah mengalir ke kulit, terutama kulit jengger dan pial pada unggas serta kaki dan paha pada unggas air
2. Dengan menggerakkan bulu ke atas. Hal ini ekuivalen dengan ereksi rambut pada mamalia. Menaikkan bulu dapat membentuk suatu lapisan isolasi pada unggas
3. Frekwensi respiratori, yang mana menentukan jumlah evaporasi untuk mendinginkan tubuh melalui paru-paru dan kantong udara
4. Kecepatan metabolis, atau kecepatan produksi panas dapat diubah menjadi hangat atau dingin

C.4. Kecepatan metabolis (metabolic rate) dan kebutuhan energi

Ternak mempunyai zona suhu yang nyaman (thermoneutral/comfort zone) dimana produksi panas diminimalkan. Kelebihan produksi panas diperlukan jika ternak berada di atas atau di bawah suhu kritis atas dan bawah. Interaksi sosial dapat mempengaruhi zona thermoneutral yang diukur. Kecepatan metabolis, juga kebutuhan energi berhubungan dengan area permukaan tubuh dan ukuran tubuh (bobot badan).

a. Temperatur lingkungan dan produksi panas

Kecepatan produksi panas oleh unggas pada saat istirahat akan berbeda pada temperatur lingkungan yang berbeda (Gambar 30).



Gambar 30. Hubungan antara produksi panas dengan temperatur lingkungan (Kleiber,1975)

Ketika temperatur lingkungan dibawah temperatur kritis, unggas harus memproduksi panas ekstra diatas produksi panas minimal untuk membuat unggas tetap hangat. Unggas akan meningkatkan kecepatan metabolis jika terlalu dingin untuk mempertahankan tetap hangat. Diatas temperatur kritis, kelebihan panas harus dibuang, terutama melalui penguapan air.

Gambar 30 menunjukkan temperatur kritis dibawah zona nyaman. Temperatur kritis bawah (lower critical temperature) adalah suhu dimana prduksi panas minimal. Terdapat temperatur kritis atas, dimana produksi panas juga meningkat. Juka suhu mencapai titik kritis atas, unggas harus meningkatkan penggunaan energi untuk mendinginkan suhu tubuh. Pertama, unggas akan membuka sayap

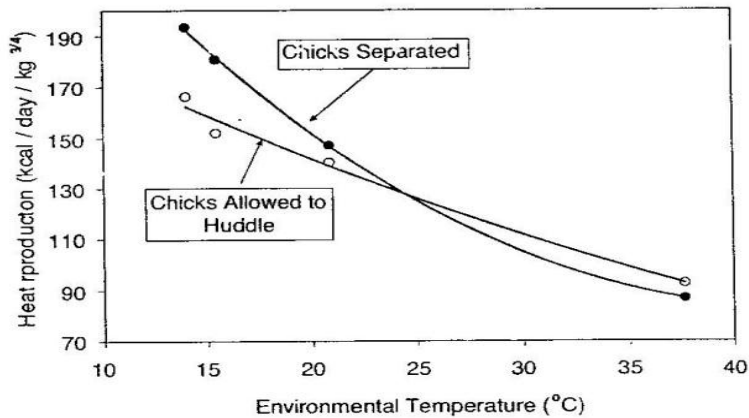
mereka untuk memaksimalkan luas permukaan, cara ini membutuhkan penggunaan energi yang kecil. Jika unggas sangat kepanasan, unggas akan panting untuk meningkatkan penguapan supaya cepat dingin.

Gambar 30. menggambarkan produksi panas saat istirahat. Jika unggas aktif makan, terbang, lari, melakukan perkawinan, atau memproduksi sebutir telur, produksi panas minimum lebih dari yang diproduksi saat istirahat dan usaha lebih untuk mendinginkan tubuh diperlukan untuk memelihara suhu tubuh tetap konstan. Aktivitas berlebih mempunyai pengaruh terhadap perubahan batas zona suhu nyaman (area antara suhu kritis bawah dan atas). Selain aktivitas berlebih, ada beberapa faktor yang dapat merubah batas zona nyaman, yaitu pergerakan udara atau pendinginan melalui evaporasi (fungsi dari kelembaban).

Perusahaan ayam Arbor Acres, salah satu perusahaan pembibit broiler merekomendasikan temperatur kandang sekitar 20-25°C (68-77°F) untuk ayam broiler umur 18 hari sampai dipasarkan. Jika temperatur kandang bervariasi secara signifikan dari kisaran tersebut, kandungan nutrisi pakan harus disesuaikan. Jika suhu menurun, maka konsumsi pakan meningkat, sebaliknya jika suhu meningkat, selera makan terganggu dan konsumsi pakan menurun.

b. Regulasi temperatur sosial iklim

Unggas yang dipelihara dalam jumlah banyak seperti ayam, itik dan kalkun dapat menciptakan iklim sendiri dengan cara berkerumun. Gambar 31 memperlihatkan bagaimana anak ayam dapat meningkatkan produksi panas dengan cara berkerumun ketika dipelihara pada suhu kandang rendah.



Gambar 31. Regulasi temperatur sosial pada anak ayam umur 20 hari (Kleiber dan Winchester, 1933 dalam Pesti *et al.*, 2005)

Pada Gambar 31 dapat dilihat bahwa anak ayam yang dipelihara pada suhu kandang 14°C akan berkerumun dan dapat memproduksi panas sama besarnya jika anak ayam dipelihara secara terpisah pada suhu kandang 18°C, menunjukkan bahwa anak ayam bisa membuat mikroklimat sendiri sekitar mereka. Ketika anak ayam dipelihara pada suhu kandang 25°C, mikroklimat sekitar ayam dan suhu kandang secara keseluruhan akan sama, karena pada suhu kandang tersebut anak ayam tidak akan berkerumun, malah akan menghindar satu sama lain. Akan tetapi, kejadian di atas sangat tergantung pada kecepatan udara.

c. Hukum Permukaan (the surface law)

Jika unggas harus memelihara suhu tubuhnya tetap konstan sekitar 42°C, maka unggas harus memproduksi panas sama dengan kehilangan panas. Kehilangan panas melalui radiasi, konveksi,

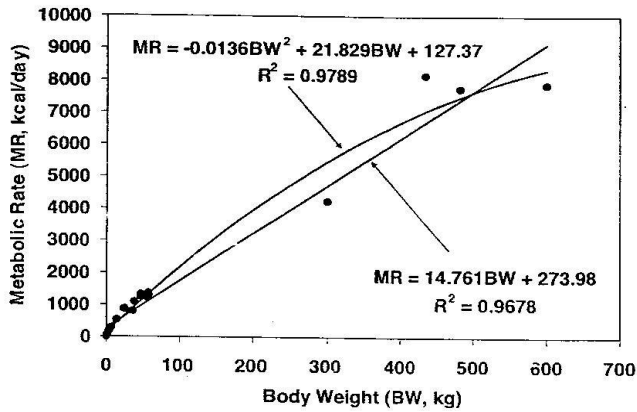
konduksi dan evaporasi, berhubungan dengan luas permukaan dari tubuh unggas yang tersedia untuk transfer panas dari tubuh ke sekeliling. Untuk unggas, asumsi tambahan harus dibuat bahwa luas permukaan kantong udara secara langsung proporsional terhadap luas permukaan di luar. Hukum Permukaan (surface law) mengatakan bahwa ternak dengan ukuran tubuh yang berbeda, kecepatan metabolisme akan proporsional terhadap luas permukaannya. Dari segi praktisnya, hukum permukaan mengatakan bahwa metabolisme, kebutuhan energi per satuan bobot badan pada seekor puyuh akan lebih besar dibandingkan dengan seekor burung unta, dan kebutuhan energi untuk seekor ayam bantam akan lebih besar dibandingkan dengan seekor ayam broiler dewasa.

Pembuktian hukum permukaan tersebut sangat susah karena harus mengukur secara akurat luas permukaan dari seekor unggas atau ternak lain. Akan tetapi, dapat digeneralisasi bahwa semakin besar suatu objek, maka rasio luas permukaan terhadap bobot badan menjadi kecil. Dengan demikian, semakin besar seekor unggas, maka luas permukaan relatif untuk melepas panas semakin kecil dan unggas memerlukan produksi panas lebih kecil per satuan bobot badan untuk mengimbangi pelepasan panas ke lingkungan.

d. Konsep bobot badan metabolik (metabolic body weight)

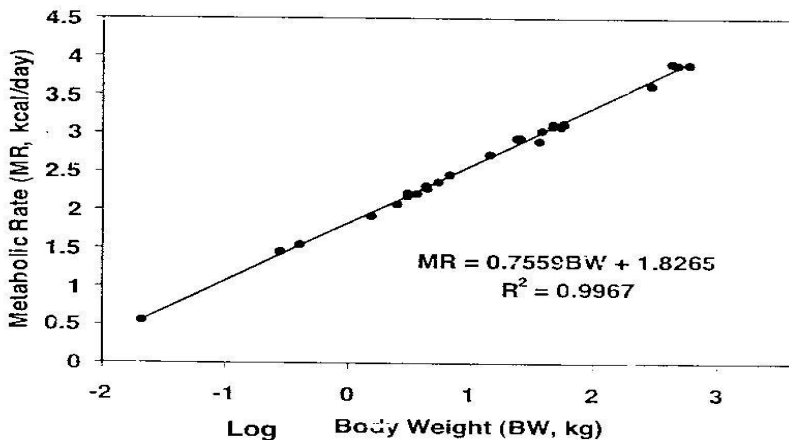
Walaupun luas permukaan dari seekor ternak sulit diukur secara akurat, akan tetapi bobot badan dapat diukur secara akurat. Para peneliti terdahulu menyadari bahwa luas permukaan langsung berhubungan dengan kecepatan metabolisme secara linier, dan hubungannya dengan bobot badan secara kurvalinier, sehingga

hubungan antara produksi panas dengan bobot badan seharusnya kurvalinier (Gambar 32).



Gambar 32. Hubungan antara produksi panas dengan bobot badan (Kleiber, 1975 dalam Pesti *et al.*, 2005)

Sebagai pengganti penggunaan sebuah persamaan kuadratik untuk menggambarkan hubungan antara produksi panas dengan bobot badan, para peneliti terdahulu menggunakan sebuah plot log-linier untuk mendekatkan data menjadi garis lurus (Gambar 33).



Gambar 33. Hubungan antara logaritma produksi panas dengan bobot badan (Pesti *et al.*, 2005)

Walaupun persamaan-persamaan diatas sangat berguna dalam menduga produksi panas dari seekor ternak secara akurat dari bobot badan, persamaan plot log-linier merupakan salah satu yang dipilih untuk menyatakan hubungan tersebut :

$$MR = 70 BB^{0.75}$$

Dimana MR = kecepatan metabolis (metabolic rate), BB = bobot badan (kg), koefisien 70 dan 0,75 diambil dari plot log-linier. Koefisien 0.7559 adalah slope dari garis dan dibulatkan menjadi 0.75 untuk eksponen, koefisien 70 dalam persamaan adalah antilog(10) dari 1.8265.

Terdapat dua hal sangat penting yang harus diperhatikan untuk persamaan di atas; (1). Persamaan dibuat dengan data dari ternak dewasa dalam keadaan istirahat, (2). Persamaan tersebut dibuat dengan dasar bahwa hubungan antara parameter yang diukur terhadap bobot badan adalah kurvalinier, sehingga hipotesis harus diuji sebelum menggunakan $BB^{0.75}$ (bobot badan metabolik), dan jika hubungannya tidak kurvalinier, maka $BB^{0.75}$ jangan digunakan.

PENGUKURAN ENERGI KUANTITATIF

A. Metabolisme Energi Pada unggas

Energi yang dibutuhkan oleh unggas untuk pertumbuhan jaringan tubuh, produksi telur, melakukan aktivitas fisik penting dan memelihara suhu tubuh tetap normal, berasal dari karbohidrat, lemak dan protein pakan. Energi dari pakan yang dikonsumsi unggas digunakan dalam 3 cara: memasok energi untuk aktivitas, dikonversi menjadi panas atau energi disimpan dalam jaringan tubuh. Jika energi yang dikonsumsi unggas melebihi kebutuhan untuk pertumbuhan normal dan metabolisme, maka akan disimpan sebagai lemak dalam tubuh. Kelebihan energi tidak dapat diekskresikan oleh tubuh ternak. Utilisasi nutrisi optimum oleh unggas dicapai jika pakan mengandung keseimbangan antara energi dan zat-zat nutrisi untuk menghasilkan pertumbuhan yang diinginkan, produksi telur atau komponen tubuh.

Sebagian besar pakan yang dikonsumsi oleh unggas digunakan untuk energi, karena reaksi anabolik atau katabolik sama-sama membutuhkan energi. Secara umum, ayam mempunyai kemampuan untuk mengontrol konsumsi energi ketika diberi pakan dengan berbagai taraf kandungan energi. Mekanisme penting tersebut dijadikan sebagai dasar untuk beberapa keputusan dalam formulasi pakan.

Pada manusia dan ternak mamalia, rasa makanan sangat berpengaruh terhadap energi yang dikonsumsi, tetapi pada ayam, peranan rasa pakan sangat kecil. Kandungan energi pakan sangat berpengaruh terhadap konsumsi pakan pada unggas. Jumlah mutlak

konsumsi pakan tergantung dari kebutuhan ternak unggas yang dipengaruhi oleh ukuran, aktivitas, temperatur lingkungan, status unggas seperti sedang tumbuh, atau hanya butuh untuk hidup pokok saja atau ayam sedang bertelur. Hal yang sangat penting adalah mengetahui kebutuhan energi unggas untuk setiap fase pertumbuhan atau produksi dan harus mengetahui secara akurat ketersediaan energi dari bahan pakan yang digunakan untuk formulasi ransum.

Energi disimpan dalam karbohidrat, lemak dan protein dari bahan pakan. Energi tersebut berasal dari matahari dan disimpan dalam tumbuhan sebagai hasil fotosintesis. Semua material tersebut mengandung karbon dan hidrogen dalam bentuk yang dapat dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air serta menghasilkan energi potensial untuk ternak. Jumlah produksi panas dari pakan yang dibakar secara komplit dengan adanya oksigen dapat diukur dengan menggunakan kalorimeter bomb, dan produksi panas tersebut disebut energi bruto (gross energy) pakan. Persentase energi bruto yang dapat digunakan oleh tubuh ternak untuk mendukung proses metabolisme tergantung kemampuan ternak dalam mencerna pakan. Pencernaan termasuk proses fisik dan kimia yang terjadi dalam saluran pencernaan yang memecah senyawa kompleks menjadi molekul lebih kecil yang dapat diabsorpsi dan digunakan oleh ternak. Energi yang dapat diserap ini disebut energi dapat dicerna (digestible energy). Kehilangan energi selanjutnya terjadi lewat urin dalam bentuk sisa yang mengandung nitrogen dan senyawa lain yang tidak teroksidasi oleh tubuh ternak. Setelah energi dapat dicerna dikoreksi dengan kehilangan energi dalam urin disebut energi metabolis (metabolizable energy) pakan atau bahan pakan. Selama proses metabolisme nutrien, kehilangan energi terjadi

sebagai panas inkremen (heat increament). Sisa energi pakan yang tersedia untuk hidup pokok (maintenance) dan tujuan produksi (productive purposes) disebut energi neto (net energi).

Untuk ternak unggas, pengukuran Energi Metabolis (EM) lebih mudah karena feses dan urin diekskresikan bersama-sama. Metode pengukuran EM pada hewan non ruminansia telah banyak dikembangkan oleh para peneliti terdahulu, seperti metode Farrel. Untuk mendapatkan nilai EM sesungguhnya adalah dengan cara: satu kelompok unggas dipuaskan sampai kosong saluran pencernaannya lalu dikoleksi fesesnya sebagai contoh dari degradasi endogenous. Hewan tadi diberi sejenis pakan, lalu fesesnya dikoleksi sampai keseluruhannya keluar

B. Pengukuran Kebutuhan energi pada Unggas

Kebutuhan energi dari seekor ternak dapat dibagi menjadi 3 komponen utama: (1) energi untuk hidup pokok; (2) energi untuk memproduksi produk seperti telur dan daging; dan (c) energi untuk aktivitas. Energi yang hanya dibutuhkan untuk memelihara fungsi tubuh dan aktivitas normal disebut energi hidup pokok atau sering disebut metabolisme basal.

Metabolisme basal biasanya diukur pada seekor ternak dalam keadaan puasa dibawah kondisi lingkungan normal. Penelitian dengan anak ayam umur satu hari (doc) yang sedang puasa menunjukkan bahwa produksi panas basal sekitar 0.0055 Kal/gram bobot badan per jam, sementara nilai untuk ayam petelur dewasa sekitar 0.003 Kal/gram bobot badan per jam. Dengan demikian kebutuhan energi

neto basal untuk seekor doc dengan bobot badan 40 gram adalah:
 $0.0055 \times 40 \text{ g} \times 24 \text{ jam} = 5.28 \text{ Kal/hari/ekor}$.

Peneliti terdahulu menyadari bahwa kebutuhan utama untuk memproduksi panas pada seekor ternak adalah untuk memelihara suhu tubuh. Para peneliti juga menemukan bahwa ternak yang lebih besar memproduksi panas lebih banyak dibandingkan dengan ternak yang lebih kecil. Sebagai contoh, seekor tikus dengan bobot badan 125 gram memproduksi panas sekitar 15 kkal per hari, sedangkan seekor sapi dengan bobot badan 500 kg memproduksi panas 7000 Kal per hari. Akan tetapi, ketika angka tersebut dikonversi terhadap kkal per kg bobot badan, maka seekor tikus memproduksi panas sebesar 118 kkal/kg bobot badan, sementara seekor sapi memproduksi panas sebesar 14 Kal/kg bobot badan. Berdasarkan penemuan tersebut, peneliti terdahulu mengasumsikan bahwa kebutuhan energi untuk hidup pokok berhubungan dengan luas permukaan tubuh ternak. Karena luas permukaan dari seekor ternak proporsional terhadap lebih kurang $2/3$ bobot badan, kebutuhan energi untuk hidup pokok dinyatakan $BB^{2/3}$.

Dari hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan energi metabolis untuk unggas sekitar 18% lebih tinggi dari kebutuhan energi neto. Hal ini karena adanya produksi panas (specific dynamic action) ketika pakan dimetabolis. Untuk protein nilai panas tersebut adalah 30%, karbohidrat 15% dan untuk lemak 10%. Angka konversi 82% Energi metabolis (EM) terhadap energi neto (EN yang besarnya 0,82% EM) adalah untuk pakan yang mempunyai kualitas tinggi dan kandungan nutrisi yang seimbang. Untuk pakan secara umum, angka konversi sekitar 70% lebih rasional ($EN = 70\% \text{ EM}$).

Unggas mempunyai suhu tubuh lebih tinggi dibandingkan mamalia, sehingga pengeluaran energi untuk hidup pokok lebih besar dibandingkan dengan mamalia. Dari hasil percobaan metabolisme disarankan bahwa metabolisme basal untuk ayam petelur dewasa dihitung dengan persamaan : Energi neto hidup pokok (ENhp) = 83 x BB(kg)^{0.75}. Dengan demikian, untuk seekor ayam petelur dengan bobot badan 1.3 kg memiliki :

$$\text{ENhp} = 83 \times 1.3^{0.75} = 83 \times 1.22 = 101 \text{ Kal/ekor/hari}$$

Mempertimbangkan kebutuhan EM (energi metabolis) 18% lebih besar dari EN, maka:

$$\text{EMhp} = 101/0.82 = 123 \text{ Kal/ekor/hari}$$

Kebutuhan EM untuk aktivitas dalam cage (sangkar) adalah 30% dari Emhp, maka Total kebutuhan EM basal untuk ayam petelur yang tidak memproduksi telur adalah:

$$\text{EMhp} + (30\% \times \text{EMhp}) = 123 + 37 = 160 \text{ Kal/ekor/hari}$$

Jika ayam tersebut memproduksi telur, nilai energi bruto (EB) sebutir telur yang besar (60 g) adalah 90 Kal/butir, berarti sebutir telur membutuhkan EM sebesar 110 Kal (90/0.82).

Dengan demikian, kebutuhan EM untuk seekor ayam petelur dengan bobot badan 1.3 kg, sedang memproduksi telur, dipelihara pada suhu thermoneutral (zona nyaman) adalah:

$$\text{EMhp} + \text{EM aktivitas} + \text{EM produksi telur} = 123 + 37 + 110 = 270 \text{ Kal/ekor/hari}$$

Perhitungan kebutuhan EM untuk ayam broiler pembibit (broiler breeders) umur 30 minggu (puncak produksi telur, 85%) dan umur 45 minggu (produksi telur 75%) disajikan pada Tabel 26.

Tabel 26. Teori kebutuhan energi metabolis untuk ayam broiler pembibit (Kal/ekor/hari)

	Umur 30 minggu	Umur 45 minggu
Parameter produksi:		
Bobot badan(kg)	2.5	2.73
Produksi telur (%)	85	75
Pertambahan bobot badan(g/hari)	5	2
EMhp ($83 \times BB^{0.75}$)	165	178
EMhp ($ENhp \div 0.82$)	201	218
+ EM aktivitas (50% EMhp)*	301	327
EM telur (100 kkal x produksi telur)	85	75
EM pertambahan bobot badan(sebagai protein 15%, lemak 15%)		
Protein@4 kkal/g	3.6	1.4
Lemak @9 kkal/g	6.8	2.7
Total pertumbuhan	10.4	4.1
Total EMhp+aktivitas+telur+pertumbuhan	396	406

Sumber: Leeson dan Summers (2001)

Semakin tua umur ayam di atas, kebutuhan energi meningkat, walaupun produksi telur dan pertumbuhan menurun. Hal ini disebabkan peningkatan kebutuhan energi metabolis untuk hidup pokok.

C. Pendugaan Kebutuhan Energi Metabolis Untuk Produksi Telur dengan Metode Faktorial

Dari berbagai metode yang digunakan untuk menduga kebutuhan energi telur dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori, yaitu: metode empiris dan faktorial. *Metode empiris* didasarkan pada pengukuran-pengukuran dari performan ternak yang diberi masukan (*intake*) energi pada level tertentu. *Metode faktorial* didasarkan pada pemisahan dari proses metabolis yang memberi sumbangan terhadap kebutuhan energi. Kebutuhan energi dihitung dari penjumlahan energi untuk hidup pokok (*maintenance*) dan produksi dengan memasukkan nilai tetap untuk kebutuhan hidup pokok dan efisiensi dari penggunaan energi untuk pertumbuhan dan produksi telur.

Untuk produksi telur, efisiensi penggunaan EM untuk deposisi energi dalam telur (KE_t) berkisar antara 0.60 sampai 0.85 (Chwalibog ,1992; Luiting, 1990). Variasi tersebut disebabkan oleh faktor genetik, nutrisi dan faktor lingkungan (Rising *et al.*, 1990). Selain hal tersebut, juga dikarenakan efisiensi penggunaan EM untuk deposisi energi dalam bentuk protein (KEP_t) dan dalam bentuk lemak (KEF_t) tidak sama. Klein dan Hoffmann (1989) dalam Chwalibog (1992) menyatakan bahwa untuk ternak yang sedang tumbuh, diketahui bahwa efisiensi parsial untuk retensi protein lebih rendah dibandingkan dengan untuk retensi lemak. Hal ini berlaku juga untuk produksi telur, bahwa efisiensi parsial dari deposisi protein dan lemak dalam telur mengikuti pola yang sama dengan ternak yang sedang tumbuh.

Chwalibog (1985) melakukan penelitian dengan menggunakan ayam petelur Leghorn putih yang dipelihara pada kandang *battery* pada

suhu 17⁰C. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil mengenai efisiensi penggunaan EM untuk deposisi energi protein dalam telur (KEP_t) sebesar 0,5, efisiensi untuk deposisi energi lemak dalam telur sebesar 0,79, efisiensi untuk deposisi energi karbohidrat sebesar 0,79, dan kebutuhan EM untuk hidup pokok (EM_m)adalah 98 Kal/ kg BB^{0.75}. Chwalibog (1992) melakukan penelitian dengan tujuan untuk mendapatkan data-data partisi deposisi energi di dalam telur selama periode bertelur. Informasi tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menduga kebutuhan energi metabolis ayam pada periode bertelur, yang disebut dengan *metode faktorial* .

Materi yang digunakan adalah ayam petelur Leghorn putih sebanyak 60 ekor yang dipelihara dari umur 27 minggu sampai dengan 48 minggu. Semua ayam diberi ransum *ad libitum* dengan kandungan protein 150 gram PK dan 3.91 Mkal EB/kg ransum. Menurut hasil percobaan neraca energi, kandungan EM ransum tersebut adalah 2.76 Mkal/kg ransum. Selama penelitian diperoleh 188 buah pengukuran.

Terminologi-terminologi berikut digunakan pada penelitian ini :

BB^{0.75} = Bobot badan metabolik

EM_m = Kebutuhan energi untuk hidup pokok (*maintenance*)

EM_t = Kebutuhan energi untuk produksi telur

EM_{m+t} = Kebutuhan energi untuk hidup pokok dan produksi telur

E_t = Energi yang dideposisi dalam telur

EP_t = Energi protein yang dideposisi dalam telur

EF_t = Energi lemak yang dideposisi dalam telur

EC_t = Energi karbohidrat yang dideposisi dalam telur

P_t = Protein yang dideposisi dalam telur

F_t = Lemak yang dideposisi dalam telur

C_t = Karbohidrat yang dideposisi dalam telur

KE_t = Efisiensi penggunaan EM untuk E_t

KEP_t = Efisiensi penggunaan EM untuk EP

KEF_t = Efisiensi penggunaan EM untuk EF_t

KEC_t = Efisiensi penggunaan EM untuk EC_t

Dari hasil pengukuran sebanyak ($n = 188$) mengenai kandungan energi dan komposisi kimia telur, pendugaan nilai setara kalori P_t (gram) dan C_t (gram), maka diperoleh persamaan regresi sebagai berikut :

$$E_t = (5,8 \times P_t) + (9,5 \times F_t) + (4,2 \times C_t) \dots [1]$$

$$R^2 = 0,977$$

$$EM_{m+t} = EM_m + EM_t$$

$$EM_m = 9 \text{ Kal / kg BB}^{0.75} \text{ (Chwalibog, 1985)}$$

$$EM_t = (P_t \times 5,8 \times 1,99) + (F_t \times 9,5 \times 1,27) + (C_t \times 4,1 \times 1,27) \dots [2]$$

Untuk EM_t (Kal), P_t , F_t , dan C_t dalam gram. Nilai 5,8; 9,5; dan 4,1 adalah nilai setara kalori untuk protein, lemak dan karbohidrat dari persamaan [1]. Nilai 1,99 dan 1,27 adalah reciprocal dari KEP_t (0,5) dan KEF_t serta KEC_t (0,79) ; sesuai dengan jumlah EM_t yang dibutuhkan untuk deposisi dari masing-masing 1 Kal P_t , F_t dan C_t . Dengan kata lain, EM_t dihitung dari penjumlahan EM yang dibutuhkan untuk deposisi 1 gram lemak ($9,5 \times 1,27 = 12,1 \text{ Kal/gram}$) dan 1 gram karbohidrat ($4,1 \times 1,27 = 5,2 \text{ Kal/gram}$) dalam telur.

Oleh karena deposisi protein, lemak dan energi dalam telur susah diperoleh, maka pendugaan P_t (gram/hari), F_t (gram/hari) dan E_t (Kal/hari) dapat menggunakan persamaan regresi berikut :

$$P_t = (0,138 \times \text{produksi telur}) - (0,0086 \times \text{umur}) \dots\dots\dots [3]$$

$$R^2 = 0,930$$

$$F_t = -1,14 + [(0,101 \times \text{produksi telur}) + (0,029 \times \text{umur})] \dots\dots\dots [4]$$

$$R^2 = 0,867$$

$$E_t = -8,5 + [(1,76 \times \text{produksi telur}) + (0,2 \times \text{umur})] \dots\dots\dots [5]$$

$$R^2 = 0,924$$

Berdasarkan persamaan [3] dan [4] dengan menambahkan nilai 9 gram/kg telur untuk kandungan karbohidrat, maka kebutuhan EM untuk hidup pokok dan produksi telur (EM_{m+T}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$EM_{m+t} = [x \text{ BB}_{(kg)}^{0.75}] + 11,5 [(0,138 \times \text{produksi telur}) - (0,0086 \times \text{umur})] + 12,1 x [-1,14 + (0,101 \times \text{produksi telur}) + (0,029 \times \text{umur})] + 5,2 (0,009 \times \text{produksi telur}).$$

Dari penelitian di atas diperoleh hasil, bahwa kebutuhan energi untuk hidup pokok dan produksi telur (EM_{m+t}) adalah 256 Kal per ekor/hari pada umur 27 minggu dan 286 kcal per ekor/hari pada umur 48 minggu.

D. Pengukuran Energi pada Bahan Pakan Unggas

Pengukuran Energi Metabolis (Metabolizable Energy Assay)

Walaupun metode kimia berguna untuk analisis kandungan nutrien bahan pakan dan pakan, atau untuk menduga nilai energi dari pakan, hal tersebut tidak mengukur respon ternak secara langsung. Dengan demikian, sebagian besar evaluasi secara kimiawi dari bahan pakan harus didukung oleh uji secara biologis untuk menilai kegunaan dari pakan atau bahan pakan. Tiga komponen dasar nilai energi pakan

dan bahan pakan adalah energi dapat dicerna (digestible energy), energi metabolis (metabolizable energy) dan energi neto (net energy).

Untuk ternak selain unggas, sangat mudah untuk mengukur energi dapat dicerna. Akan tetapi pada ternak unggas sangat susah untuk mengukur energi dapat dicerna, karena sisa yang tidak dicerna dan produk sampingan di urin diekskresikan bersama-sama. Pengukuran energi metabolis (EM) lebih mudah pada unggas dengan hanya memperhitungkan bagian yang tidak digunakan oleh tubuh unggas dan dikeluarkan melalui ekskreta. Terdapat beberapa metode pengukuran EM:

a. Pengukuran biologis klasik

Metode umum yang digunakan untuk mengukur energi metabolis bahan pakan telah dikembangkan oleh Hill dan asosiasi di Cornell University pada tahun 1950-an. Metode lain untuk mengukur energi metabolis dari bahan pakan yang meliputi Energi Metabolis Murni (True Metabolizable Energy) dikembangkan oleh Guillaume dan Summers (1970) dan dipopulerkan oleh Sibbald dan kawan-kawan. Pengukuran energi tersebut dengan cara memberikan pakan komplit pada ayam selama 5-7 hari, dengan mengukur konsumsi energi dari pakan dan energi yang keluar melalui ekskreta selama periode tersebut. Hill dan Anderson (1958) melakukan pengukuran dengan menggunakan anak ayam dan menyimpulkan bahwa EM adalah pengukuran yang sangat akurat untuk nilai energi pakan pada anak ayam.

Dalam pengukuran Energi metabolis secara biologis, sejumlah pertimbangan penting harus diakomodir dalam prosedur, karena akan mempengaruhi nilai akhir energi metabolis. Faktor-faktor yang harus

dievaluasi secara kritis oleh para ahli nutrisi dalam prosedur pengukuran energi metabolis pakan atau bahan pakan adalah :

b. Metode yang berhubungan dengan konsumsi pakan (feed intake) dan energi ekskreta

Seperti yang sudah dijelaskan terdahulu, bahwa energi metabolis menggambarkan energi yang dimakan dan tersedia untuk proses metabolisme, dalam prakteknya diukur dengan prosedur neraca yang mana konsumsi pakan dihubungkan dengan pengeluaran ekskreta pada periode yang sama. Pengukuran tersebut bisa dilakukan dengan mengukur jumlah pakan yang dikonsumsi dan ekskreta yang dikeluarkan, atau menghitung proporsi ekskreta yang dikeluarkan terhadap berat atau jumlah pakan yang dikonsumsi dengan menggunakan *marker* (penanda) yang tidak dapat diserap.

Secara teori, metode neraca total lebih disukai untuk mengukur energi metabolis secara langsung. Akan tetapi, pada prakteknya, mengukur konsumsi total agak sulit karena sering tercecernya pakan dan pengukuran total pengeluaran ekskreta juga tidak mudah. Jika metode *marker* digunakan, pengukuran total konsumsi pakan dan koleksi total ekskreta tidak perlu dilakukan. Perbandingan konsentrasi marker dalam bahan kering pakan dan ekskreta dapat dijadikan dasar untuk menghitung jumlah ekskreta yang dikeluarkan per unit pakan yang dikonsumsi. *Marker* yang banyak digunakan adalah chromium oxide (Cr_2O_3). Jika Cr_2O_3 ditambahkan ke dalam pakan, harus dicampur dengan gandum atau karier sejenis untuk mengatasi sifat elektrostatis. Kalau Cr_2O_3 langsung dicampurkan ke dalam pakan akan menyebabkan kehilangan sebagian sewaktu proses pencampuran

pakan, disebabkan presipitasi elektrostatis. *Marker* lain adalah barium sulfat, direkomendasikan sebagai marker alternatif, tetapi susah diukur jika terdapat kalsium. Serat kasar atau berbagai fraksi dari kompleks serat kasar juga dapat digunakan sebagai *marker* yang tidak dapat diabsorpsi.

b.1. Aplikasi faktor koreksi nitrogen

Nilai EM yang diukur dengan metode yang sudah dijelaskan di atas disebut EM klasik, sementara yang dikoreksi dengan retensi nitrogen (RN) menghasilkan nilai EM terkoreksi nitrogen. Apabila selama pengukuran EM terjadi retensi nitrogen oleh ternak, ekskreta akan mengandung sedikit nitrogen dari urin, sehingga energi lebih kecil dibandingkan dengan ternak yang tidak meretensi nitrogen. Retensi nitrogen akan berbeda untuk ternak yang berbeda umur, spesies, sehingga faktor koreksi nitrogen perlu dilakukan.

Hill dan Anderson (1958), membuat asumsi bahwa jika nitrogen tidak diretensi, akan keluar sebagai asam urat, sehingga dibuat angka koreksi 8,22 Kal/g RN, karena jika asam urat dioksidasi secara komplit akan menghasilkan energi sebesar diatas. Asumsi ini harus dikritisi karena nitrogen dalam urin hanya 60-80% berbentuk asam urat.

Sibbald dan Slinger (1963) mempertanyakan validitas penggunaan koreksi retensi nitrogen, karena hanya sedikit meningkatkan kegunaan EM klasik. Akan tetapi, Leeson *et al.* (1977) menunjukkan bahwa koreksi retensi nitrogen dibutuhkan untuk interpretasi data hasil pengukuran secara biologis.

c. Metode formulasi pakan

Jika nilai EM bahan pakan akan diukur, 2 atau 3 ransum harus digunakan. Ransum tersebut terdiri atas ransum basal yang sudah diketahui komposisinya dan 1 atau 2 ransum uji, dimana sebagian bahan pakan dari ransum basal diganti dengan bahan pakan uji. Perbedaan nilai EM yang diukur dari ransum basal dan ransum uji adalah nilai EM dari bahan pakan uji. Dalam pengukuran ini, ransum basal dan ransum uji diberikan pada ayam selama 3-4 hari, diikuti koleksi ekskreta selama 2-4 hari. Jika Cr_2O_3 digunakan sebagai *marker*, tidak perlu pengukuran konsumsi pakan atau menimbang jumlah ekskreta yang dihasilkan. Jika tidak menggunakan *marker*, total konsumsi selama periode pengukuran harus benar-benar dicatat dan koleksi ekskreta harus dilakukan dengan cermat. Menggunakan periode koleksi ekskreta selama 2-4 hari, akan meminimalkan hilangnya nutrien dari ekskreta dan pengumpulan ekskreta akan sangat sederhana diatas nampan terbuka yang disimpan dibawah kandang ayam. Untuk pengumpulan ekskreta yang lebih lama, perlu penyemprotan dengan bahan kimia (biasanya H_2SO_4 konsentrasi rendah). Selanjutnya dianalisis energi bruto dan nitrogen pada ransum dan ekskreta. Semua data analisis harus berdasarkan bahan kering. Pada Tabel 27 disajikan contoh pengukuran EM dari gandum pecahan (wheat shorts), dengan substitusi 40% gandum dalam ransum uji.

Tabel 27. Perhitungan EMSn dari gandum

Nilai hasil analisis	Ransum	Ekskreta
a. Ransum basal:		
Nitrogen (g/g)	0,035	0,080
EB (Kal/g)	4,500	4,800
Konsumsi ransum = 1000g		
Berat ekskreta = 300g		
b. Ransum uji:		
Nitrogen (g/g)	0,030	0,060
EB (Kal/g)	4,300	4,600
Konsumsi ransum = 750 g		
Berat ekskreta = 280 g		

Perhitungan EM:

$$\begin{aligned} \text{a. EMSn ransum basal} \\ \frac{1000 \text{ g} \times 4,5 - [300 \times 4,8 + (1000 \times 0,035 - 300 \times 0,08) 8,22]}{1000 \text{ g}} \\ = 2970 \text{ Kal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. EMSn ransum uji (m mengandung 40\% gandum)} \\ \frac{750 \text{ g} \times 4,3 - [280 \times 4,6 + (750 \times 0,03 - 280 \times 0,06) 8,22]}{1000 \text{ g}} \\ = 2520 \text{ Kal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. EMSn gandum} \\ 2970 - \frac{(2970 - 2520)}{0,40} \\ = 1845 \text{ Kal/kg} \end{aligned}$$

EMSn = energi metabolis semu terkoreksi nitrogen (AMEn, Apparent Metabolizable Energy nitrogen corrected)

Sumber : Leeson dan Summers, 2001

Pada Tabel 28 disajikan contoh pengukuran energi metabolis dari bungkil safflower dengan menggunakan marker Cr₂O₃, ransum uji mengandung 30% bungkil safflower.

Tabel 28. Perhitungan kandungan energi metabolis bungkil safflower

Nilai hasil analisis	Ransum	Ekskreta
a. Ransum basal:		
Nitrogen (g/g)	0,0425	0,1181
Chromium (mg/g)	2,83	16,64
Energi bruto (Kal/g)	4,211	3,114
b. Ransum uji (30% safflower):		
Nitrogen (g/g)	0,067	0,1115
Chromium (mg/g)	2,83	7,58
Energi bruto (Kal/g)	4,481	3,43
a. EM ransum basal:		
Energi ekskreta/g ransum = $3,114 \times \frac{2,83}{16,64}$		= 0,530 Kal
Retensi nitrogen per gram ransum = $0,0425 - (0,1181 \times \frac{2,83}{16,64})$		= 0,0224 g
Koreksi nitrogen = $0,0224 \times 8,22$		= 0,184 Kal/g
EM ransum basal = $4,211 - (0,530 + 0,184)$		= 3,497 Kal/g
b. Energi ransum uji:		
Energi ekskreta/g ransum = $3,43 \times \frac{2,83}{7,58}$		= 1,279 Kal
Retensi nitrogen per gram ransum = $0,067 - (0,1115 \times \frac{2,83}{7,58})$		= 0,0254 g
Koreksi nitrogen = $0,0254 \times 8,22$		= 0,209 Kal/g
EM ransum uji = $4,481 - (1,279 + 0,209)$		= 2,993 Kal/g = 2993 Kal/kg
c. Jadi EM safflower		
= $3,497 - (\frac{3,497 - 2,993}{0,3})$		= 1,82 Kal/g = 1820 Kal/kg

Sumber : Leeson dan Summers, 2001

d. Pengukuran Energi Metabolis Murni (True Metabolizable Energi/TME) secara cepat

Menurut Harris (1966), energi metabolis murni (EMM) atau TME (true metabolizable energy) adalah energi metabolis yang dikoreksi oleh energi endogenous feses dan urin. Energi endogenous tersebut bukan berasal dari pakan yang dikonsumsi, dan sesuai pendapat Sibbald (1980) bahwa koreksi terhadap energi endogenous ini menghasilkan energi EMM.

Metode penentuan EMM ini relatif cepat, hanya memerlukan 48 jam periode koleksi ekskreta. Metode ini juga mempunyai keuntungan, yaitu memerlukan bahan pakan uji sedikit. Walaupun metode ini dikatakan metode yang cepat, namun tetap saja tidak bisa diselesaikan dalam waktu kurang dari satu minggu, karena analisis proksimat di laboratorium memerlukan waktu yang agak lama.

Terdapat kelemahan dari metode di atas, yaitu bahan pakan seringkali diberikan dalam bentuk tunggal, sehingga sinergisme antara bahan pakan tidak diakomodir. Sinergisme tersebut terjadi antar asam lemak-asam lemak dan antar protein konsentrat.

Farrel (1978) mengatasi masalah pemberian pakan secara paksa (force feeding) pada metode terdahulu dengan cara melatih ayam untuk mengkonsumsi kebutuhan pakan harian mereka dalam waktu 1 jam. Ekskreta yang dikoleksi dianalisis dalam waktu 24 jam berikutnya dan nilai EM diperoleh dalam waktu 36 jam. Untuk bahan pakan tertentu tidak bisa hilang dari saluran pencernaan dalam waktu 24 jam, sehingga waktu 36 jam disarankan untuk koleksi ekskreta.

e. Pengukuran Energi Metabolis Menurut Sibbald

Penelitian Ian Sibbald menghasilkan perkembangan metode praktis untuk mengukur Energi Metabolis Murni (True Metabolizable Energy/TME) dari bahan pakan. Metode tersebut dikembangkan lagi untuk mengukur pencernaan murni (true digestibility) dari berbagai nutrisi, terutama asam amino.

Sebelum sampai metode TME, prosedur standar untuk mengukur nilai energi bahan pakan adalah Energi metabolis semu (Apparent Metabolizable Energy/AME). Penentuan AME membutuhkan waktu sekitar 3 minggu. Pengukuran AME berdasarkan konsumsi ransum (feed intake) *ad libitum*, sehingga memerlukan uji palatabilitas bahan pakan. Dari hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan bahwa AME dipengaruhi oleh banyak faktor, meliputi spesies unggas, strain, umur, dan taraf konsumsi ransum.

Taraf konsumsi ransum adalah variabel paling penting dalam mempengaruhi AME. Nilai AME adalah semu, karena gagal untuk memperhitungkan kehilangan energi melalui energi fecal metabolik (metabolic fecal energy) dan energi urin endogenous (endogenous urinary energy). Pada taraf konsumsi ransum rendah, energi yang dibuang sebagai energi metabolik dan endogenous menjadi besar, sehingga menempati porsi besar dari keseluruhan energi yang diekskresikan.

Dasar-dasar Pengukuran TME menurut Sibbald adalah:

1. Pengukuran harus cepat dan ekonomis (mengurangi waktu yang dibutuhkan dari beberapa minggu menjadi beberapa hari)

2. Metode analisis harus sederhana dan dapat diulang (menggunakan timbangan dan bomb kalorimeter adiabatik)
3. Unggas yang digunakan untuk menguji TME akan kekurangan pakan untuk sementara waktu selama pengukuran
4. Untuk bahan pakan bukan cairan sangat tepat diukur secara tunggal
5. Ekskreta dikumpulkan selama periode pengukuran
6. Unggas yang tidak diberi pakan digunakan untuk mengukur kehilangan energi sebagai energi metabolik dan endogenous

Rangkaian pengukuran energi metabolis dilakukan oleh Sibbald dari tahun 1974 sampai 1989. Deskripsi pertama pengukuran TME adalah:

1. Menggunakan ayam jantan dewasa, diletakkan dalam kandang (cage) individu, diberi air minum *ad libitum*, dipuaskan selama 21 jam
2. Seekor ayam diseleksi, ditimbang, dan diberi bahan pakan yang mau diukur secara paksa (force fed) sebanyak 20-25g
3. Ayam dikembalikan ke *cage*, nampan plastik diletakkan di bawah *cage* dan waktu ayam mulai masuk dicatat
4. Seekor ayam yang mempunyai bobot badan sama dipilih dan dimasukkan kembali ke dalam *cage* tanpa diberi makan, nampan plastik diletakkan di bawah *cage*, waktu ayam masuk dicatat
5. Langkah 2, 3 dan 4 diulangi untuk mendapatkan jumlah ulangan yang diinginkan

6. Tepat setelah 24 jam ayam dimasukkan dalam *cage*, nampan plastik diambil, ekskreta dikumpulkan semua, dibekukan, dikeringkan (freeze dried), dibiarkan seimbang dengan kadar air ruangan, dan ditimbang
7. Sampel bahan pakan dan ekskreta digiling dengan ukuran lolos saringan ukuran 20 mesh dan dianalisis kandungan energi bruto
8. $TME \text{ (Kal/g BK)} = (EBf \times X) - (Yef - Yee)/X$, dimana EBf = energi bruto bahan pakan (Kal/g); Yef = energi yang dikeluarkan melalui ekskreta; Yee = energi ekskreta dari ayam yang tidak diberi pakan; X = adalah jumlah konsumsi bahan pakan (g)

E. Pengukuran Energi Produktif

Pengukuran energi produktif adalah upaya untuk mengukur nilai energi neto dari pakan, yaitu jumlah energi sebenarnya yang tersedia untuk hidup pokok dan produksi. Perbedaan antara energi metabolis dengan energi neto adalah kehilangan panas akibat utilisasi pakan (specific dynamic action). Prosedur dasar untuk menentukan energi produktif memerlukan data untuk memenuhi persamaan di bawah ini:

$$WM + G = FX$$

W = rata-rata berat anak ayam selama periode percobaan
(biasanya 14 hari)

M = Kebutuhan hidup pokok

G = Pertambahan energi karkas selama periode percobaan

F = Konsumsi pakan

X = Nilai energi produktif pakan per satuan berat

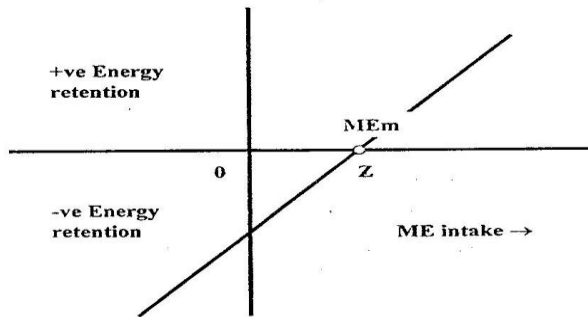
W dapat diukur dengan cara menimbang anak ayam selama periode percobaan. Nilai G diperoleh dari perbedaan kandungan energi karkas anak ayam yang dipotong pada waktu awal percobaan dengan kandungan energi karkas pada anak ayam yang dipotong pada akhir percobaan. F diukur selama percobaan. Ransum uji diberikan dengan 2 macam cara pemberian pakan. Pada grup I, anak ayam diberi pakan dengan jumlah sesuai kebutuhan (full-fed). Grup II, anak ayam diberi pakan sebanyak 60 atau 70% dari jumlah konsumsi grup I. M diperoleh dari ekstrapolasi dari data ketika $F = 0$.

Karena pengukuran nilai energi produktif melibatkan banyak peubah yang diukur, nilai energi produktif secara akurat susah diperoleh, sehingga pengukuran energi produktif ini tidak seproduktif pengukuran energi metabolis. Nilai energi metabolis telah digunakan secara ekstensif karena berkorelasi sangat tinggi dengan nilai energi neto untuk ransum yang seimbang.

F. Neraca Energi pada Unggas

Neraca Energi

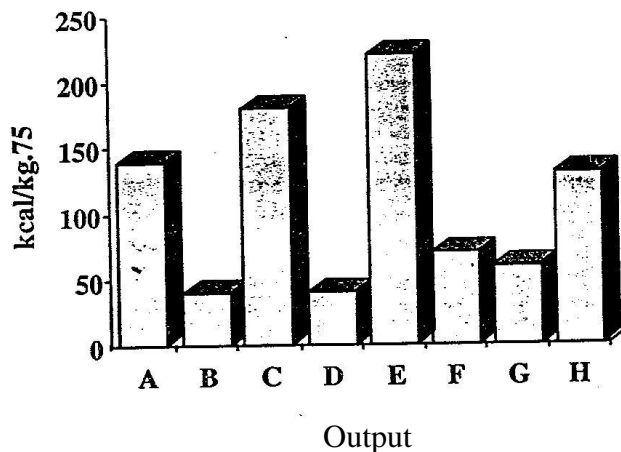
Jika konsumsi energi (energy intake) meningkat, maka retensi energi dalam tubuh akan meningkat, terutama dalam bentuk lemak dan protein. Gambar 34 adalah hubungan antara konsumsi energi dengan retensi energi.



Gambar 34. Hubungan antara konsumsi energi metabolis dengan retensi energi (Leeson dan Summers, 2001)

Ketika konsumsi energi metabolis sebesar Z (Gambar 34), retensi energi nol (0), maka titik ini adalah kebutuhan energi untuk hidup pokok. Jika konsumsi energi lebih besar dari Z, unggas akan meretensi energi dalam jumlah linier sampai titik pertumbuhan lemak maksimal.

Neraca energi pada ayam broiler. Neraca energi untuk ayam broiler yang sedang tumbuh disajikan pada Gambar 35.



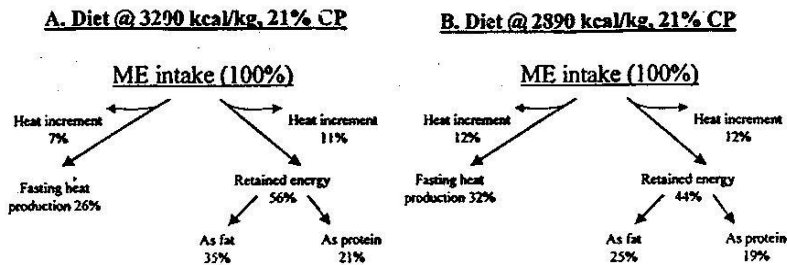
Gambar 35. Neraca energi harian untuk ayam broiler jantan umur 28 hari yang dipelihara pada suhu 22°C (Leeson dan Summers, 2001)

Konsumsi energi ayam broiler pada Gambar 35 adalah sebesar 350 Kal EM/kg^{0.75}. Energi yang dikonsumsi tersebut digunakan untuk berbagai keperluan (Tabel 29).

Tabel 29. Neraca energi harian pada ayam broiler umur 28 hari

Masukan :	Luaran :	Kal/kg ^{0.75}
Konsumsi energi Kal/kg ^{0.75} = 350 Kal	A. Metabolisme basal	140
	B. Aktivitas	40
	C. Hidup pokok (A + B)	180
	D. Heat increment	40
	E. Produksi panas total	220
	F. Deposisi protein	70
	G. Deposisi lemak	60
	H. Pertumbuhan (F + G)	130
	Total	350

Utilisasi dan neraca energi metabolis dipengaruhi oleh taraf energi dalam ransum. Walaupun ayam broiler akan makan sesuai dengan kebutuhannya, akan tetapi akan mengkonsumsi energi lebih banyak jika diberi ransum dengan kandungan energi tinggi. Jika taraf protein/asam amino dalam ransum tersebut tetap, maka kelebihan energi akan disimpan sebagai lemak. Dikarenakan ransum tinggi energi lebih mudah dibuat dengan menambahkan minyak, maka *heat increment* akan turun secara proporsional sesuai dengan kenaikan energi ransum (Gambar 36).



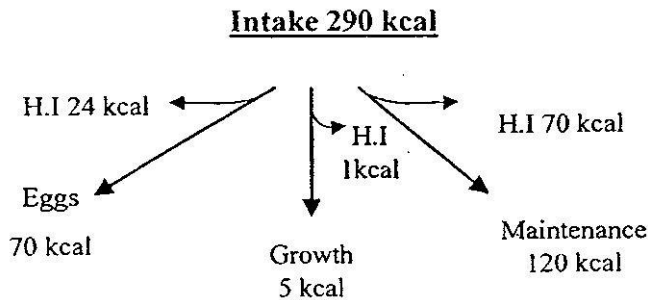
Gambar 36. Pengaruh energi ransum terhadap neraca energi pada ayam broiler betina umur 21 hari (McLeod, 1990 dalam Leeson dan Summers, 2001)

Biaya energi untuk deposisi protein sangat tinggi dibanding untuk deposisi lemak, sehingga komposisi karkas ayam yang sedang tumbuh sangat berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan energi. Protein dan energi membutuhkan jumlah energi neto yang sama untuk deposisi dalam tubuh. Untuk deposisi lemak, sebagian besar energi dihasilkan dari kandungan energi lemak itu sendiri. Satu gram protein mengandung 5,5 Kal energi bruto, jumlah ini mewakili 48% dari jumlah yang dibutuhkan untuk deposisi secara keseluruhan di dalam tubuh, yaitu 11,5 Kal. Lemak mengandung energi bruto sekitar 9,1 Kal/g, mewakili 82% dari 11,2 Kal biaya energi yang dibutuhkan untuk deposisi 1 g lemak dalam tubuh. Efisiensi untuk deposisi protein(Kp) adalah 48% dan lemak (Kf) adalah 82%.

F.1. Neraca energi pada ayam petelur

Neraca energi untuk ayam petelur hampir sama dengan broiler, diperhitungkan ukuran bobot badan metabolis dan produksi telur massa harian. Berdasarkan fakta bahwa kebutuhan energi untuk

petelur berhubungan secara linier dengan bobot badan untuk bobot dengan kisaran 1,2-2,5 kg. Gambar 37. menyajikan neraca energi untuk ayam petelur dengan bobot badan 1,5 kg, produksi telur 54 g per hari.



Gambar 37. Neraca energi dari ayam petelur dengan bobot badan 1,5kg

Ukuran telur mempengaruhi neraca energi pada Gambar 37, karena semakin besar ukuran telur, kandungannya semakin meningkat. Secara umum, telur dengan ukuran kecil, medium, besar dan jumbo masing-masing mengandung energi bruto sekitar 1,0; 1,3; 1,6 dan 1,8 Kal/g.

F.2. Neraca energi pada ayam broiler pembibit (Broiler breeder hens).

Spratt *et al.* (1990) telah mengukur partisi energi pakan yang dikonsumsi oleh ayam broiler pembibit. Ayam yang digunakan dalam pengukuran ini berjumlah 80 ekor berumur 22 minggu dan dikandangkan pada kandang individu. Ayam dipelihara pada suhu kandang 21°C, kelembaban 87% dengan pemberian cahaya selama 14 jam per hari. Ransum yang diberikan mengandung protein kasar

14.5% dan energi metabolis 11.1 MJ EMn per kg (2653 Kal EMn/kg). Ransum diberikan dalam 4 alokasi (sebagai perlakuan); 80.8 g/ekor/hari (Perlakuan 1), 101.9 g/ekor/hari (Perlakuan 2), 123 g/ekor/hari (Perlakuan 3) dan 145 g/ekor/hari (Perlakuan 4). Pakan diberikan dari umur 22 minggu. Pada umur 28 minggu, ayam dimasukkan ke dalam chamber kalorimeter sirkuit terbuka (open-circuit calorimeter chamber) yang. Setiap ruang terdiri dari 4 sangkar (cages) yang masing-masing dilengkapi dengan tempat pakan dan air minum serta nampan penampung ekskreta. Kemudian diukur konsumsi O₂ dan produksi CO₂, koleksi ekskreta juga dilakukan. Hasil pengukuran tersebut di atas disajikan pada Tabel 30; Tabel 31 dan Tabel 32.

Tabel 30. Rataan bobot badan, konsumsi ransum, Emn, produksi telur dan berat telur ayam broiler pembibit selama pengukuran kalorimeter, hari ke- 4 sampai ke- 7

Peubah	Ransum Perlakuan			
	P1	P2	P3	P4
Bobot badan (kg)	2.598 ±0.85	2.739±0.087	2.888±0.162	2.820±0.097
Konsumsi ransum (g/kg BB/hari)	30.8±1.3	36.9±1.3	42.3±2.2	50.9±1.7
EMn pakan (kJ per g (as fed)	10.35±0.09	10.49±0.16	10.57±0.21	10.93±0.26
EMn pakan (kkal per kg (as fed)*	2473.7±21.5	2507.1±38.2	2526.2±50.2	2612.3±62.1
Produksi telur (%)	83.3±18.8	92.2±15.1	79.2±23.4	90.6±20.2
Bobot telur (g/butir)	56.0±3.0	55.8±2.5	58.7±1.3	55.4±2.0

Sumber: Spratt *et al.* (1990); * 1 kJ = 0.239 Kal;

Tabel 31. Neraca energi pada ayam broiler pembibit

Peubah	Ransum Perlakuan			
	P1	P2	P3	P4
Konsumsi EM (kJ/kg BB/hari)	318	389	448	557
Konsumsi O ₂ (L/kg BB/hari)	14.3	15.1	15.5	16.3
Produksi CO ₂ (L/kg BB/hari)	12.4	13.3	14.1	15.2
RQ	0.87	0.88	0.91	0.93
Produksi panas (kJ/kg BB/hari)	293	310	322	339
Recovered energy* (kJ/kg BB/hari)	25	79	126	218
Energi telur (kJ/kg BB/hari)	109	126	101	121
Energi tubuh** (kJ/kg BB/hari)	-84	-47	25	97

Sumber : Spratt *et al.* (1990); * Konsumsi EM – produksi panas ; ** meliputi energi jaringan dan bulu (recovered energy – energi telur)

Tabel 32. Partisi retensi energi pada ayam broiler pembibit

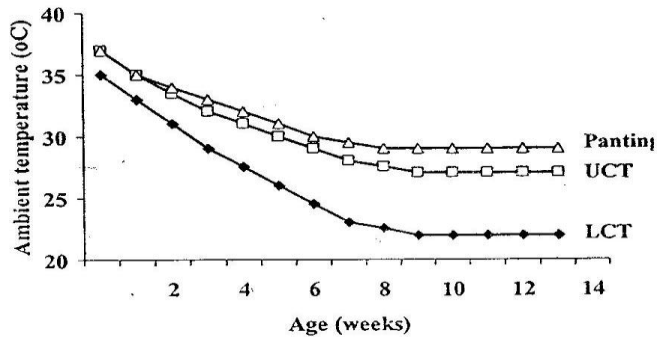
Peubah	Ransum Perlakuan			
	P1	P2	P3	P4
Recovered energy (kJ/kg BB/hari)	25	79	126	218
Protein (kJ/kg BB/hari)	38	54	59	75
Lemak (kJ/kg BB/hari)	-13	25	67	143

Sumber : Spratt *et al.* (1990).

G. Pengaruh Lingkungan terhadap Neraca Energi

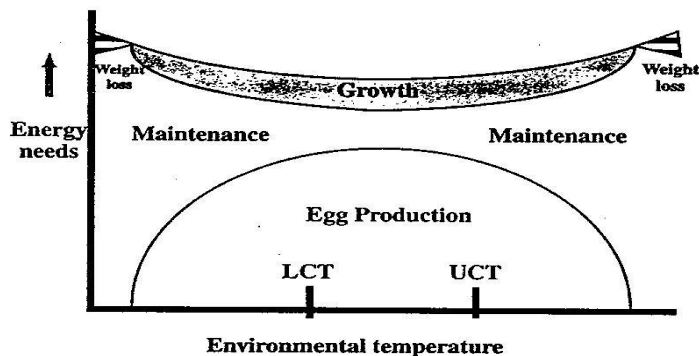
Sebagian besar parameter lingkungan mempengaruhi metabolisme energi pada unggas. Oleh karena unggas adalah *homeotherm*, maka temperatur merupakan faktor yang sangat mempengaruhi. Sebagian besar ternak mempunyai zona nyaman atau *thermal neutral zone* dari temperatur lingkungan, dimana pada zona tersebut pengeluaran energi minimal sebagai metabolisme basal. Untuk unggas, zona nyaman ini berubah sesuai umur sebagai konsekuensi dari berkurangnya luas permukaan tubuh per unit bobot badan dan disebabkan pengaruh insulator dari bulu yang berkembang

pada umur 3-4 minggu. Suhu nyaman untuk unggas dibatasi oleh suhu kritis atas (upper critical temperatur/UCT) dan suhu kritis bawah (lower critical temperature/LCT) seperti disajikan pada Gambar 38.



Gambar 38. Zona suhu nyaman untuk ayam leghorn putih yang sedang tumbuh (Meltzer *et al.*, 1982 dalam Leeson dan Summers, 2001)

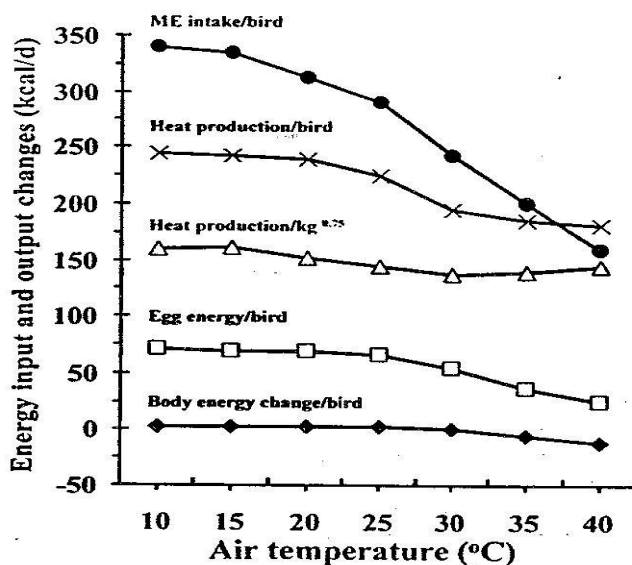
Neraca energi dan performa unggas akan optimal pada zona suhu nyaman. Pada suhu tinggi dan rendah, kebutuhan hidup pokok (maintenance) akan meningkat sebagai respon terhadap kebutuhan untuk mendinginkan atau menghangatkan tubuh.



Gambar 39. Memperlihatkan respon ayam petelur terhadap perubahan temperatur lingkungan.

Dari Gambar 39. dapat dijelaskan bahwa produksi telur akan maksimum pada temperatur antara suhu kritis bawah (LCT) dan suhu kritis atas (UCT). Diluar kisaran suhu tersebut, produksi telur akan menurun karena defisiensi energi. Pada suhu yang ekstrim juga akan kekurangan energi untuk pertumbuhan dan pada titik tertentu ayam akan kehilangan bobot badan.

Marsden dan Morris (1987) menggambarkan lebih rinci lagi mengenai neraca energi pada ayam petelur yang dipelihara pada suhu 10° sampai 40° C (Gambar 40).



Gambar 40. Pengaruh suhu lingkungan terhadap neraca energi pada ayam leghorn (Marsden dan Morris, 1987 dalam Leeson dan Summers, 2001)

H. Data Neraca Energi Ternak Unggas di Indonesia

H.1. Neraca energi pada Itik, Entok dan Mandalung.

Aini (2003) telah mengukur produksi panas pada itik, entok dan mandalung. Pengukuran konsumsi oksigen dan produksi CO₂ dilakukan pada saat puasa dan pada saat makan dengan menggunakan satu unit chamber respirasi sirkulasi tertutup. Data bobot badan itik (*Anas platyrhynchos*), Entok (*Cairina moschata*) dan Mandalung sebelum pengukuran oksigen disajikan pada Tabel 33, data konsumsi oksigen disajikan pada Tabel 34, data produksi CO₂ pada Tabel 35, produksi panas pada Tabel 32 dan kebutuhan energi metabolis basal disajikan pada Tabel 33.

Tabel 33. Rataan bobot badan itik, entok dan mandalung sebelum pengukuran konsumsi oksigen

Minggu ke -	Itik		Entok		Mandalung	
	Puasa	Makan	Puasa	Makan	Puasa	Makan
..... (gram/ekor)						
1	85.5 ± 14.6	129.0 ± 16.7	124.3 ± 6.4	159.5 ± 35.6	104.8 ± 10.6	143.8 ± 1.3
4	783.3 ± 42.5	800.0 ± 42.2	775.5 ± 144.7	1021.8 ± 221.5	895.8 ± 121.0	1142.3 ± 88.5
8	1235.5 ± 48.9	1188.8 ± 60.5	1526.8 ± 183.3	1497.8 ± 197.6	1760.3 ± 72.2	1565.8 ± 165.8

Sumber: Aini, 2003

Tabel 34. Konsumsi oksigen itik, entok dan mandalung

Minggu ke -	Itik		Entok		Mandalung	
	Puasa	Makan	Puasa	Makan	Puasa	Makan
.....(l/kgBB ^{0.75} /hari).....						
1	36.29± 5.50	35.95± 4.10	35.61± 7.80	30.8± 2.20	38.42± 3.90	39.43± 8.60
4	25.54± 2.30	24.99± 3.20	28.54± 3.10	23.98± 5.60	25.29± 2.60	21.42± 1.90
8	17.4± 1.40	16.08± 1.50	17.5± 0.80	16.01± 1.64	15.63± 4.51	19.07± 2.40

Sumber: Aini, 2003

Konsumsi oksigen itik pada saat pengukuran tahap puasa minggu pertama (36.29 ± 5.50 l/kg $BB^{0.75}$ /hari) menunjukkan angka yang hampir sama dengan konsumsi oksigen pada tahap pemberian pakan (35.95 ± 4.10 l/kg $BB^{0.75}$ /hari). Konsumsi oksigen pada entok berbeda dengan konsumsi pada itik. Pada minggu pertama entok mengkonsumsi oksigen lebih banyak pada saat puasa dibandingkan dengan saat pemberian pakan (35.61 ± 7.80 l/kg $BB^{0.75}$ /hari dan 30.80 ± 2.20 l/kg $BB^{0.75}$ /hari). Konsumsi oksigen pada mandalung pada minggu pertama lebih tinggi pada saat makan (39.43 ± 8.61 l/kg $BB^{0.75}$ /hari) dibandingkan saat puasa (38.42 ± 3.90 l/kg $BB^{0.75}$ /hari). Konsumsi oksigen yang tinggi pada mandalung mengindikasikan bahwa mandalung mengoksidasi zat-zat makanan lebih cepat dibandingkan itik dan entok.

Konsumsi oksigen itik pada minggu keempat pada saat puasa lebih tinggi jika dibandingkan pada saat makan yaitu 25.98 ± 2.30 l/kg $BB^{0.75}$ /hari dan 24.99 ± 3.20 l/kg $BB^{0.75}$ /hari. Hal yang sama terjadi pada entok dan mandalung. Konsumsi oksigen entok dan mandalung pada saat puasa lebih tinggi dibandingkan pada saat diberi pakan. Konsumsi oksigen entok saat puasa adalah 28.54 ± 3.10 l/kg $BB^{0.75}$ /hari dan saat diberi pakan adalah 23.98 ± 5.60 l/kg $BB^{0.75}$ /hari. Konsumsi oksigen mandalung pada saat puasa adalah 25.29 ± 2.60 l/kg $BB^{0.75}$ /hari dan pada saat diberi pakan adalah 21.42 ± 1.90 l/kg $BB^{0.75}$ /hari. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas metabolisme dalam tubuh itik, entok dan mandalung pada saat puasa lebih tinggi jika dibandingkan dengan aktivitas metabolisme pada waktu diberi pakan. Menurut Brody (1974), konsumsi oksigen juga berhubungan dengan bobot badan. Konsumsi oksigen ternak per unit bobot badan akan

berbanding terbalik dengan bobot badan, semakin tinggi bobot badan maka konsumsi oksigen per unit bobot badan akan semakin kecil begitu pula sebaliknya.

Produksi Karbondioksida

Karbondioksida yang diproduksi oleh ternak merupakan hasil oksidasi zat-zat makanan dalam tubuh ternak. Jumlah CO₂ yang diproduksi oleh ternak tidak tergantung dengan konsumsi oksigen akan tetapi berdasarkan pada zat nutrisi yang dibakar dalam proses metabolisme dalam tubuh ternak. Rataan produksi karbohidrat ternak itik, entok dan mandalung dapat dilihat pada Tabel 35.

Tabel 35. Rataan produksi karbohidrat ternak itik, entok dan mandalung

Minggu ke-	Itik		Entok		Mandalung	
	Puasa	Makan	Puasa	Makan	Puasa	Makan
(l/kgBB ^{0.75} /hari).....					
1	28.33± 4.50	30.78± 3.20	29.35± 7.10	27.26± 6.00	32.52± 4.20	33.75± 5.90
4	18.49± 1.60	19.78± 2.40	22.45± 3.00	18.89± 3.70	19.54± 3.50	16.74± 1.40
8	12.7± 1.30	12.25± 1.40	13.66± 1.30	12.59± 1.60	11.74± 2.10	15.13± 3.60

Sumber: Aini, 2003

Koefisien Respirasi

Nilai koefisien respirasi merupakan perbandingan produksi CO₂ dengan O₂ yang dikonsumsi oleh ternak. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan data nilai koefisien respirasi ternak itik, entok dan mandalung minggu pertama, keempat dan kedelapan pada saat puasa dan pada saat pemberian pakan yang dapat dilihat pada Tabel 36.

Tabel 36. Rataan nilai kuosien respirasi itik, entok dan mandalung

Minggu ke -	Itik		Entok		Mandalung	
	Puasa	Makan	Puasa	Makan	Puasa	Makan
1	0.78 ± 0.07	0.86 ± 0.10	0.83± 0.08	0.88 ± 0.15	0.85± 0.10	0.86 ± 0.03
4	0.71± 0.01	0.79 ± 0.11	0.78 ± 0.05	0.79± 0.02	0.77 ± 0.10	0.78 ± 0.01
8	0.73 ± 0.03	0.76 ± 0.05	0.78 ± 0.06	0.79 ± 0.03	0.75± 0.02	0.79 ± 0.07

Sumber: Aini, 2003

Nilai kuosien resipirasi mandalung puasa dan entok makan pada minggu pertama merupakan yang tertinggi, sedangkan pada minggu keempat nilai kuosien respirasi entok puasa dan itik saat pemberian pakan merupakan yang tertinggi. Pada minggu kedelapan entok saat puasa maupun saat pemberian pakan memiliki nilai kuosien respirasi yang paling tinggi. Nilai kuosien respirasi ternak menunjukkan angka yang lebih tinggi pada saat pemberian pakan dibandingkan pada saat puasa.

Produksi Panas

Panas yang dihasilkan oleh ternak merupakan hasil oksidasi dari zat-zat makanan. Produksi panas didapatkan dari perkalian jumlah konsumsi oksigen dengan Nilai Setara Kalor (NSK) dari RQ yang bersesuaian pada Tabel 35. Produksi panas per unit bobot badan ternak berdasarkan Konsumsi Oksigen disajikan pada Tabel 37.

Tabel 37. Nilai setara kalor untuk unggas

Nilai RQ	Kal/liter O2	Kal/liter CO2
0.7	4.686	6.694
0.71	4.690	6.606
0.72	4.702	6.531
0.73	4.714	6.458
0.74	4.727	6.388
0.75	4.729	6.319
0.76	4.752	6.233
0.77	4.764	6.187
0.78	4.776	6.223
0.79	4.789	6.062
0.80	4.801	6.001
0.81	4.813	5.942
0.82	4.825	5.844
0.83	4.838	5.829
0.84	4.850	5.774
0.85	4.863	5.721
0.86	4.875	5.669
0.87	4.887	5.617
0.88	4.900	5.568
0.89	4.912	5.519
0.90	4.924	5.378
0.91	4.936	5.424
0.92	4.948	5.378
0.93	4.960	5.333
0.94	4.973	5.290
0.95	4.985	5.247
0.96	4.997	5.205
0.97	5.010	5.165
0.98	5.022	5.124
0.99	5.034	5.085
1.00	5.047	5.047

Sumber: Amrullah (2003)

Tabel 38. Produksi panas puasa dan produksi panas saat pemberian pakan pada itik, entok dan mandalung minggu 1, 4, 8 berdasarkan konsumsi O₂

Minggu ke -	Itik		Entok		Mandalung	
	Puasa	Makan	Puasa	Makan	Puasa	Makan
(l/kgBB ^{0.75} /hari).....					
1	173.2	175.26	172.28	150.92	186.85	192.23
4	121.85	119.98	136.31	114.84	120.48	102.30
8	82.02	76.40	83.85	76.67	73.91	91.33

Sumber: Aini, 2003

Selain dari konsumsi oksigen, produksi panas dapat pula dihasilkan dari perkalian antara produksi CO₂ dengan Nilai Setara Kalor (Tabel 36).

Tabel 39. Produksi panas puasa dan produksi panas saat pemberian pakan pada itik, entok dan mandalung minggu 1, 4, 8 berdasarkan konsumsi O₂

Minggu ke -	Itik		Entok		Mandalung	
	Puasa	Makan	Puasa	Makan	Puasa	Makan
 (Kal/kgBB ^{0.75})					
1	176.58	174.49	171.52	151.78	186.05	191.33
4	122.14	119.91	139.71	114.51	121.79	104.17
8	82.01	76.35	84.51	78.35	74.18	91.72

Sumber: Aini, 2003

Data pada Tabel 38 menunjukkan bahwa secara umum itik, entok maupun mandalung memiliki produksi panas yang lebih rendah pada saat makan jika dibandingkan saat puasa. Hal ini karena pada saat makan, zat makanan yang akan dioksidasi oleh ternak telah tersedia

dalam pakan sehingga dengan jumlah konsumsi oksigen yang sedikit telah dapat mengoksidasi zat makanan tersebut.

Berdasarkan penelitian Ballo (1997), produksi panas puasa ayam kampung pada umur 10 minggu adalah 93.119 Kal/kg $BB^{0.75}$ /hari, lebih tinggi dibandingkan itik, entok dan mandalung pada umur 8 minggu. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas ayam kampung lebih tinggi dibandingkan itik, entok dan mandalung. Produksi panas yang tinggi pada ayam kampung juga menunjukkan bahwa ayam kampung membutuhkan energi yang lebih banyak dibandingkan itik, entok dan mandalung. Produksi panas puasa merupakan perkiraan kebutuhan energi neto untuk hidup pokok. Produksi panas puasa dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan energi metabolis dari ternak, yaitu dengan cara menghitung kebutuhan energi untuk aktivitas dan energi untuk pertumbuhan seperti yang terdapat dalam Scott *et al.* (1982). Selain dengan menggunakan produksi panas puasa, kebutuhan energi metabolis ternak dapat juga diperkirakan dengan menggunakan bobot badan ternak. Untuk mendapatkan kebutuhan energi metabolis ternak per ekor per hari produksi panas ternak terlebih dahulu dikonversi menjadi Kal/ekor/hari. Hasil tersebut disajikan pada Tabel 40.

Berdasarkan pengukuran dengan menggunakan *chamber*, kebutuhan energi metabolis mandalung setiap minggunya lebih tinggi jika dibandingkan itik dan entok. Hal tersebut berhubungan dengan pertumbuhan mandalung yang cepat (Hoffman dan Canning, 1993) sehingga energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tersebut juga besar.

Tabel 40. Perkiraan kebutuhan energi metabolis itik entok dan mandalung minggu 1, 4, 8 berdasarkan pengukuran menggunakan chamber respirasi dan perhitungan berdasarkan bobot badan

Minggu ke -	Itik		Entok		Mandalung	
	Penguk	Perhit*	Penguk	Perhit*	Penguk	Perhit*
 (kcal/ekor/hari)					
1	60.78	37.52	59.93	48.54	74.86	43.1
4	237.95	188.89	208.47	178.74	262.07	205.61
8	194.00	180.97	185.54	245.97	252.64	275.78

Keterangan : * Perhitungan menurut Scott *et al.*(1982)

Sumber:Aini, 2003

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan bobot badan, pada minggu pertama entok membutuhkan energi metabolis yang lebih tinggi dibandingkan itik dan mandalung, tetapi pada minggu keempat dan kedelapan kebutuhan energi metabolis mandalung merupakan yang tertinggi.

Pendugaan kebutuhan energi metabolis dengan pengukuran menggunakan *chamber* atau perhitungan berdasarkan bobot badan memiliki kelebihan dan kekurangan. Pendugaan dengan pengukuran menggunakan *chamber* lebih mendekati kebutuhan ternak tersebut tetapi waktu dan biaya yang dibutuhkan lebih banyak, sedangkan pendugaan dengan menggunakan bobot badan lebih mudah dilakukan tetapi harus dilakukan penelitian lanjutan untuk mencari faktor koreksi dalam pendugaan kebutuhan energi metabolis berdasarkan bobot badan.

H.2. Neraca energi pada Ayam kampung (Ballo, 1997)

Ballo (1997) telah mengukur produksi panas pada ayam kampung dan ayam persilangan antara ayam kampung jantan dan ayam ras betina. Hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 41.

Tabel 41 .Rataan konsumsi O₂ dan produksi panas pada tahapan puasa dan pemberian makan antara ayam kampung dan ayam persilangan

Variabel respon	Ayam kampung	Ayam persilangan
Tahap puasa:		
Konsumsi O ₂ , liter/kg BB ^{0.75} /hari	19.427 ^a ±1.331	13.351 ^b ±0.674
Kuosien respirasi	0.795 ^a ±0.016	0.714 ^b ±0.008
Produksi panas , Kal/kgBB ^{0.75} /hari	93.119 ^a ±6.259	62.670 ^b ±3.228
Tahap diberi makan:		
Konsumsi O ₂ , liter/kg BB ^{0.75} /hari	26.515 ^a ±0.881	24.948 ^a ±1.789
Koefisien respirasi	0.942 ^a ±0.023	0.939 ^a ±0.026
Produksi panas , Kal/kgBB ^{0.75} /hari	131.909 ^a ±4.174	124.020 ^a ±8.136

Konsumsi Oksigen

Perombakan zat-zat makanan di dalam tubuh ternak diselenggarakan melalui pembakarandengan memerlukan sejumlah oksigen (O₂). Oleh karena itu aktivitas metabolisme dalam tubuh dapat dideteksi antara lain melalui konsumsi O₂.

Rataan konsumsi O₂ ayam kampung yang diukur pada kondisi puasa menunjukkan 45.5% nyata lebih tinggi dibandingkan ayam silang (19.427 vs 13.351 liter/kg BB^{0.75}/hari). Hasil ini dikarenakan aktivitas ayam kampung lebih tinggi dibandingkan ayam silang yang menyebabkan perbedaan terhadap O₂ yang dikonsumsi. Pengukuran

konsumsi O_2 pada kondisi pemberian makan memperlihatkan perbedaan yang tidak nyata, sekalipun ayam kampung menggunakan O_2 6.3% lebih tinggi dibandingkan ayam silang (26.515 vs 24.948 liter/kg $BB^{0.75}$ /hari).

Koefisien Respirasi

Nilai koefisien respirasi adalah nilai yang menunjukkan jumlah energi dalam bentuk panas yang dihasilkan dalam proses metabolisme. Konsumsi O_2 untuk setiap gram karbohidrat lebih sedikit daripada lemak. Oleh karena itu pada awalnya lemak kurang teroksidasi, protein berada antara karbohidrat dan lemak, tetapi lebih dekat pada karbohidrat. Status awal oksidasi juga menentukan zat makanan yang diukur dengan kalorimetri langsung.

Nilai koefisien respirasi yang diukur pada kondisi puasa adalah nyata lebih tinggi pada ayam kampung daripada ayam silang (0.795 vs 0.714). Artinya bahwa selama kondisi puasa, pada ayam silang lebih banyak lemak teroksidasi sedangkan untuk ayam kampung, panas yang dihasilkan dari hasil oksidasi lemak semakin berkurang. Menurut Brody (1974) bahwa nilai $RQ = 0.714$ pada ayam silang mengindikasikan bahwa panas yang dihasilkan adalah 98.9% berasal dari oksidasi lemak dan hanya 1.1 % yang berasal dari karbohidrat, sedangkan $RQ = 0.795$ pada ayam kampung berarti 66.5% panas oksidasi berasal dari lemak dan sisanya adalah dari karbohidrat.

Nilai RQ antara ayam kampung dan ayam silang pada tahapan pemberian makan menunjukkan perbedaan yang tidak nyata (0.942 vs 0.939). Nilai RQ demikian mengindikasikan bahwa pada tahapan

pemberian makan, panas yang dihasilkan adalah lebih banyak dari oksidasi karbohidrat yaitu sebesar 80.7%.

Produksi Panas

Panas yang dihasilkan ternak adalah hasil dari oksidasi berbagai komponen gizi termasuk panas yang dihasilkan sewaktu ternak sedang beristirahat yang diukur sebagai metabolisme basal, panas inkremen (“*specific dynamic action*”) dan panas yang timbul karena aktivitas urat daging (McDonald *et al.*, 1977). Metabolisme basal mempunyai pengaruh penting terhadap pertumbuhan ternak. Makin tinggi metabolisme basal, makin rendah pula pertumbuhannya.

Produksi panas puasa (*fasting heat production*, FHP) dan produksi panas total (*total heat production*, THP) ayam kampung lebih tinggi dari ayam silang. Produksi panas ayam kampung 48.6 % nyata lebih tinggi dibanding ayam silang (93.119 vs 62.670 Kal/kg BB^{0.75}/hari) mengindikasikan aktivitas yang lebih besar pada ayam kampung. Aktivitas fisik akan meningkatkan kebutuhan energy tersedia ($\sim P$), memobilisasi ternak untuk meningkatkan penggunaan sumber energi dan konsumsi O₂. Mac Leod *et al.* (1989) melaporkan bahwa produksi panas puasa ayam yang diberi pakan dengan imbalanced kalori / protein berbeda, berkisar 130.97 – 151.53 Kal/kg BB^{0.75}/hari.

Hubungan antara produksi panas (Y, Kal/hari) dan bobot badan (BB, kg) dari ayam kampung (AK) dan ayam silang (AS) adalah :

$$Y_{AK} = 94.279 BB^{0.701} \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_{AS} = 62.473 BB^{0.753} \dots\dots\dots (2)$$

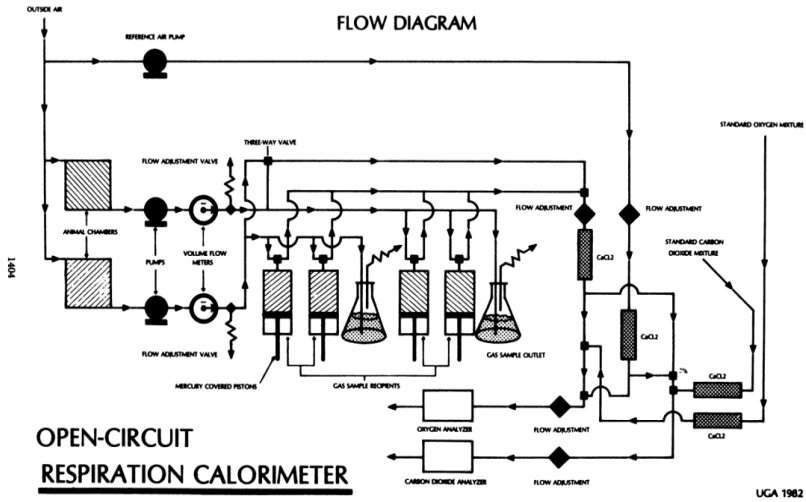
Dari persamaan 1 dan 2 di atas diperkirakan bahwa untuk ayam kampung betina dengan bobot badan (umur 18 minggu) sebesar 1429.9

gram, kebutuhan energi neto basal (EN_m) sebesar 121.1 Kal/ekor/hari sedangkan untuk ayam silang betina dengan bobot badan 2286.6 gram, $EN_m = 116.5$ Kal/ekor/hari.

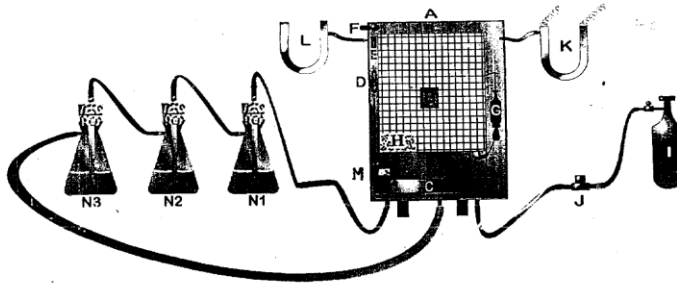
Produksi panas total ayam kampung 6.4 % lebih tinggi dari ayam persilangan (131.909 VS 124.020 kkal/kg $BB^{0.75}$ /hari) namun belum menimbulkan perbedaan yang menonjol. Tambahan panas karena konsumsi pakan ("*heat increament*") adalah 41.7 % (38.79 kkal/kg $BB^{0.75}$) untuk ayam kampung dan 97.9 % (61.35 kkal/kg $BB^{0.75}$) untuk ayam silang. Menurut Linder (1992) bahwa produksi panas setelah mengkonsumsi makanan ("*specific dynamic effect*" atau "*heat increament*") akan meningkat yang ditandai dengan peningkatan konsumsi O_2 dan produksi CO_2 . Umumnya dipertimbangkan bahwa ini adalah energi yang dimobilisasi untuk dicerna, diserap, didistribusi, disimpan dari zat-zat makanan yang dikonsumsi. Jumlah energi yang dibutuhkan ini ada hubungan dengan tipe dan kuantitas karbohidrat, lemak dan protein.

Laju metabolisme basal bangsa ayam yang berbeda, tergantung pada ukuran tubuh (Freeman, 1971). Antara dua galur Leghorn (Warren SSL dan Babcock B300) terdapat sedikit perbedaan produksi panas metabolis (Lundy *et al.*, 1978). Pada broiler dan petelur yang dibiarkan melakukan aktivitas dan makan ternyata broiler memiliki produksi panas metabolis yang lebih tinggi dibandingkan dengan ayam petelur (Denbow dan Kuenzel, 1981). Kualitas bulu juga ikut menentukan laju metabolisme basal. Pada ayam yang bulunya jarang memiliki laju metabolisme basal lebih besar dibanding ayam yang bulunya tebal (O'Neil dan Jackson, 1974). Ayam White leghorn dan silangan Australorp yang berbulu jarang, laju metabolisme basal 16%

lebih besar dibandingkan dengan yang bulunya normal bila dipelihara pada suhu lingkungan 18⁰C dan 19% lebih besar bila dipelihara pada suhu lingkungan 20⁰C (Johnson *et al.*, 1978).



(a)



Gambar 1. Diagram chamber respirasi sirkulasi tertutup

Uraian Gambar:

A = Chamber	I = Tabung oksigen
B = Singkar kawat	J = Solenoid
C = Alas chamber	K = Manometer dan Elektroda
D = Kipas angin	L = Manometer tekanan
E = Termohugrometer	M = Pompa pengisap
F = Lampu pijar	N ₁ = Absorben H ₂ O
G = Tempat ransum	N ₂ = Absorben CO ₂
H = Tempat air minum	N ₃ = Absorben H ₂ O

(b)

Gambar 41 (a) & (b) Alat Kalorimeter pada Unggas

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, IK. 2003. *Nutrisi Ayam Petelur*. Lembaga satu Gunung Budi. Bogor.
- Aini, Q. 2003. *Kuosien Respirasi pada Itik (Anas platyrhynchos), Entok (Cairina moschata) dan Mandalung*. Skripsi. Fakultas Peternakan IPB. Bogor.
- Astuti, D.A., D. Sastradipradja, H. Permadi and P. Paridjo. 1995. *Splanchnic bed metabolism in Etawah crossbreed goats*. Kongres IAIFI ke X, Semarang, Indonesia, Oktober 1995.
- Astuti, D.A., D. Sastradipradja and A. Pamudjo. 1997. *Hubungan antara parameter nadi jantung dengan produksi panas tubuh pada kambing tumbuh*. Seminar Nasional Makanan Ternak. IPB Bogor, Indonesia, Juli 1997.

- Astuti, D.A., D. Sastradipradja, T. Sutardi and B. Haryanto. 1997. Energy and protein requirements of growing female Etawah crossbreed goats determined from metabolik parameters. The XIVth Symposium on Energy Metabolism of farm Animals, Belfast, UK, September 1997.
- Astuti D.A. and D. Sastradipradja. 1998. Measurement of body composition using slaughter technique and urea-space in local sheep. Indonesian Journal of Veterinary Sci. 3 : 1-6.
- Astuti D.A. and D. Sastradipradja. 1999. Energy metabolism in relation to grazing activity in growing priangan sheep as affected by rations. Indonesian Journal of Trop. Agric. 3:1-9.
- Astuti, D.A., D. Sastradipradja and T. Sutardi. 2000. Nutrient balance and glucose metabolism of female growing, late pregnant and lactating Etawah crossbreed goats. Asian- Australasian Journal of Animal Science. 13 (8):1068–1075.
- Astuti, D.A, E.B Laconi, S.P. Budhi, M. Soeyono, B.P. Widyobroto. 2002. Energy balance and glucose kinetics in Etawah crossbreed goats fed with tempe waste. IIIrd International Seminars on Tropical Animal Production. Yogyakarta, Indonesia, October 2002.
- Astuti, D.A., D.R. Ekastuti, Marwah, Suryani. 2008. Blood profil and hematological status of local sheep under the rain forest area Walat - Sukabumi. J. Ilmu Ternak UNSYAH 1: 1-9.
- Astuti D.A, E. Wina , B. Haryanto dan S. Suharti . 2009. Performa dan profil beberapa komponen darah sapi peranakan ongole yang diberi pakan yang mengandung lerak (*Sapindus rarak* De Candole). Jurnal Media Peternakan. 32(1): April 2009.
- Astuti D.A. and A. Sudarman 2012. Dairy goats in Indonesia: Potential, Opportunities and Challenges. The First Asia Dairy Goat Conference, Kuala Lumpur April 2012.
- Astuti D.A., D. Sastradipradja dan M. Angsar. 2013. Korelasi produksi panas tubuh dengan nadi jantung kambing peranakan etawah pada berbagai status faal. Seminar Nasional IAIFI ke 2 Januari 2013 Bogor.
- Bishop, 1990. Goat Milk Does Not Suppress The Immune System. J. of Pediatrics 116: 862-867.

- Ballo, V.J. 1997. Studi Metabolisme Energi dan Protein pada Ayam Kampung dan Hasil Persilangannya dengan Ayam Ras Pedaging pada Periode Pertumbuhan. Tesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Brody, S., 1974. Bioenergetics and Growth. Hafner Press, Collier Macmillan Publisher, New York.
- Cant, J.P., E.J. DePeters and Baldwin, 1993. Mammary amino acid utilization in dairy cows fed fat and its relationship to milk protein depression. *J. Dairy Sci.*, 76:762-774.
- Chaiyabutr, N.S. Komolvanich, S. Preuksagorn and S. Chanpongsang, 2000. Comparative studies on the utilization of glucose in the mammary gland of crossbred holstein cattle feeding on different types of roughage during different stages of lactation. *AJAS* 13 :3: 334 – 347.
- Denbow, D.M., and W.J. Kuenzel, 1981. Gaseous metabolism of Leghorn and broiler during early growth: existence energy rate. *Poultry Sci.* 60: 1340.
- Devendra, C. 2010. Small Farms in Asia : Revitalising Agricultural Production, Food Security and Rural Prosperity. Academy of Sciences Malaysia. Kuala Lumpur Malaysia.
- Edey, T.N. 1983. Tropical sheep and goat production. Australasian Univ. International Development Programme. Canberra Australia.
- Edey, T.N. 1983. Tropical sheep and goat production. Australasian Univ. International Development Programme. Canberra Australia.
- Freeman, B.M. 1971. Non-shivering thermogenesis in birds. In: Non shivering Thermogenesis. Jansky, L., Es. Swets & Zeilinger N.V., Amsterdam
- John C.B., F.S.T. and Davis C.A, 1999. Dairy goat milk composition. Goatworld. Com. <http://www.google.com/search?hl=er>
- Jhonson, R.J., R.B Cumming, and D.J. Farrell. 1978. The influence of poly peeper and feather cover on starving heat production in the laying hen. *Aust. J. Agric. Res.*, 29:1087

- Jordan, E.R. 2003. Effect of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86 (E. suppl.): E104-E114.
- Kartz, M.L. and E.N. Bergman. 1969. Simultaneous measurement of hepatic and portal venous blood flow in the sheep and dog. *Am.J. Physiol* 216:946-952.
- Kleiber, M. 1975. *The Fire of Life. An introduction to animal energetics.* Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, NY.
- Lehninger, A.L. 1982. *Principles of Biochemistry.* Woth Publisher, Inc. NY.
- Leeson and Summers. 2001. *Nutrition of the Chicken.* 4th Ed. University Books. Canada.
- Lundy, H., M.G. Macleod and T.R. Jewitt. 1978. An automated multi calorimeter system : Preliminary experiments on laying hens. *British Poul. Sci* 19:173.
- Mahardika, I.G. , D. Sastradipradja and I.K. Sumadi. 1997. Daily energy expenditure and protein requirement of working female swamp buffaloes estimated from energy balance and body composition. The XIVth Symposium on Energy metabolism of Farm Animals, Belfast, UK, September 1997.
- Manik I.G. and D. Sastradipradja. 1989. Effect of heat-moisture treated cassava in urea containing feed supplement on carbohydrate, protein and energy metabolism of goats. *Proc. Energy Metabolism of Farm Animals.* Wageningen Netherlands, pp 73-76.
- McDonald, L.A., R.A. Edwards and J.F.D. Greenhalgh.. 1977. *Animal Nutrition.* 2nd Ed. The English Language Book Society and Longman, London.
- McDonald, L.A., R.A. Edwards and J.F.D. Greenhalgh. 1988. *Animal Nutrition.* 4th Ed. The English Language Book Society and Longman, London.
- McDonald, L.A., R.A. Edwards and J.F.D. Greenhalgh. 2002. *Animal Nutrition.* 6th Ed. The English Language Book Society and Longman, London.
- Macleod, M.G., T.J. Jewitt and J.E.M. Anderson. 1989. Responses of energy expenditure and retention to wide-ranging dietary concentrations and voluntary intakes of energy and protein in

- growing domestic fowl. In : Energy Metabolism of Farm Animals. Proc. Of the 11 th Symposium, Lunteren, Netherlands. EAAP Publ. No. 43 1989. Wageningen.
- McLean J.A. and G. Tobin . 1987. Animal and Human Calorimetry. Cambridge University Press, Cambridge.
- Moss, A. R., Jouany, J.P. and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants : its contribution to global warming. Ann. Zootech. 49: 231-253.
- Nover L. and K.D. Scharf. 1997. Heat stress proteins and transcription factors. Cell Mol. Life Sci 53:80-103.
- O'Neill, S.J.B., and N. Jackson. 1974. Observation on the effect of environmental temperature and environment of moult on the heat production and energy requirement of hens and cockerels of White Leghorn strain. J. Agricultural Science. 82: 553.
- Panaretto, B.A. and A.R. Till. 1963. Body composition in vivo. The composition of mature goats and its relationship to the antipyrene, tritiated water and acetyl-4-aminoantipyrene spaces. Austr. J. Agric. Res. 14: 926 – 943.
- Pesti, G.M., R.I. bakalli, J.P. Driver., A.Atencio, and E.H. Foster. 2005. Poultry Nutrition and Feeding. Trafford Publishing. Canada.
- Riis, P.M. 1983. Dynamic Biochemistry of Animal Production. Elsevier , NY.
- Santoso, B., B. Mwenya, C. Sar, J. Takahashi. 2007. Methane production and energy partition in sheep fed timothy silage or hay based diets. JITV 12 (1): 27-33.
- Shapiro, B.A., R.A. Harrison and J.R. Walton. 1982. Clinical Application of Blood Gas. 3 rd ed. Book Medical Publishers, Inc. London.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1993. Principles and Procedures of Statistics. Mc. Graw Hill Book Co. Inc. N.Y.
- Spratt, R.S., H.S. Bayley, B.W. McBride, and S. Leeson. 1990. Energy metabolism of broiler breeder hens. 1. The partition of dietary energy intake. Poult. Sci. 69:1339-1.
- Sibbald, I. R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. Poult. Sci. 55:303–308.

- Sastradipradja, D., N.G.F. Katipana and D.A. Astuti. 1994. Maternal glucose metabolism of late pregnant sheep and goats adapted to restricted, medium or high level diets. VII th AAAP Congress, Bali, Indonesia, October 1994.
- Sastradipradja, D., D.A. Astuti, H. Permadi and P.Paridjo. 1995. The role of CERT in quantitative metabolism studies. Konggres IAIFI ke X Semarang, Indonesia, Oktober 1995.
- Sastradipradja, D., D.A. Astuti, H. Permadi and P. Paridjo. 1996. Portal blood flow in female growing and lactating goats on different food intakes. VI th ACNMB, Kyoto, Japan, October 1996.
- Sumantri, C., A., Einstiana, J.F. Salamena, I. Inounu. 2007. Keragaan dan hubungan phylogenic antar domba local di Indonesia melalui pendekatan analisis morfologi. JITV 12 (1) : 42- 54.
- Sukarini, I.a.M., D. Sastradipradja, N. Nusada, I.G. Mahardika and B. Kiranadi. 2001. Mammary performance of first lactating bali cows fed grass-legume based diets in relation to the role of glucose. AJAS 14:615-623
- Waghorn G.C. and Baldwin, R.L. 1984. Model of metabolic flux within mammary gland of the lactating cows. J. Dairy Sci. 67 : 531-544

GLOSARY

APL	= Animal Production Level
BB ^{0.75}	= Bobot badan metabolik
C _t	= Karbohidrat yang dideposisi dalam telur
EC	= Energi yang tercerna
EM	= Energi yang termetabolis
EN mp	= Net energi untuk hidup pokok dan pertumbuhan
ENm	= Net energi untuk hidup pokok
ENp	= Net energi untuk pertumbuhan
EM _m	= Kebutuhan energi untuk hidup pokok (<i>maintenance</i>)
EM _t	= Kebutuhan energi untuk produksi telur
EM _{m+t}	= Kebutuhan energi untuk hidup pokok dan produksi telur
E _t	= Energi yang dideposisi dalam telur

EP _t	= Energi protein yang dideposisi dalam telur
EF _t	= Energi lemak yang dideposisi dalam telur
EC _t	= Energi karbohidrat yang dideposisi dalam telur
F _t	= Lemak yang dideposisi dalam telur
GE atau EB	= Gross energi atau energi bruto
KE _t	= Efisiensi penggunaan EM untuk E _t
KEP _t	= Efisiensi penggunaan EM untuk EP
KEF _t	= Efisiensi penggunaan EM untuk EF _t
KEC _t	= Efisiensi penggunaan EM untuk EC _t
Kf	= Koefisien untuk penggemukan
Km	= Koefisien untuk hidup pokok
Kl	= Koefisien untuk laktasi
PP	= Produksi panas tubuh
P _t	= Protein yang dideposisi dalam telur
qm	= Koefisien metabolisme
RE atau NE	= Retensi energi atau net energi
RQ	= Respiration quotient atau koefisien respirasi
SFU	= Scandinavian Feeds Unit

INDEX

- A**
- Ad libitum* : (59), (72), (84), (85), (113)
 Adaptasi : (2), (3), (50), (51), (52), (53)
 Adiabatik : (13), (14), (123)
 Ambing : (25), (68), (79), (80), (81)
 Anabolik : (106)
 Anabolisme : (48), (84)
 Anaerob : (24)
 Anestesi : (69)
Animal Production Level: (42)
Apparent Digestibility : (44)
 Arteri : (69), (70), (71), (72), (73), (76), (79), (80), (81)
Arteri Carotis Communis : (70)
 ATP : (6), (11), (24), (25), (26), (27), (28), (30), (48), (49)
- B**
- Basal : (68), (78), (108), (110), (118), (119), (120), (121), (145)
 Balistik : (13), (14)
 Bilik : (6), (16), (17), (18), (19), (45), (93)
 Bioenergetika Kuantitatif : (4)
 Biokimia : (1)
Blood Flow Meter : (78), (79)
Blood Gas Analyzer: (73)
Bomb Kalorimeter : (12), (13), (14), (15), (32), (123)
Browser : (86)
- C**
- CERT : (5), (9), (59), (60), (61), (63)
Chamber: (12), (93), (130), (134), (141), (142)
Cocktail : (60)
Corning Bloodgas Analyzer: (74)

Comfort Zone : (99)

D

Defaunasi : (47)

Detoksifikasi : (24)

Digestibility of Energy : (44)

Direct Calorimetry : (1), (7), (94)

E

Ekskreta : (12), (116), (117), (118),
(119), (120), (121), (122),
(123), (124), (130)

Ekspresi Gen : (51)

Ekuivalen: (91),(94), (95), (99)

Embrio: (52)

Energi Bruto: (2), (13), (15), (44),
(94), (107), (110),
(119), (120), (124),
(128), (129)

Entalphi: (32)

Ereksi : (99)

Estrus : (52)

Etik Hewan: (57)

Evaporasi: (7), (8), (16), (48), (53),
(96), (97), (99), (101), (102)

F

Fenotipik Plasticity : (51)

Fermentasi : (15), (45), (46), (47), (49),
(50), (61), (68),(76)

Fertilitas: (52)

Feses: (2), (11), (12), (15), (39), (44),
(45), (46), (47), (55), (56), (57),
(67), (78), (108), (121)

Fetus: (44), (52), (86)

Fiksasi : (61)

Flow Meter: (8)

Fluks : (61), (62)

Fluktuasi : (95)

Force Feeding: (122)

Fotosintesis: (107)

Freezed Drying : (81)

G

Galvanometer : (14)

Gas Test: (45), (76)

Glikogen: (24), (26), (29), (43), (94)

Glikogenolisis: (24), (25)

Glikolisis: (24), (25)

Gradient : (1), (49)

Grazer: (86)

Grazing Sheep : (9)

Gross Energy: (15), (107)

H

Hay : (46), (78), (79)

Heat Exchanger: (17)

Heat Increament : (12), (48), (68),
(107), (127), (128), (145)

Heat Production : (12)

Heat Sink Principles : (9)

Heat Stress: (51), (52)

Hidup Pokok : (11), (40), (41), (44),
(48), (49), (68), (79),
(89), (107), (108),
(109), (110), (111),
(112), (113), (115),
(125), (126), (127),
(133), (140)

Homeothermik: (7), (95)

Hood Chamber: (12)

Humidity Index: (52)

Ilmu Genetika : (10)

I

In Vitro : (1), (76)

In Vivo : (1), (61), (76)
Indirect Calorimetry : (1), (6)
Induk : (85), (98)
Infusi : (8), (9), (60), (61), (62), (68), (69)
Insulasi : (18)
Intake : (112), (116), (122), (126)
Isolator : (16), (17)
Isothermal: (1), (16), (17)

J

Jaringan Adipose: (29)
Jaringan Perifer : (28)
Joule : (11), (72), (91)

K

Kalori : (11), (16), (20), (30), (31), (56), (58), (72), (76), (81), (82), (91), (93), (114)
Kandang Metabolik : (45), (55)
Katabolik: (106)
Katabolisme : (60)
Kinetika: (61)
Koleksi Total : (55), (117)
Konduksi: (7), (16), (48), (52), (96), (102)
Konsentrasi: (8), (9), (10), (12), (25), (46), (47), (49), (60), (62), (69), (73), (75), (76), (77), (79), (117), (119)
Konsentrat: (47), (49), (55), (66), (67), (72), (84), (87), (122)
Konveksi : (7), (8), (16), (18), (48), (52), (96), (97), (102)
Kristalisasi : (59)

L

Laktasi: (24), (41), (42), (43), (44), (64), (72), (80), (82), (84), (85), (86), (88), (89), (90)
Liquid Scintillation Counter: (60)
Liquid-Cooled Heat Exchanger: (17)
Lower Critical Temperature: (100), (132)

M

Maintenance: (108), (112), (113), (133)
Makro : (29), (30), (34)
Martabat Pati : (41), (42), (43)
Mass Spektrofotometer: (9), (10)
Mesenterika Dextra : (70)
Metabolic Body Weight: (103)
Metabolisme Basal: (44), (48), (108), (110), (127), (132), (144), (145), (146)
Metan : (2), (11), (12), (15), (45), (46), (47), (51), (55), (56), (67), (76), (77), (78)
Methane Analyzer: (12)
Metode Empiris : (111)
Metode Faktorial : (111), (112), (113)
Metode Rusitec: (45)
Mikro : (29), (88)
Monogastrik: (35)

N

Neraca energi : (2), (6), (11), (30), (31), (54), (55), (56), (59), (63), (67), (78), (84), (85), (87), (113), (127), (128), (129), (130), (131), (133), (134)
Nisbah: (61)
Non Invasive : (64)

Non Ruminansia : (2), (108)
Nutrigenom : (10)

O

Oksidasi: (20), (21), (25), (27), (28),
(30), (31), (32), (33), (34),
(36), (37), (38), (91), (92),
(93), (94), (95), (107), (118),
(136), (138), (140), (143),
(144)

Oksigenometer : (8)

Open Circuit Calorimetry : (7)

Organela : (24)

Organik : (33)

P

Pakan Tropika : (5)

Panas Jeroan : (56), (72)

Partisi Energi : (2), (4), (5), (130)

Pembakaran Murni : (33)

Performa : (83), (86), (97), (112), (133)

Peruntan: (12), (68)

Plasma : (61), (70), (75)

Polar Sport Tester : (64)

Portable Respirometer : (7)

R

Radiasi : (7), (11), (18), (48), (53),
(95), (102)

Reaksi Gravimetri : (7)

Respiration Quotion: (20), (36)

Respirasi : (45), (134), (137), (138),
(141), (142), (143)

Respiration Chamber: (16), (45), (49),
(76), (78)

Respiratori : (99)

Retensi energi : (12), (35), (38), (39),
(40), (44), (49), (56), (57),
(58), (63), (67), (78), (82),
(86), (87), (126), (131)

Review : (57)

Ruminansia: (2), (3), (4), (5), (11),
(26), (35), (40), (41),
(43), (45), (46), (47),
(50), (54), (57), (83)

S

Scandinavian Feeds Units : (42)

Siklus Krebs : (25), (26), (27)

Silase : (46), (78), (79)

Sintesis: (93)

Sistem Terbuka : (6), (7)

Sistem Tertutup : (6), (8)

Specific Dynamic Action : (109), (125),
(144)

Statis : (7)

Status Faal : (5), (9), (63), (64)

Surface Law: (102), (103)

T

Teknik Isotop : (4), (9), (12), (56)

Temperature : (52)

Ternak Tropika : (3), (4), (5)

Thermoneutral: (98), (99), (110)

Temperate : (51), (52), (78)

Total Digestible Nutrient : (42)

Transport Electron: (27)

True Metabolizable Energy: (116),
(121), (122)

U

Urea Space : (58), (82)

V

Vacuum : (95)

Vena Porta : (69), (71), (72), (73)

Ventilasi: (17), (18), (87)
VFA : (45), (72), (73), (77)

Z

Zona : (52), (99), (100), (101), (110),
(132)

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Dewi Apri Astuti, MS., lahir di Bogor pada tanggal 5 Oktober 1961. Lulus sebagai Sarjana Peternakan dari Fakultas Peternakan UGM pada tahun 1984. Pada tahun 1988 penulis menyelesaikan pendidikan magister (S2) dalam bidang Ilmu Nutrisi Ternak dari Fakultas Pascasarjana IPB dan melanjutkan program S3 pada tahun 1991 hingga memperoleh gelar Doktor pada tahun 1995 dari perguruan tinggi yang sama. Penulis bekerja sebagai dosen di Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan IPB dengan mata kuliah yang diajarkan antara lain Fisiologi Nutrisi dan Pengantar Ilmu Nutrisi (untuk S1), Bioenergetika Ternak dan Nutrisi Vitamin dan Mineral (untuk S2) dan Regulasi Nutrisi (untuk jenjang S3). Penulis pernah mendalami ilmu Bioenergetika pada kambing perah di National Institute of Animal Industry, Tsukuba Jepang pada tahun 1998, dan training Bioenergetika pada hewan air di Universitas Hohenheim, Stuttgart German pada tahun 2004. Saat ini penulis diberi amanah sebagai *Country Representative for Indonesia* oleh Asian- Australasian Dairy Goat Network (AADGN).



Dr. Ir. Sumiati, M.Sc. Lahir di Sumedang pada tanggal 17 Oktober 1961. Lulus sebagai Sarjana Peternakan dari Fakultas Peternakan IPB pada tahun 1984. Lulus S2 (M.Sc) dari Uppsala University pada tahun 1990 dan lulus S3 (Dr) dari IPB pada tahun 2005. Bekerja sebagai dosen di Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan sejak tahun 1986 sampai sekarang. Penulis mengajar di berbagai jenjang dari mulai program Diploma, S1, S2 dan S3. Mata

kuliah yang diajarkan diantaranya: pada jenjang S1 (Nutrisi Unggas, Pengantar Ilmu Nutrisi, Integrasi Proses Nutrisi), jenjang S2 (Bioenergetika, Nutrisi Vitamin dan Mineral, Biosintesis Produk Ternak), dan jenjang S3 (Nutrisi Kuantitatif). Saat ini penulis menjabat sebagai Sekretaris Program Studi Ilmu Nutrisi dan Pakan (PS INP) Sekolah Pascasarjana IPB. Sejak tahun 2009 sampai sekarang, dipercaya oleh Ditjen Peternakan dan Kesehatan Hewan KEMENTAN sebagai Tim Juri Lomba Kelompok Ternak Nasional.