

DIKTAT FISIOLOGI PERTUMBUHAN

Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

**FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
2022**



DIKTAT FISILOGI PERTUMBUHAN

Mata Kuliah : Fisiologi Pertumbuhan
Sks : 3 sks
Semester : 1
Program Studi : S2 Magister Peternakan
Fakultas : Peternakan dan Pertanian

Disusun oleh:
Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG 2022

DIKTAT FISILOGI LINGKUNGAN PETERNAKAN

Mata Kuliah	: Fisiologi Pertumbuhan
Sks	: 3 sks
Semester	: 1
Program Studi	: S2 Magister Peternakan
Fakultas	: Peternakan dan Pertanian

Disusun oleh:

Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Uk. 15,5cm x 23cm (xvi + 86 hlm)

ISBN : 978-979-097-818-8



diterbitkan oleh :
**UNDIP PRESS
SEMARANG**

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun termasuk fotokopi tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Pertumbuhan merupakan peningkatan bobot dan ukuran tubuh akibat peningkatan jumlah sel (hiperplasia) atau peningkatan ukuran sel (hipertrofi). Pertumbuhan berbeda dari perkembangan, karena pertumbuhan adalah peningkatan ukuran fisik, sedangkan perkembangan adalah proses di mana sel tunggal diubah menjadi organisme dewasa. Secara umum, pertumbuhan ditandai dengan adanya hiperplasia, hipertrofi, diferensiasi, dan pertumbuhan adalah ciri yang ireversibel. Mata kuliah Fisiologi Pertumbuhan merupakan salah satu mata kuliah wajib pada program studi Magister Peternakan, Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro yang mempelajari proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan dan organ pada hewan ternak, mulai dari fertilisasi, prenatal, postnatal, pubertas dan dewasa. Pemahaman dan pengetahuan mendalam mengenai konsep pertumbuhan dan model matematika (kurva pertumbuhan) akan sangat bermanfaat dalam mengevaluasi kinerja pertumbuhan ternak. Pengetahuan yang mendalam mengenai mata kuliah ini juga akan sangat membantu mahasiswa dalam mempersiapkan dan merancang rencana penelitian yang melibatkan ternak secara langsung. Diktat ini memuat enam bab atau pokok bahasan yang diajarkan di awal perkuliahan (sebelum ujian tengah semester). Bab-bab tersebut meliputi tinjauan umum mengenai fisiologi pertumbuhan ternak, sel sebagai unit pertumbuhan, kaidah pertumbuhan dan perkembangan, kurva pertumbuhan, aspek kuantitatif pertumbuhan, aplikasi model matematika pertumbuhan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro dan semua kolega di Laboratorium Fisiologi dan Biokimia Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas

Diponegoro. Akhirnya penulis berharap diktat ini dapat memberikan manfaat terutama kepada mahasiswa Program Studi Magister Peternakan.

Semarang, Maret 2022

Hormat kami,

Penulis

Email: sugiharto@lecturer.undip.ac.id

DAFTAR ISI

ANALISIS INSTRUKSIONAL	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ILUSTRASI	xv
TINJAUAN MATA KULIAH.....	1
I. Deskripsi singkat.....	1
II. Relevansi.....	1
III. Kompetensi	2
3.1. Standar kompetensi	2
3.2. Kompetensi dasar	2
IV. Petunjuk belajar	3
BAB I TINJAUAN UMUM MENGENAI	
FISIOLOGI PERTUMBUHAN TERNAK.....	5
1.1. PENDAHULUAN	5
A. Deskripsi singkat	5
B. Relevansi	5
C. Kompetensi.....	6
C.1. Standar kompetensi	6
C.2. Kompetensi dasar	6
D. Petunjuk belajar	6
1.2. PENYAJIAN	6
A. Definisi pertumbuhan	6
B. Fenomena pertumbuhan	7
C. Karakteristik pertumbuhan	9
D. Diferensiasi.....	11
E. Pertumbuhan dan perkembangan	12
1.3. PENUTUP.....	13

A. Rangkuman.....	13
B. Tes formatif	13
C. Umpan balik	13
D. Tindak lanjut	14
E. Kunci jawaban tes formatif	14
Daftar pustaka	15

BAB II SEL SEBAGAI UNIT PERTUMBUHAN.....17

2.1. PENDAHULUAN	17
A. Deskripsi singkat	17
B. Relevansi	18
C. Kompetensi.....	18
C.1. Standar kompetensi	18
C.2. Kompetensi dasar	18
D. Petunjuk belajar	18
2.2. PENYAJIAN	18
A. Biodinamika sel	18
B. Sitogenetik sel	21
C. Regulasi pertumbuhan.....	21
D. Tingkat pertumbuhan	22
E. Mengukur pertumbuhan	23
F. Pertumbuhan diferensial.....	24
G. Komposisi tubuh	25
H. Pertumbuhan negatif	26
I. Pengaruh nutrisi pada pertumbuhan	26
2.3. PENUTUP.....	27
A. Rangkuman.....	27
B. Tes formatif	28
C. Umpan balik	28
D. Tindak lanjut	28
E. Kunci jawaban tes formatif	29
Daftar Pustaka	30

BAB III	KAJIDAH PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN	33
3.1. PENDAHULUAN	.....	33
A.	Deskripsi singkat	33
B.	Relevansi	33
C.	Kompetensi.....	33
C.1.	Standar kompetensi	33
C.2.	Kompetensi dasar	34
D.	Petunjuk belajar	34
3.2. PENYAJIAN	.....	34
A.	Kaidah pertumbuhan	34
B.	Kaidah perkembangan	37
C.	Kualitas daging.....	42
3.3. PENUTUP	.....	43
A.	Rangkuman.....	43
B.	Tes formatif	44
C.	Umpan balik	44
D.	Tindak lanjut	44
E.	Kunci jawaban tes formatif	45
Daftar Pustaka	.....	46
BAB IV	KURVA PERTUMBUHAN	47
1.1. PENDAHULUAN	.....	47
A.	Deskripsi singkat	47
B.	Relevansi	47
C.	Kompetensi.....	47
C.1.	Standar kompetensi	47
C.2.	Kompetensi dasar	48
D.	Petunjuk belajar	48
1.2. PENYAJIAN	.....	48
A.	Definisi kurva pertumbuhan	48
B.	Bentuk kurva pertumbuhan	49

C. Penggunaan kurva pertumbuhan	53
1.3. PENUTUP	54
A. Rangkuman	54
B. Tes formatif	54
C. Umpan balik	55
D. Tindak lanjut	55
E. Kunci jawaban tes formatif	55
Daftar Pustaka	56
BAB V ASPEK KUANTITATIF PERTUMBUHAN	59
5.1. PENDAHULUAN	59
A. Deskripsi singkat	59
B. Relevansi	59
C. Kompetensi	59
C.1. Standar kompetensi	59
C.2. Kompetensi dasar	60
D. Petunjuk belajar	60
5.2. PENYAJIAN	60
A. Mengukur pertumbuhan	60
B. Fase self-accelerating dan self-decelerating	66
5.3. PENUTUP	67
A. Rangkuman	67
B. Tes formatif	67
C. Umpan balik	68
D. Tindak lanjut	68
E. Kunci jawaban tes formatif	69
Daftar Pustaka	69
BAB VI APLIKASI MODEL MATEMATIKA	
Pertumbuhan	71
6.1. PENDAHULUAN	71
A. Deskripsi singkat	71

B. Relevansi	71
C. Kompetensi.....	72
C.1. Standar kompetensi	72
C.2. Kompetensi dasar	72
D. Petunjuk belajar	72
6.2. PENYAJIAN	72
A. Model regresi pertumbuhan.....	72
B. Kurva pertumbuhan Logistik dan Gompertz.....	74
6.3. PENUTUP.....	80
A. Rangkuman.....	80
B. Tes formatif	81
C. Umpan balik	81
D. Tindak lanjut	82
E. Kunci jawaban tes formatif	82
Daftar Pustaka	82
 BIOGRAFI PENULIS	 85

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Pertumbuhan sapi Frisian Holstein (diadaptasi dari Brody, 1974)	51
---	----

DAFTAR ILUSTRASI

Ilustrasi 1	Kurva pertumbuhan diferensial.....	25
Ilustrasi 2	Urutan pertumbuhan relatif pada jaringan yang berbeda	38
Ilustrasi 3	Prioritas dan persaingan menuju pasokan nutrisi	38
Ilustrasi 4	Kurva pertumbuhan absolut	52
Ilustrasi 5	Kurva tingkat pertumbuhan.....	52
Ilustrasi 6	Persentase kurva kenaikan berat badan	53
Ilustrasi 7	Model gompertz pada pertumbuhan ternak.....	75

TINJAUAN MATA KULIAH

I. Deskripsi singkat

Mata kuliah Fisiologi Pertumbuhan mempelajari proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan dan organ pada hewan ternak, mulai dari fertilisasi, prenatal, postnatal, pubertas dan dewasa. Secara detail, mata kuliah ini mencakup unit pertumbuhan sel, jaringan dan organ, kurva pertumbuhan pertumbuhan individu, umur fisiologis, hukum pertumbuhan dan perkembangan, pendekatan matematis dan statistik, pertumbuhan absolut, rata-rata, kompensasi dan sesaat, analisis regresi dalam pertumbuhan, jenis, peran dan sistem regulasi hormonal. Mekanisme dan aplikasi hormon dalam pertumbuhan, produksi telur dan pertumbuhan embrio, pertumbuhan daging, pertumbuhan prenatal sampai dengan pubertas, pertumbuhan pubertas sampai dengan dewasa, peran hormon dalam pertumbuhan kelenjar mammae, metabolisme (biosintesis) karbohidrat, protein, lemak dan mineral, *turn over*, fase pertumbuhan dan perkembangan pada ternak pedaging dan faktor pertumbuhan pada ternak pedaging juga dibahas pada mata kuliah ini. Untuk mendapatkan pemahaman yang utuh dan terintegrasi mengenai materi dalam mata kuliah ini, mahasiswa sangat disarankan untuk mempelajari semua pokok bahasan dalam mata kuliah Fisiologi Pertumbuhan. Secara khusus, diktat ini membahas tinjauan umum mengenai fisiologi pertumbuhan ternak, sel sebagai unit pertumbuhan, kaidah pertumbuhan dan perkembangan, kurva pertumbuhan, aspek kuantitatif pertumbuhan, aplikasi model matematika pertumbuhan.

II. Relevansi

Agar dapat melakukan evaluasi dan prediksi terhadap performa pertumbuhan, peternak dan peneliti di bidang

peternakan harus dapat memahami konsep dan kaidah pertumbuhan ternak sejak dari fertilisasi, prenatal, postnatal, pubertas dan dewasa. Peneliti di bidang peternakan juga memerlukan “tools” untuk melakukan evaluasi terhadap performa pertumbuhan ternak. Pemahaman dan pengetahuan mendalam mengenai konsep pertumbuhan dan model matematika (kurva pertumbuhan) akan sangat bermanfaat dalam mengevaluasi kinerja pertumbuhan ternak. Pengetahuan yang mendalam mengenai mata kuliah ini juga akan sangat membantu mahasiswa dalam mempersiapkan dan merancang rencana penelitian yang melibatkan ternak secara langsung.

III. Kompetensi

3.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan mata kuliah Fisiologi Pertumbuhan mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan- permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

3.2. Kompetensi dasar

Setelah mempelajari materi pada mata kuliah Fisiologi Pertumbuhan mahasiswa akan mampu:

- 1) Mampu mensimulasikan dan menganalisis fisiologi pertumbuhan pada ternak
- 2) Mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori tentang biologi pertumbuhan pada ternak
- 3) Mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan aspek kuantitatif pertumbuhan pada hewan ternak

- 4) Mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan peran hormon dalam pertumbuhan hewan ternak
- 5) Mampu mensimulasikan, menganalisis, dan mengintegrasikan proses, mekanisme dan aspek fisiologis lain terkait dengan pertumbuhan pada ternak unggas
- 6) Mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan proses, mekanisme dan aspek fisiologis lain terkait dengan pertumbuhan kelenjar mammae
- 7) Mampu mensimulasikan, menganalisis dan merumuskan deposisi zat makanan dalam mendukung proses pertumbuhan pada hewan ternak
- 8) Mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan proses, mekanisme dan aspek fisiologis lain terkait dengan pertumbuhan pada hewan ternak pedaging

IV. Petunjuk belajar

Untuk mempermudah penguasaan materi yang ada di dalam buku ajar ini, mahasiswa disarankan untuk membaca secara detail materi yang disajikan, mencermati contoh-contoh kasus dan mengerjakan latihan soal yang telah disediakan.

BAB I

TINJAUAN UMUM MENGENAI FISILOGI PERTUMBUHAN TERNAK

1.1. PENDAHULUAN

A. Deskripsi singkat

Pertumbuhan adalah peningkatan berat dan ukuran tubuh akibat peningkatan jumlah sel (hiperplasia) atau peningkatan ukuran sel (hipertrofi). Pertumbuhan harus dibedakan dari perkembangan, karena pertumbuhan adalah peningkatan ukuran fisik, sedangkan perkembangan adalah proses di mana sel tunggal diubah menjadi organisme dewasa. Perkembangan juga mencakup perubahan fungsi pada bagian tubuh. Fenomena pertumbuhan pada hewan dapat dilihat dari sudut pandang kimiawi dan biologi. Secara kimiawi, pertumbuhan adalah peningkatan protein dan mineral yang tersimpan dalam tubuh, dan secara biologis pertumbuhan dapat terjadi karena hiperplasia dan hipertrofi. Secara umum, pertumbuhan ditandai dengan adanya hiperplasia, hipertrofi, diferensiasi, dan pertumbuhan adalah ciri yang ireversibel. Pokok bahasan ini mencakup definisi pertumbuhan, fenomena pertumbuhan, karakteristik pertumbuhan, diferensiasi, pertumbuhan dan perkembangan.

B. Relevansi

Tinjauan umum mengenai fisiologi pertumbuhan ternak memberikan ulasan tentang definisi, fenomena dan karakteristik pertumbuhan pada ternak. Pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan ini akan mempermudah mahasiswa magister dalam mensimulasikan dan menganalisis fisiologi pertumbuhan pada ternak pada kegiatan riset yang mereka lakukan.

C. Kompetensi

C.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan pokok bahasan ini mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan-permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

C.2. Kompetensi dasar

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa akan dapat mensimulasikan dan menganalisis fisiologi pertumbuhan pada ternak.

D. Petunjuk belajar

Selain membaca teori yang disajikan, mahasiswa juga disarankan untuk mengerjakan latihan soal yang ada pada buku ajar ini.

1.2. PENYAJIAN

A. Definisi pertumbuhan

Pertumbuhan adalah sifat fundamental dari semua sistem biologis dan merupakan proses yang jelas namun sulit untuk didefinisikan secara pasti. Secara sederhana, pertumbuhan dapat diartikan sebagai peningkatan berat dan ukuran tubuh karena peningkatan jumlah sel atau peningkatan ukuran sel. Istilah pertumbuhan yang diterapkan pada hewan dapat dilihat dalam bentuk yang paling sederhana sebagai peningkatan berat badan atau tinggi badan hewan muda selama selang waktu tertentu dalam perjalanan menjadi dewasa. Pertumbuhan mencakup semua proses penggandaan dan diferensiasi sel yang dimulai dengan embrio yang baru terbentuk, dan meluas melalui perkembangan fetus, pertumbuhan dan perkembangan pascanatal

(setelah kelahiran), hingga dewasa. Pertumbuhan juga mencakup proses spesialisasi pada jaringan dan organ. Istilah tumbuh kembang sering digunakan untuk menyatakan perubahan berat badan atau ukuran hewan walaupun secara biologis pertumbuhan berbeda dengan perkembangan. Pertumbuhan adalah peningkatan ukuran fisik, sedangkan perkembangan adalah proses di mana sel tunggal (zigot) diubah menjadi organisme dewasa.

B. Fenomena pertumbuhan

Sejatinya, pertumbuhan ditandai dengan perubahan ukuran hewan. Fenomena pertumbuhan pada hewan dapat dilihat dari dua sisi, yakni secara kimiawi dan biologis.

1) Pertumbuhan dilihat dari aspek kimiawi.

Secara kimiawi, pertumbuhan adalah peningkatan protein dan mineral yang disimpan di dalam tubuh. Deposisi tersebut berdampak terhadap peningkatan bobot badan pada hewan. Pertumbuhan dapat terjadi dari peningkatan deposisi protein, yang diukur sebagai peningkatan retensi nitrogen dalam tubuh. Deposisi protein diatur oleh keseimbangan antara sintesis protein dan degradasi protein. Semua bagian tubuh hewan dibangun dari jaringan, sehingga, jika sel adalah bahan penyusun dasar jaringan, maka elemen dasar tubuh hewan adalah protein karena bahan dasar sel penyusun adalah protein. Meskipun tubuh hewan terdiri dari beberapa unsur (selain protein), namun unsur non-protein tersebut hanya berperan dalam proses metabolisme, bukan unsur dasar sel. Sebagai catatan, tidak semua kenaikan bobot badan bisa dikatakan sebagai pertumbuhan. Peningkatan berat badan yang disebabkan oleh penumpukan lemak dan air tidak dapat didefinisikan sebagai pertumbuhan.

2) Pertumbuhan dilihat dari aspek biologis.

Sel merupakan satuan terkecil penyusun tubuh hewan, sehingga sel merupakan satuan penyusun dan dasar dari proses tumbuh kembang pada hewan. Atas dasar ini, pertumbuhan dapat terjadi karena dua hal sebagai berikut:

- a. Hiperplasia, merupakan penambahan jumlah sel, sehingga pertumbuhan merupakan hasil dari bertambahnya jumlah sel di dalam tubuh hewan. Segera setelah pembuahan, sebagian besar pertumbuhan terjadi melalui hiperplasia. Peningkatan jumlah sel dapat disebabkan oleh rangsangan/peningkatan proliferasi atau penurunan apoptosis.
- b. Hipertrofi, merupakan peningkatan ukuran sel. Hipertrofi sel juga dapat didefinisikan sebagai pembesaran sel karena peningkatan ribonucleic acid (RNA) dan kandungan protein tanpa perubahan dalam sintesis deoxyribonucleic acid (DNA). Definisi ini mencakup perubahan aktif dalam metabolisme sel dan regulasi pertumbuhan, yang menunjukkan bahwa hipertrofi lebih dari sekedar pembengkakan/perbesaran ukuran sel secara pasif.

Peningkatan jumlah sel terjadi melalui mekanisme reproduksi/perbanyakannya sel yang disebut dengan mitosis. Bersamaan dengan proliferasi, terjadi penambahan material ke dalam sel. Penambahan material ke dalam sel menghasilkan peningkatan berat dan ukuran sel. Namun demikian, masuknya air ke dalam sel (imbibisi), meskipun menyebabkan peningkatan berat atau volume sel, tidak dapat diklasifikasikan sebagai pertumbuhan. Air merupakan zat yang mudah keluar masuk dari sel melalui dinding sel. Pertumbuhan meliputi proses kimiawi dan biologis yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Kedua

proses yang terlibat dalam pertumbuhan ini berlangsung secara bersamaan. Kombinasi proses kimiawi dan biologis dalam pertumbuhan pada akhirnya menghasilkan teori lain tentang pertumbuhan, misalnya:

- Pertumbuhan adalah perbanyakkan sel.
- Pertumbuhan adalah pembesaran sel.
- Pertumbuhan adalah penggabungan bahan yang diambil dari lingkungan.

C. Karakteristik pertumbuhan

Ukuran, bentuk, polaritas, dan metabolisme sel berubah secara dramatis sehingga sel yang kurang terspesialisasi menjadi lebih terspesialisasi dan memperoleh peran yang lebih spesifik. Berdasarkan latar belakang tersebut, setidaknya ada tiga karakteristik pertumbuhan yang dapat diasumsikan:

- Adanya proses seluler dasar termasuk hiperplasia (penggandaan sel), hipertrofi (pembesaran sel), dan penambahan bahan (glikogen, plasma darah, tulang rawan, dll.).
- Adanya diferensiasi *stem cell* pada embrio membentuk ektoderm, mesoderm, dan endoderm serta diferensiasi lebih lanjut (menjadi ireversibel) menjadi sel tertentu seperti sel saraf dan epidermis (ektoderm), otot dan jaringan ikat (mesoderm), dan sel pembentuk saluran pencernaan dan kelenjar sekretori (endoderm).
- Adanya kontrol atas pertumbuhan dan diferensiasi yang melibatkan beberapa proses yang berbeda dari waktu ke waktu.

Pertumbuhan dapat terjadi sebagai akibat dari proses kimiawi dan biologis yang terjadi di dalam tubuh hewan. Karena proses kimiawi dan biologis ini, definisi pertumbuhan yang tepat

menjadi lebih membingungkan. Definisi pertumbuhan mungkin berbeda dari sudut pandang kimia dan biologis. Secara sederhana, pertumbuhan organisme memiliki karakter yang jelas. Entitas bertambah dalam ukuran, jumlah atau masa seiring berjalannya waktu. Ditinjau dari sudut pandang produksi ternak, pertumbuhan umumnya diartikan sebagai penambahan masa tubuh per satuan waktu. Saat ini definisi tersebut dikenal dengan *daily weight gain* (DWG) dan digunakan untuk menggambarkan pencapaian hewan ternak dalam mengubah pakan menjadi produk (daging) dalam hitungan hari. Namun definisi ini sering dibantah oleh beberapa ahli biologi, karena beberapa hewan tidak menunjukkan peningkatan berat badan tetapi pada saat yang sama tulang hewan ini lebih panjang (ditunjukkan dengan panjang tubuh yang lebih panjang). Dengan demikian definisi pertumbuhan yang relatif lengkap dapat diusulkan sebagai perubahan ukuran yang dapat diukur dari dimensi perubahan panjang, isi dan berat. Brody (1945) mendefinisikan pertumbuhan sebagai perubahan waktu yang relatif tidak dapat diubah dalam dimensi yang diukur. Dengan demikian, kita dapat menambahkan karakteristik pertumbuhan lainnya meskipun ada tiga karakteristik yang disebutkan di atas, yaitu pertumbuhan adalah fitur yang tidak dapat diubah. Ada beberapa implikasi akibat definisi yang telah dibahas di atas, yaitu:

- Definisi pertumbuhan mengaitkan dimensi ukuran dan berat.
- Konsep ireversibel mengabaikan fluktuasi ukuran hewan yang disebabkan oleh suplai pakan, kebuntingan dan menyusui.
- Dilihat dari dimensi beratnya, hewan yang memiliki berat badan konstan dapat dianggap tidak tumbuh, sedangkan dari dimensi panjangnya hewan tersebut dianggap dapat tumbuh.
- Tingkat penurunan berat badan tidak sama dengan peningkatan berat badan dalam jangka waktu yang sama.

Pertumbuhan dibedakan menjadi pertumbuhan nyata (*true growth*) dan deposisi lemak di jaringan lemak (depot) yang dikenal dengan istilah penggemukan. Contoh pertumbuhan nyata adalah penambahan bobot organ dan jaringan struktural seperti otot dan tulang. Keadaan ini ditandai terutama oleh peningkatan protein dan mineral. Memang agak sulit untuk membedakan antara pertumbuhan dan penggemukan, karena tidak diterima secara logis untuk mengklaim bahwa penumpukan lemak pada depot/timbunan lemak bukanlah bagian dari proses pertumbuhan. Selain itu, meskipun lemak struktural dan lemak fungsional dapat dibedakan, pada kenyataannya lemak subkutan pada saat yang sama dapat berfungsi sebagai lemak cadangan (lemak struktural) sekaligus sebagai isolator dalam termoregulasi (lemak fungsional). Jika penumpukan lemak tidak dikategorikan sebagai pertumbuhan, maka logis untuk menyamakan deposisi lemak dan air yang masuk ke jaringan (tidak mengubah ukuran sel/jaringan karena sifatnya yang reversibel).

D. Diferensiasi

Dalam hal pertumbuhan, sel tidak hanya bertambah jumlahnya, tetapi juga membentuk sekelompok sel yang mempunyai ciri berbeda dari kelompok sel lainnya. Kelompok sel ini membentuk jaringan, dan akhirnya membentuk organ. Pembentukan sekelompok sel yang memiliki ciri dan fungsi berbeda disebut diferensiasi. Karena proses diferensiasi, semua sel mengalami perubahan penting selama masa hidupnya, berubah dari sel tidak terspesialisasi yang mengalami pertumbuhan cepat menjadi jenis sel spesifik yang menjalankan tugas/fungsi sebagai jaringan dan organ tertentu. Diferensiasi sel menjadi sel dengan struktur dan fungsi khusus dimulai pada awal perkembangan embrio. Misalnya, zigot bersel tunggal berkembang menjadi embrio multiseluler yang selanjutnya

berkembang menjadi multisistem yang lebih kompleks dari jenis sel janin yang berbeda.

E. Pertumbuhan dan perkembangan

Menurut Brody (1945), pertumbuhan ditandai dengan: 1) pertumbuhan adalah sintesis biologis yang menghasilkan unit-unit biokimia baru, sedangkan perkembangan melibatkan proses koordinasi yang diarahkan pada kematangan/maturasi dan perhatian pada heterogenitas yang terorganisir, 2) pertumbuhan berarti pembentukan atau asimilasi suatu zat dari zat lain yang telah dihancurkan atau dipecah. Beberapa jenis pertumbuhan mungkin tidak termasuk perkembangan, seperti pertumbuhan sel kanker, dan pertumbuhan jaringan secara *in vitro*. Fenomena pertumbuhan ini berlangsung tanpa perintah (koordinasi) dan berkembang biak dengan sendirinya.

Perkembangan meliputi peningkatan zat hidup atau protoplasma, dan dapat terjadi salah satu atau mungkin semua proses seperti penggandaan sel, pembesaran sel, dan penggabungan materi yang diambil dari lingkungan luar. Adanya perintah koordinatif dalam jaringan (membentuk heterogenitas yang terorganisir) menunjukkan bahwa terdapat berbagai kelompok sel dalam tubuh yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang berbeda. Laju pertumbuhan yang berbeda menyebabkan perubahan proporsi organ tubuh, sehingga perkembangan merupakan perubahan proporsi pada bagian-bagian tubuh karena kecepatan pertumbuhan yang berbeda pada setiap bagian tubuh. Perkembangan juga mencakup perubahan fungsional pada bagian tubuh, bukan hanya perubahan proporsi. Misalnya, hewan yang baru lahir memiliki kepala yang relatif lebih besar dan perut yang lebih kecil, sedangkan hewan dewasa memiliki kepala yang kecil dan perut yang besar.

1.3. PENUTUP

A. Rangkuman

Pertumbuhan adalah peningkatan berat dan ukuran tubuh akibat peningkatan jumlah sel (hiperplasia) atau peningkatan ukuran sel (hipertrofi). Pertumbuhan adalah peningkatan ukuran fisik, sedangkan perkembangan adalah proses di mana sel tunggal diubah menjadi organisme dewasa. Fenomena pertumbuhan pada hewan dapat dilihat dari sudut pandang kimiawi dan biologi. Secara kimiawi, pertumbuhan adalah peningkatan protein dan mineral yang tersimpan dalam tubuh, dan secara biologis pertumbuhan dapat terjadi karena hiperplasia dan hipertrofi. Secara umum, pertumbuhan ditandai dengan adanya hiperplasia, hipertrofi, diferensiasi, dan pertumbuhan adalah ciri yang ireversibel.

B. Tes formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

- 1) Mengapa pertumbuhan penting dalam produksi ternak?
- 2) Bagaimana pertumbuhan terjadi pada hewan? Jelaskan dari sudut pandang kimia dan biologis!
- 3) Bagaimana kita bisa mengenali pertumbuhan hewan?
- 4) Bisakah Anda menjelaskan mengapa penumpukan lemak dalam tubuh hewan tidak dapat didefinisikan sebagai pertumbuhan?
- 5) Dapatkah Anda menjelaskan keterkaitan antara pertumbuhan, perkembangan dan diferensiasi sehubungan dengan fungsi normal (dari organ dan jaringan) pada hewan?

C. Umpan balik

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang terdapat pada bagian akhir dari pokok bahasan ini.

Hitunglah jawaban anda yang benar dan kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi belajar pada Bab I.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{5} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan materi yang anda capai:

90 – 100% = baik sekali;

80 – 89% = baik;

70 – 79% = cukup;

< 70% = kurang

D. Tindak lanjut

Apabila tingkat penguasaan anda mencapai 80% ke atas, anda dapat meneruskan ke pokok bahasan II. Tetapi bila tingkat penguasaan anda masih di bawah 80%, anda harus mengulangi kegiatan belajar pada pokok bahasan I, terutama bagian yang belum anda kuasai.

E. Kunci jawaban tes formatif

- 1) Dalam hal produksi ternak, pertumbuhan merupakan aspek fundamental karena pertumbuhan dapat dikaitkan dengan deposisi protein (daging) di dalam tubuh ternak. Dengan demikian, pertumbuhan merupakan mekanisme yang menyebabkan penimbunan protein yang notabene produk ternak yang dimanfaatkan oleh manusia.
- 2) Ditinjau dari aspek kimiawi, pertumbuhan merupakan peningkatan protein dan mineral yang disimpan di dalam tubuh ternak. Deposisi protein dan mineral inilah yang selanjutnya dapat meningkatkan bobot dan ukuran (bobot dan panjang) tubuh ternak. Sedangkan dari sisi biologis,

pertumbuhan adalah hasil dari aktivitas hiperplasia dan hipertrofi yang menghasilkan penambahan bobot dan ukuran tubuh ternak.

- 3) Secara kasar, pertumbuhan adalah peningkatan tinggi, panjang, lingkar, dan berat badan yang terjadi jika hewan disediakan makanan, air, dan tempat yang nyaman. Namun, bobot hidup adalah yang ukuran yang paling penting dalam mengenali pertumbuhan hewan.
- 4) Peningkatan berat badan yang disebabkan oleh penumpukan lemak dan air tidak dapat didefinisikan sebagai pertumbuhan. Hal tersebut di dasari oleh konsep bahwa pertumbuhan bersifat ireversibel, sedangkan deposisi lemak di dalam tubuh secara umum bersifat reversibel.
- 5) Sementara pertumbuhan dapat dianggap sebagai peningkatan dalam tinggi, panjang, lingkar atau berat, perkembangan dapat dianggap sebagai perubahan dalam komposisi, struktur atau kemampuan dari hewan.

Daftar pustaka

- Black, J.L. 1988. Animal Growth and Its Regulation. *Journal of Animal Science*. 66, 1-22.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth with Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals*. Hafner Press, Collier-Macmillan Canada, Ltd.
- Buttery, P.J. and J.M. Dawson. 1990. Growth promotion in farm animals. *Proceedings of the Nutrition Society* 49, 459-466.
- Campbell, N.A. and J.B. Reece. 2002. *Biology*. Benjamin Cummings, Pearson Education Inc.
- Cunningham, J.G. and B.G. Klein. 2007. *Veterinary Physiology: Fourth Edition*. Saunders Elsevier
- Emery, R.S. 1979. Deposition, Secretion, transport and

Oxidation of fat in ruminants. *Journal of Animal Science*.
48: 1530-1537.

Hammond, F.R.S. 1950. Measuring Growth in Farms Animals.
Proceedings of the Royal Society of London. Series B,
Biological Sciences.

Swatland, H. J. 1994. Structure and Development of Meat
Animals and Poultry. Technomic Pub Co, Lancaster,
Pennsylvania, U.S.A.

BAB II

SEL SEBAGAI UNIT PERTUMBUHAN

2.1. PENDAHULUAN

A. Deskripsi singkat

Pokok bahasan tentang sel sebagai unit pertumbuhan membahas tentang topik-topik yang berkaitan dengan biodinamika sel, sitogenik sel, regulasi pertumbuhan, laju pertumbuhan, diferensiasi pertumbuhan, pengaruh nutrisi terhadap pertumbuhan hewan, dll. Sel hidup dapat melakukan aktivitas (biodinamika) dengan mengubah bahan kimia menjadi energi mekanik. Dalam hal pertumbuhan, proliferasi merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan oleh sel hidup untuk menghasilkan sejumlah sel. Pertumbuhan erat kaitannya dengan sintesis berbagai penyusun sel yang membutuhkan bahan terutama protein. Jadi, selain replikasi DNA, sintesis protein juga dapat menentukan hiperplasia dan hipertrofi sel. Hewan yang berbeda memiliki bobot yang berbeda dan tingkat pertumbuhan yang berbeda pula. Laju pertumbuhan pada hewan sering dinyatakan dalam pertumbuhan absolut maupun pertumbuhan relatif. Dimensi atau ukuran organ tidak pernah sama antara prenatal dan postnatal karena perbedaan laju pertumbuhan antar organ. Ketika laju pertumbuhan suatu organ tertentu sama dengan laju pertumbuhan tubuh secara keseluruhan, pertumbuhan tersebut disebut pertumbuhan isometrik. Kebalikan dari pertumbuhan isometrik adalah pertumbuhan alometrik yang merupakan pola pertumbuhan dimana bagian tubuh yang berbeda tumbuh dengan kecepatan yang berbeda satu sama lain. Pertumbuhan tidak hanya ditentukan oleh faktor internal, seperti sifat hewan dan status hormonal, tetapi juga ditentukan oleh ketersediaan nutrisi sebagai substrat untuk metabolisme anabolik.

B. Relevansi

Tinjauan tentang sel sebagai unit pertumbuhan menganalisis tentang biodinamika dan sitogenik sel, regulasi pertumbuhan, dan pengukuran pertumbuhan pada hewan. Pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan ini akan membantu mahasiswa dalam mengevaluasi perbedaan pertumbuhan pada hewan serta mengevaluasi pengaruh nutrisi pada pertumbuhan.

C. Kompetensi

C.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan pokok bahasan ini mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan-permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

C.2. Kompetensi dasar

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa akan mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori tentang biologi pertumbuhan pada ternak.

D. Petunjuk belajar

Selain membaca teori yang disajikan, mahasiswa juga disarankan untuk mengerjakan latihan soal yang ada pada buku ajar ini.

2.2. PENYAJIAN

A. Biodinamika sel

Selama pertumbuhan, sel-sel hewan terus berkembang sesuai dengan jumlah dan ukurannya. Akumulasi bahan ekstraseluler juga terjadi selama proses pertumbuhan. Bahan

ekstraseluler, terutama protein, dibutuhkan oleh sel sebelum berproliferasi. Namun hal itu tidak selalu terjadi, karena sel masih dapat berkembang biak meskipun tanpa bahan eksternal masuk ke dalam sitoplasma sel. Akibatnya, perkembangbiakan tersebut akan menghasilkan sejumlah sel dengan ukuran yang lebih kecil. Sintesis protoplasma tidak selalu identik dengan pembelahan sel. Seringkali, sintesis protoplasma tidak diikuti oleh pembelahan sel. Akibatnya sel akan membesar. Dengan latar belakang tersebut maka dapat diasumsikan bahwa hiperplasia dan hipertrofi tidak selalu terjadi secara bersamaan.

Pertumbuhan berkaitan erat dengan sintesis berbagai unsur sel termasuk inti, kromosom, sentriol, mitokondria, organel sitoplasma, enzim, dan membran sel. Selama pertumbuhan prenatal, embrio menghasilkan sekelompok sel seperti otot, tulang rawan, kulit dan saraf. Ini dikenal sebagai diferensiasi yang mencakup perubahan yang sangat kompleks dalam hal struktur dan fungsi sel. Laju dan pola diferensiasi sel sejatinya diatur dengan cermat, sehingga jumlah tiap jenis sel optimal untuk fungsi jaringan.

Pembelahan sel secara mitosis terjadi pada tingkat minimal pada jaringan dewasa, tetapi berlangsung terus menerus dalam kecepatan yang lambat untuk menjaga ukuran dan jumlah sel tetap konstan. Keseimbangan ini tergantung pada aktivitas hormon, sistem saraf simpatis, dan *growth regulator* (pengaturan pertumbuhan). Sebagai catatan, pengaturan pertumbuhan pada hewan melibatkan interaksi kompleks antara beberapa hormon dan sistem faktor pertumbuhan yang diprogram secara genetik dan dimodifikasi oleh pakan (nutrisi) dan lingkungan untuk menentukan laju pertumbuhan jaringan dan organ. Pertumbuhan negatif dapat terjadi pada umur tua, dimana sel-sel terus berkurang dan tidak ada penggantinya. Penuaan terkait erat dengan perubahan metabolisme seperti pembentukan dan ekskresi

kolagen ke ruang ekstraseluler dan kalsifikasi sendi.

Tingkat pergantian sel dikaitkan dengan fungsi sel. Pergantian sel yang konstan terjadi pada bagian tubuh tertentu, sedangkan bagian lainnya tidak dapat terjadi. Sel epitel terutama pada sistem pernafasan dan saluran pencernaan terus diperbarui. Misalnya, kira-kira setiap 38 jam penggantian/regenerasi sel baru di mukosa usus berlangsung. Contoh lain adalah sel darah merah yang diregenerasikan setiap 120 hari. Pembentukan sel saraf dan otot berakhir saat lahir, dan secara teoritis akan bekerja terus menerus hingga hewan tersebut mati. Berdasarkan pergantian sel di atas, maka sel pada hewan dewasa dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, meliputi:

- 1) Sel permanen, adalah sel yang membelah pada awal kehidupan prenatal seperti sel otot dan saraf. Sel permanen biasanya hanya membelah dalam kehidupan embrionik dan fetus (atau pada periode awal pasca kelahiran). Sel permanen tidak dapat diganti ketika hilang dan mereka hanya memiliki kapasitas yang sangat terbatas (jika ada) untuk membelah. Kelompok ini meliputi sel otot jantung, fotoreseptor di retina dan neuron.
- 2) Sel Stabil, adalah sel yang selalu diperbarui sehingga jumlah selnya selalu konstan. Sel-sel yang stabil hanya membelah sesekali tetapi dapat dirangsang untuk membelah ketika sel-selnya hilang, atau sel-sel ini akan berkembang biak bila diperlukan. Contoh dari kelompok ini termasuk tulang, hati, sel tubular ginjal, fibroblas di jaringan ikat, dll. Sel darah merah adalah contoh lain dari sel stabil.
- 3) Sel labil, adalah sel yang berubah sewaktu-waktu hingga hewan mencapai umur dewasa. Sel labil berproliferasi terus menerus sepanjang hidup (melalui kehidupan postnatal) dan memiliki kapasitas regenerasi yang sangat tinggi. Sel-sel ini sangat rentan terhadap pengaruh toksik dan radiasi. Contoh

sel labil termasuk sumsum tulang, epitel mulut, kulit, usus dan kandung kemih.

B. Sitogenetik sel

Hiperplasia dan hipertrofi adalah konsekuensi dari replikasi DNA dan sintesis protein. Inti merupakan pusat dari fungsi sel, regulasi pertumbuhan, diferensiasi, dan proses biokimia. Gen mengandung sifat pertumbuhan sel. Replikasi kromosom dan zat yang terkandung dalam gen berkaitan dengan struktur molekul DNA. DNA memiliki berat molekul yang tinggi dan terdiri dari molekul yang lebih kecil yang tersusun dalam struktur tertentu. Molekul kecil tersebut antara lain molekul gula deoksiribosa, asam fosfat, dan empat basa nitrogen, yaitu dua purin (adenin dan guanin) dan dua pirimidin (timin dan sitosin). DNA mengatur pertumbuhan, di mana RNA pembawa pesan yang terbentuk di dalam nukleus membawa instruksi genetik ke ribosom untuk sintesis asam amino (protein) yang responsif terhadap kemampuan fungsional sel. Sintesis protein terjadi di sitoplasma di seluruh sel tubuh. Semua sel di jaringan mengandung asam nukleat dan protein yang serupa. Asam nukleat akan memungkinkan sel berkembang biak secara geometris dan terkadang bermutasi.

C. Regulasi pertumbuhan

Berdasarkan aspek pertumbuhannya, sel dibedakan menjadi sel yang memperbaharui, mengembang dan sel statis. Jaringan pembaruan adalah jaringan yang dibangun oleh sel-sel yang terus aus (menghilang) dan berubah. Jaringan yang membesar adalah jaringan yang dibangun oleh sel-sel yang terus berkembang biak hingga organ dewasa. Jaringan statis adalah jaringan yang dibangun oleh sel yang hanya membelah pada awal perkembangannya, meskipun hipertrofi masih dapat berlanjut

setelah itu, dan sel terus hidup sepanjang hidup hewan. Homeostasis dapat terbentuk karena tiga proses, terutama karena sistem yang berkembang. Hormon yang berperan dalam sintesis protein seperti *growth hormone* (GH) dan insulin dinilai dapat mempengaruhi pertumbuhan juga. Hormon-hormon ini merangsang produksi RNA dalam sel yang selanjutnya akan mensintesis protein. Insulin berperan penting dalam sintesis protein, oleh karena itu hormon ini juga berperan penting dalam hipertrofi sel.

Pertumbuhan kompensasi dapat terjadi ketika beberapa organ berhenti tumbuh atau sebagian organ diambil secara eksperimental. Pertumbuhan kompensasi dapat meningkatkan kemampuan fungsional jaringan dan organ. Pertumbuhan juga didorong oleh kebutuhan fisiologis, seperti peningkatan kebutuhan oksigen akan memacu pertumbuhan sel darah merah, olahraga dapat meningkatkan diameter otot, dan infeksi dapat memperbesar ukuran kelenjar getah bening.

D. Tingkat pertumbuhan

Hewan yang berbeda memiliki bobot yang berbeda dan tingkat pertumbuhan yang berbeda pula. Ada empat hipotesis penyebab terjadinya variasi bobot akhir atau laju pertumbuhan pada ternak, yaitu:

- Variasi ada di awal atau di awal kehidupan.
- Variasi bobot akhir akan sama dengan variasi bobot awal jika ini adalah satu-satunya penyebab variasi.
- Secara genetik setiap hewan memiliki kecepatan pertumbuhan yang berbeda. Perbedaan dalam potensi pertumbuhan memungkinkan beberapa hewan menunjukkan penambahan bobot badan lebih tinggi daripada hewan lain dalam interval waktu yang sama.
- Beberapa hewan lebih rentan terhadap tekanan yang ada di

lingkungannya. Beberapa respon terhadap stres bersifat positif dan beberapa di antaranya negatif. Contoh respon positif adalah pertumbuhan kompensasi yang membantu hewan pulih dari kondisi stres sebelumnya, dan kondisi nyaman (thermoneutral) dapat menyebabkan hewan makan lebih banyak dan tumbuh lebih cepat daripada di lingkungan yang lebih panas. Contoh respon negatif adalah kondisi stres dimana seringkali menyebabkan berkurangnya *intake* pakan dan pertumbuhan pada hewan ternak.

Laju pertumbuhan hewan ternak selama masa pasca sapih sangat bergantung pada lingkungan fisik, musim, serta suplai susu dari induknya. Secara umum, laju pertumbuhan pasca penyapihan juga bergantung pada faktor genetik/keturunan, suhu lingkungan, kemampuan beradaptasi, stres sosial, dan ketersediaan pakan. Terkait dengan suhu lingkungan, suhu lingkungan yang nyaman untuk babi adalah 20-25°C, 27°C untuk ayam, dll. Peningkatan suhu lingkungan menurunkan laju pertumbuhan ternak.

E. Mengukur pertumbuhan

Laju pertumbuhan hewan dinyatakan baik dalam pertumbuhan absolut maupun relatif. Laju pertumbuhan absolut adalah peningkatan pertumbuhan per satuan waktu, sedangkan laju pertumbuhan relatif adalah peningkatan relatif dalam pertumbuhan per satuan waktu. Ada berbagai cara untuk mengukur pertumbuhan, seperti penambahan berat badan, persentase kenaikan, atau penambahan berat badan per hari. Metode mana yang sebaiknya digunakan akan sangat tergantung pada tujuannya. Untuk tujuan produksi ternak, mengukur penambahan bobot badan per hari umumnya dilakukan.

F. Pertumbuhan diferensial

Secara proporsional, dimensi organ tidak pernah sama antara periode prenatal dan postnatal. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan aktivitas antar organ. Perubahan proporsi organ itu sendiri merupakan ciri khas perkembangan. Hubungan antara pertumbuhan tubuh secara keseluruhan dan organ (penyusun tubuh) dikenal dengan istilah pertumbuhan alometri, dan dapat dirumuskan sebagai:

$$Y = b X^k$$

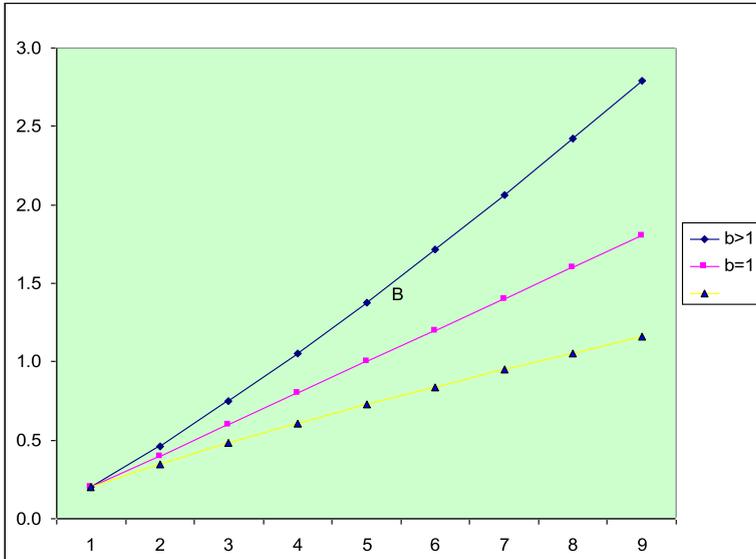
dimana

Y = ukuran organ tertentu X = ukuran tubuh

B = koefisien perkalian

K = koefisien pertumbuhan

Jika $k = 1$, berarti laju pertumbuhan suatu organ sama dengan laju pertumbuhan tubuh secara keseluruhan (pertumbuhan isometrik). Organ yang mengalami pertumbuhan isometrik dapat digolongkan memiliki maturasi sedang. Jika $k < 1$, berarti laju pertumbuhan organ yang diukur lebih lambat daripada pertumbuhan tubuh secara keseluruhan. Organ yang memiliki koefisien pertumbuhan ini dapat diklasifikasikan memiliki maturasi lambat. Jika $k > 1$, berarti laju pertumbuhan organ yang diukur lebih cepat daripada pertumbuhan tubuh secara keseluruhan. Organ yang memiliki koefisien pertumbuhan ini dapat diklasifikasikan memiliki maturasi yang cepat.



Ilustrasi 1 Kurva pertumbuhan diferensial

G. Komposisi tubuh

Komposisi tubuh hewan sangat bervariasi tergantung pada spesies, ras, umur, jenis kelamin, keseimbangan nutrisi dan lingkungan atau iklim mikro di sekitar hewan tersebut. Hewan yang lebih tua memiliki persentase jaringan lemak yang lebih besar dan proporsi kadar air yang lebih kecil. Hewan jantan memiliki lemak yang lebih sedikit dibandingkan dengan hewan betina. Tulang panjang tumbuh pertama ke bagian epifisis dan kedua menuju diafisis. Jantan juga memiliki tulang yang lebih tebal dibandingkan dengan betina, dan jenis hewan penghasil daging (sebagai contoh ayam broiler) memiliki tulang yang lebih kuat. Tulang yang lebih kuat tersebut dimaksudkan untuk menopang tubuh yang cenderung berat atau lebih berbobot.

Jaringan otot terdiri dari serat merah dan putih, dimana pertumbuhan serat otot merah lambat dan memiliki aktivitas enzim oksidatif yang tinggi. Di sisi lain, serabut otot putih memiliki laju pertumbuhan yang cepat dan aktivitas enzim

fosforilatif yang tinggi. Jaringan lemak tidak pernah berhenti untuk “mendaur ulang”. Tingkat siklus, bagaimanapun, tergantung pada spesies, lokasi dan status nutrisi hewan. Pada saat lemak tersedia dalam jumlah melimpah akan disimpan di dalam lambung, ginjal, rongga tulang panjang, tetapi jarang disimpan di rongga tengkorak, skrotum dan kelopak mata.

H. Pertumbuhan negatif

Pertumbuhan negatif atau perlambatan pertumbuhan dikaitkan dengan kegagalan replikasi DNA atau penurunan sintesis protein. Ada beberapa faktor penyebab pertumbuhan negatif pada hewan, seperti ketidakseimbangan kromosom, anomali, radiasi (nuklir), obat-obatan, toksin, aktivitas sistem saraf simpatis berlebihan, infeksi dan hipoksia. Aktivitas sistem saraf simpatis yang berlebihan berhubungan dengan stres, karena stres dapat meningkatkan sekresi epinefrin. Hormon tersebut dikategorikan sebagai hormon katabolik yang memiliki efek negatif pada metabolisme anabolik yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan hewan.

I. Pengaruh nutrisi pada pertumbuhan

Nutrisi yang diperoleh hewan akan digunakan untuk kelangsungan hidup, pertumbuhan, produksi dan reproduksi. Bioenergi hewan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rasa lapar, integrasi aktivitas sistem saraf pusat, metabolisme basal, aksi dinamis spesifik, aktivitas otot (*secara volunter*), pemanfaatan karbohidrat, protein dan lemak untuk pertumbuhan, pemeliharaan dan reproduksi, serta cadangan energi (jaringan adiposa). Pada prinsipnya, semua energi yang digunakan hewan untuk proses biologis sebagian besar berasal dari sinar matahari (terkait dengan pakan yang bergantung pada proses fotosintesis). Hewan kehilangan energi melalui pernapasan, feses, dan urin.

Sebagian besar energi yang diperoleh dari pakan digunakan untuk pemeliharaan sel sitoplasma. Keterbatasan asupan kalori dapat menurunkan sintesis DNA intraseluler meskipun ukuran sel masih dapat bertambah. Sebaliknya bila asupan protein dibatasi dan sebaliknya asupan kalori yang normal akan menyebabkan ukuran sel semakin kecil tetapi penumpukan DNA tetap terjadi. Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat disimpulkan bahwa asupan protein dan kalori sama-sama penting.

Vitamin dan mineral sangat penting untuk pertumbuhan dan morfogenesis. Kekurangan beberapa bahan tersebut dapat menyebabkan perubahan metabolisme dan reproduksi hewan. Kekurangan yodium, misalnya, tidak hanya menyebabkan uterus menjadi terganggu, tetapi juga menghambat perkembangan normal otak/sistem saraf pada hewan.

2.3. PENUTUP

A. Rangkuman

Proliferasi merupakan aktivitas sel hidup untuk berkembang biak. Selain replikasi DNA, sintesis protein sangat menentukan hiperplasia dan hipertrofi sel. Hewan yang berbeda memiliki bobot yang berbeda dan tingkat pertumbuhan yang berbeda pula. Laju pertumbuhan pada hewan sering dinyatakan dalam pertumbuhan absolut maupun pertumbuhan relatif. Dimensi atau ukuran organ tidak pernah sama antara prenatal dan postnatal karena perbedaan laju pertumbuhan antar organ. Pertumbuhan tidak hanya ditentukan oleh faktor internal, seperti sifat hewan dan status hormonal, tetapi juga ditentukan oleh ketersediaan nutrisi sebagai substrat untuk metabolisme anabolik.

B. Tes formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

- 1) Mengapa biodinamika sel penting untuk mendorong pertumbuhan pada hewan?
- 2) Bagaimana DNA mengarahkan pertumbuhan hewan?
- 3) Bagaimana kita bisa mengkorelasikan antara hormon insulin dan pertumbuhan hewan dilihat dari perspektif hipertrofi?
- 4) Bagaimana kita dapat menafsirkan prinsip ‘pertumbuhan diferensial’ untuk mengoptimalkan sistem produksi ternak?
- 5) Bagaimana nutrisi mempengaruhi pertumbuhan hewan?

C. Umpan balik

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang terdapat pada bagian akhir dari pokok bahasan ini. Hitunglah jawaban anda yang benar dan kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi belajar pada Bab II.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{5} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan materi yang anda capai:

- 90 – 100% = baik sekali;
- 80 – 89% = baik;
- 70 – 79% = cukup;
- < 70% = kurang

D. Tindak lanjut

Apabila tingkat penguasaan anda mencapai 80% ke atas, anda dapat meneruskan ke pokok bahasan III. Tetapi bila tingkat penguasaan anda masih di bawah 80%, anda harus mengulangi

kegiatan belajar pada pokok bahasan II, terutama bagian yang belum anda kuasai.

E. Kunci jawaban tes formatif

- 1) Secara umum, pertumbuhan sangat terkait erat dengan sintesis berbagai unsur sel termasuk inti, kromosom, sentriol, mitokondria, organel sitoplasma, enzim, dan membran sel. Pertumbuhan juga tidak bisa dilepaskan dari perbanyakan jumlah sel di dalam tubuh hewan. Biodinamika sel dapat didefinisikan sebagai aktivitas yang memungkinkan perbanyakan jumlah dan perbesaran ukuran sel, yang hal tersebut merupakan komponen penting dari pertumbuhan hewan.
- 2) Secara definisi, hiperplasia dan hipertrofi (yang merupakan prsyarat dari pertumbuhan) merupakan konsekuensi dari replikasi DNA dan sintesis protein. Fungsi utama DNA adalah untuk menyandikan (*encoding*) urutan residu asam amino dalam protein, dengan menggunakan kode-kode genetik. Untuk membaca kode genetik tersebut, sel membuat salinan bentangan DNA pada RNA asam nukleat. Salinan RNA tersebut kemudian digunakan untuk mengarahkan sintesis protein. Berdasarkan fakta di atas, maka dapat diasumsikan bahwa DNA mengarahkan atau menentukan pertumbuhan hewan.
- 3) Terdapat korelasi antara hormon insulin dan pertumbuhan pada hewan jika dilihat dari perspektif hipertrofi. Dalam hal ini, hormon insulin berperan penting dalam proses sintesis protein dengan merangsang produksi RNA dalam sel, sehingga hormon ini berperan penting dalam hipertrofi sel.
- 4) Prinsip ‘pertumbuhan diferensial’ menggambarkan laju pertumbuhan yang berbeda-beda antar bagian atau organ tubuh dari hewan. Perbedaan laju pertumbuhan tersebut

dapat memberikan indikasi tingkat maturasi atau perkembangan dari hewan. Dengan berpijak pada kondisi tersebut maka peternak dapat melakukan *adjustment* terhadap sistem manajemen untuk mengoptimalkan produksi ternak.

- 5) Kuantitas maupun kualitas nutrisi sangat menentukan ketersediaan substrat untuk metabolisme energi. Energi yang diproduksi tersebut selanjutnya digunakan oleh ternak selain untuk kebutuhan *maintenance* dan aktivitas, energi tersebut digunakan untuk biosintesis. Sehingga, semakin tinggi status nutrisi hewan maka semakin tinggi produksi energi untuk biosintesis bahan organik (misal protein dan lemak) penopang pertumbuhan pada ternak.

Daftar Pustaka

- Beermann, D.H. 2003. Growth Regulators, Animal. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471238961.0114091302050518.a01.pub2>
- Berg, J.M., J.L. Tymoczko and L. Stryer. 2002. Biochemistry. 5th edition. W.H. Freeman, New York.
- Black, J.L. 1988. Animal Growth and Its Regulation. Journal of Animal Science. 66: 1-22
- Brameld, J.M., P.J. Buttery, J.M. Dawson, J.M. Harpe. 1998. Nutritional and hormonal control of skeletal-muscle cell growth and differentiation. Proceeding of the Nutrition Society. 57: 207-217.
- Brody, S. 1945. Bioenergetics and Growth with Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals. Hafner Press, Collier-Macmillan Canada, Ltd.
- Buttery, P.J. and J.M. Dawson. 1990. Growth promotion in farm animals. Proceedings of the Nutrition Society. 49: 459-466.

- Campbell, N.A. and J.B. Reece. 2002. *Biology*. Benjamin Cummings, Pearson Education Inc.
- Owens, F.N., P. Dubeski and C.F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*. 71:3138-3150.
- Wood, J.D., M. Enser, A.V. Fisher, G.R. Nute, P.R. Sheard, R.I. Richardson, S.I. Hughes, F.M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*. 78: 343-358.

BAB III

KAIDAH PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN

3.1. PENDAHULUAN

A. Deskripsi singkat

Secara alamiah, pola pertumbuhan pada hewan memiliki kaidah yang baku. Tahap awal kehidupan hewan menentukan pola pertumbuhan pada usia terakhir. Pola pertumbuhan ini dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti nutrisi dan genetik. Mirip dengan pertumbuhan, ada juga beberapa aturan yang berkaitan dengan perkembangan hewan. Perkembangan berkaitan dengan perubahan proporsi tubuh di bawah tatanan tertentu. Perkembangan juga dikaitkan dengan banyak faktor seperti nutrisi, keturunan, jenis kelamin dan lain sebagainya. Bab ini akan memaparkan lebih detail tentang aturan tumbuh kembang yang terjadi pada hewan.

B. Relevansi

Pokok bahasan kaidah pertumbuhan dan perkembangan banyak mengulas tentang aturan tumbuh kembang pada hewan. Pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan ini akan membantu mahasiswa magister dalam menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi tumbuh kembang pada hewan dalam bingkai aturan tumbuh kembang.

C. Kompetensi

C.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan pokok bahasan ini mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan-permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

C.2. Kompetensi dasar

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa akan mampu mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori tentang biologi pertumbuhan pada ternak.

D. Petunjuk belajar

Selain membaca teori yang disajikan, mahasiswa juga disarankan untuk mengerjakan latihan soal yang ada pada buku ajar ini.

3.2. PENYAJIAN

A. Kaidah pertumbuhan

Kaidah pertumbuhan adalah istilah yang hanya dapat digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan individu. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, pertumbuhan individu tidak dapat dijelaskan dengan peningkatan ukuran yang sederhana. Hewan dalam hidupnya mengalami dua kali perubahan, yakni:

- Peningkatan berat badan dan menjadi lebih besar, yang dikenal sebagai pertumbuhan.
- Perubahan proporsi pada berbagai bagian tubuh. Misalnya, hewan yang baru lahir memiliki ukuran kepala yang relatif lebih besar dan ukuran perut yang relatif lebih kecil. Sedangkan pada hewan dewasa, ukuran kepala relatif lebih kecil dibandingkan perut. Perubahan proporsi organ atau jaringan tertentu dikenal sebagai perkembangan. Dengan demikian, perkembangan merupakan perubahan proporsi bagian tubuh akibat perbedaan laju pertumbuhan tiap bagian tubuh.

Seiring pertumbuhan hewan, ada beberapa fenomena yang selalu terjadi secara alamiah, yang disebut hukum atau aturan pertumbuhan. Aturan pertumbuhan tersebut meliputi:

- 1) Pertumbuhan dikaitkan dengan tahap paling awal kehidupan hewan saat hewan berada di dalam uterus. Pertumbuhan fetus pada awalnya sangat lambat, dan menjadi lebih cepat seiring dengan waktu gestasi/kebuntingan.
- 2) Pertumbuhan disebabkan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi berat hewan yang baru lahir. Bobot hewan yang baru lahir sangat bergantung pada status nutrisi induk, ukuran anak, dan jenis hewan.
 - Status nutrisi induk berpengaruh juga terhadap status nutrisi fetus, karena fetus memperoleh nutrisi dari induknya melalui plasenta.
 - Anak kembar umumnya memiliki berat lahir lebih ringan dibandingkan dengan yang tunggal. Berat badan lahir sangat penting karena berkaitan dengan kemampuan bertahan hidup hewan yang baru lahir. Pada domba, semakin kecil bobot lahir maka semakin tinggi angka kematian pada umur selanjutnya. Berat badan lahir yang terlalu besar juga menyebabkan angka kematian yang lebih tinggi, meskipun efeknya tidak berbahaya seperti berat badan lahir rendah. Berat badan lahir rendah menurunkan kemampuan hewan untuk beradaptasi atau bertahan hidup pada suhu dingin, sedangkan berat badan lahir yang terlalu besar menyebabkan kesulitan dalam proses kelahiran. Untuk sapi, berat badan lahir yang tinggi secara genetik dikaitkan dengan tingkat pertumbuhan yang tinggi di kemudian hari. Untuk sebagian besar spesies, berat lahir tinggi dikaitkan dengan kematangan fisiologis yang lebih besar, lebih banyak cadangan energi dan isolasi yang lebih baik, dan dengan demikian terkait dengan peluang lebih baik untuk bertahan hidup pada anakan yang baru lahir.
 - Jenis hewan mempengaruhi kapasitas pertumbuhan. Sapi potong memiliki kapasitas pertumbuhan yang lebih tinggi

dibandingkan dengan sapi perah.

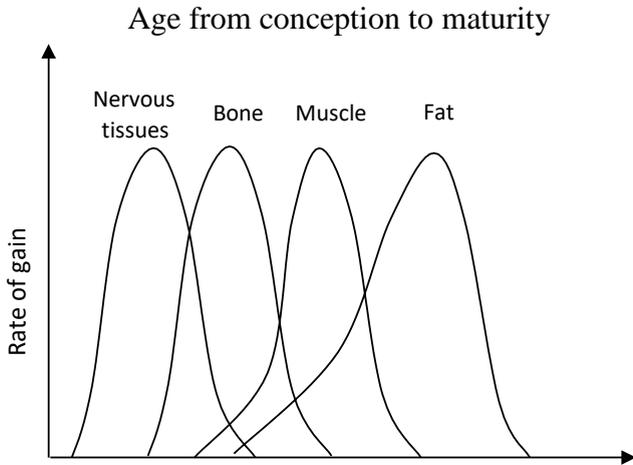
- 3) Pertumbuhan identik dengan pola pertumbuhan postnatal. Pertumbuhan pada awalnya lambat, kemudian semakin cepat hingga mencapai kecepatan maksimum, lalu melambat lagi. Pola ini dapat digambarkan sebagai kurva pertumbuhan yang memiliki pola sigmoid. Bagian paling menaik pada kurva sigmoid menunjukkan bahwa hewan berada pada tingkat pertumbuhan tertinggi dan paling efisien dalam pemanfaatan makanan. Dari perspektif peternakan (misalnya tempat pemberian pakan sapi), sapi potong sebaiknya dijual pada akhir periode pertumbuhan tercepat dengan konversi pakan tertinggi. Jika tidak segera dijual, peningkatan bobot badan tidak lagi diimbangi dengan peningkatan pakan yang dikonsumsi.
- 4) Pertumbuhan dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi (pakan). Keseimbangan nutrisi yang rendah menghasilkan tingkat pertumbuhan yang lebih rendah, tetapi efeknya lebih terlihat pada hewan muda daripada pada hewan yang lebih tua. Kekurangan nutrisi selama awal kehidupan dapat menyebabkan *stunting* permanen, sedangkan jika defisiensi terjadi pada hewan yang lebih tua, hewan dapat pulih jika diberi nutrisi yang cukup.
- 5) Pertumbuhan mengalami pertumbuhan maksimum. Pertumbuhan hanya dapat mencapai laju paling cepat jika tidak ada iklim yang ekstrim, penyakit, parasit, dan gangguan dari hewan lain.
- 6) Pertumbuhan ditentukan oleh sifat genetik. Genetik atau keturunan hewan akan menentukan potensi laju pertumbuhan dan ukuran dewasa. Genetik menentukan karakteristik setiap spesies hewan, termasuk kemampuannya untuk tumbuh. Genetik penting dalam menentukan potensi dan laju pertumbuhan. Induk yang tinggi menghasilkan

keturunan yang tinggi pula. Namun, faktor lain (misal kualitas dan kuantitas pakan serta kondisi lingkungan) juga akan menentukan pertumbuhan nyata dan ukuran dewasa hewan.

B. Kaidah perkembangan

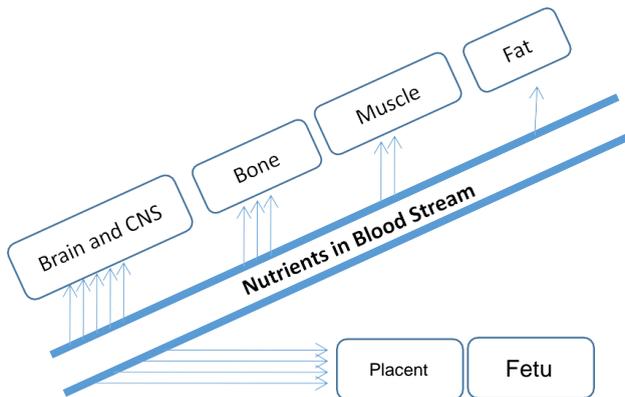
Perkembangan umumnya didefinisikan sebagai proses di mana sel tunggal (zigot) diubah menjadi organisme dewasa. Definisi lain adalah proses yang pada akhirnya mengarah pada pembentukan hewan baru yang dimulai dari sel yang diturunkan dari satu atau lebih individu induk. Sebagaimana terlihat pada bagian pertumbuhan, terdapat pula beberapa aturan yang berkaitan dengan perkembangan hewan, yaitu:

- 1) Perkembangan berkaitan dengan perubahan proporsi tubuh.
Beberapa bagian tubuh berkembang lebih awal sementara bagian lainnya tumbuh lebih lambat. Dengan latar belakang tersebut, hewan muda yang baru lahir memiliki kepala dan kaki yang relatif lebih besar, sebaliknya memiliki tubuh yang relatif kecil. Sebab kepala dan tungkai merupakan bagian tubuh yang berkembang lebih awal sedangkan tubuh secara keseluruhan berkembang belakangan.
- 2) Perkembangan berkaitan dengan tatanan/kaidah perkembangan.
Semua jaringan atau organ tubuh berkembang dengan urutan: otak dan sistem saraf, tulang, otot dan akhirnya lemak. Urutan pertumbuhan relatif pada jaringan yang berbeda serupa untuk semua spesies hewan ternak. Pola komparatif dimana organ dan jaringan berkembang mengikuti prinsip bahwa bagian-bagian yang dibutuhkan untuk kelangsungan hidup berkembang lebih dulu.



Ilustrasi 2 Urutan pertumbuhan relatif pada jaringan yang berbeda

Selain untuk alasan kelangsungan hidup, urutan perkembangan pada jaringan tubuh tertentu adalah karena prioritas dan persaingan dalam penyediaan nutrisi. Persaingan nutrisi dapat digambarkan pada gambar berikut (Ilustrasi 3).



Ilustrasi 3 Prioritas dan persaingan menuju pasokan nutrisi

Panah menunjukkan jumlah relatif nutrisi yang didistribusikan ke berbagai jaringan. Nutrisi yang relatif tinggi

mengalir ke plasenta/fetus (uterus pada saat graviditas), nomor dua setelah otak dan sistem saraf pusat. Jika satu anak panah dikeluarkan di setiap jaringan, tulang masih memiliki dua anak panah, dan otot masih memiliki satu anak panah, tetapi tidak lagi untuk lemak. Dengan demikian sintesis dan pengendapan lemak akan berhenti.

Ketersediaan nutrisi untuk pertumbuhan pada prinsipnya ditentukan oleh suplai nutrisi (baik dari asupan pakan maupun cadangan di dalam tubuh), dan kebutuhan nutrisi tersebut untuk proses fisiologis lainnya. Hormon mengkoordinasikan aliran nutrisi di antara proses- proses ini. Beberapa hormon tertentu menyebabkan jaringan lebih responsif terhadap persaingan nutrisi, sehingga hormon ini meningkatkan kemampuan jaringan untuk mengambil nutrisi dari sirkulasi. Namun, beberapa jaringan lebih responsif terhadap nutrisi dibandingkan dengan jaringan lain. Karena itu, untuk meningkatkan perkembangan jaringan, terkadang hormon sintetis digunakan. Injeksi tiroksin pada domba dimaksudkan untuk partisi nutrisi terutama untuk pertumbuhan wol daripada pertumbuhan otot. Hormon lain yang digunakan untuk ternak adalah Stilboestrol yang digunakan untuk menambah berat badan pada sapi. Namun, penggunaan hormon sintetis memiliki efek negatif bagi kesehatan manusia, sehingga penggunaannya sangat dibatasi bahkan dilarang di banyak negara.

1) Perkembangan dikaitkan dengan perbedaan tingkat pertumbuhan pada bagian tubuh tertentu.

Organ vital yang diperlukan untuk memelihara kehidupan hewan seperti jantung, paru- paru, dan usus berkembang lebih awal (pada tahap pertama kehidupan). Organ lain seperti puting dan organ reproduksi berkembang pada tahap kehidupan selanjutnya (relatif lebih lambat). Berdasarkan kondisi tersebut, maka tubuh sapi muda lebih banyak

mengandung tulang, usus dan organ jeroan lainnya yang kurang bermanfaat untuk dikonsumsi manusia.

- 2) Perkembangan berhubungan dengan pengaruh jenis kelamin hewan.

Jaringan tulang dan otot hewan jantan tumbuh dan menjadi lebih kuat dari pada betina. Betina memiliki tulang yang lebih pendek dan lebih tipis. Hewan betina juga memiliki otot yang lebih tipis tetapi mengandung lebih banyak lemak. Hormon reproduksi memiliki peran penting dalam mempengaruhi perkembangan yang pada akhirnya akan mempengaruhi komposisi jaringan baik pada jantan maupun betina. Hewan jantan yang dikebiri cenderung berkembang seperti betin di mana mereka memiliki tulang yang lebih tipis dan memiliki lebih banyak lemak.

- 3) Perkembangan sangat erat kaitannya dengan pengaruh faktor keturunan.

Keturunan atau genetik adalah pewarisan ciri-ciri dari satu generasi ke generasi berikutnya. Itulah alasan mengapa anakan terlihat seperti induk mereka. Galur tertentu dari hewan memiliki bagian jaringan dan organ yang berkembang lebih cepat daripada galur lain. Hewan yang memiliki laju pertumbuhan lebih cepat membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mencapai ukuran dewasa, sehingga disebut dewasa awal. Hewan ini dapat dipanen lebih cepat sehingga membutuhkan pakan yang lebih sedikit dibandingkan dengan hewan dewasa akhir. Jenis ternak tertentu tidak pernah mencapai ukuran dewasa. Jenis sapi India (*Bos indicus*) meskipun diberikan semua jenis pakan dan dipelihara sampai kapanpun tidak akan memiliki pinggang yang kokoh seperti yang terlihat di Hereford (bangsa sapi Eropa). Hewan dewasa yang terlambat biasanya memiliki keunggulan yaitu lebih tahan terhadap stres yang

disebabkan oleh iklim atau penyakit.

4) Perkembangan dikaitkan dengan pengaruh nutrisi.

Keseimbangan nutrisi yang tinggi akan memberikan dampak yang lebih besar pada jaringan dan organ yang tumbuh lebih lambat daripada yang tumbuh dengan cepat. Malnutrisi juga berdampak lebih besar pada jaringan atau organ yang tumbuh lambat daripada pada jaringan atau organ yang tumbuh cepat. Ternak yang mengalami kekurangan nutrisi masih memiliki kepala dan kaki yang besar karena organ-organ tersebut kurang dipengaruhi oleh keseimbangan nutrisi.

Keseimbangan nutrisi yang tinggi akan berdampak positif pada jaringan dan organ yang berkembang baik secara cepat maupun lambat. Keseimbangan nutrisi yang tinggi juga akan memaksimalkan karkas dan lemak yang dihasilkan. Keseimbangan nutrisi yang tepat di awal kehidupan akan menghasilkan pertumbuhan tulang dan otot yang baik, dan ketika kuantitas nutrisi berkurang pada tahap kehidupan selanjutnya, hewan masih menghasilkan karkas besar dengan kandungan lemak yang lebih sedikit.

5) Perkembangan berkorelasi dengan urutan sintesis lemak.

Lemak disimpan berturut-turut di sekitar usus dan ginjal, di luar tubuh (di bawah kulit), dan kemudian di sekitar kumpulan serat otot. Lemak usus pada sapi disebut lemak *caul* (selaput tipis lemak yang menutupi usus), lemak di ginjal disebut *suet*. Lemak subkutan membentuk tubuh menjadi bulat, terutama punggung dan bahu. Lemak yang terletak di sekitar kumpulan serat otot menyebabkan warna keputihan pada otot dan dikenal sebagai marbling (pada daging sapi), dan *streaky bacon* (pada babi). Lemak putih kaku hanya terbentuk dari pakan yang dikonsumsi ternak yang tidak mengandung lemak. Lemak pakan membuat

lemak karkas menjadi lunak, berwarna abu-abu atau kekuningan. Warna kuning akan lebih terlihat pada sapi tua, karena warna ini muncul dari karoten yang terdapat pada daun hijau. Karoten ini mungkin mengendap di jaringan lemak. Susu yang dihasilkan oleh sapi yang lebih tua akan lebih kuning karena karoten yang mengendap seiring waktu. Karkas hasil ternak yang cepat tumbuh dan diberi pakan pelet akan mengandung lemak dengan warna dan tekstur yang bagus.

C. Kualitas daging

Kualitas daging adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan berbagai karakteristik daging, sifat dan organoleptik daging. Kualitas dari daging bergantung pada sejumlah sifat organoleptik, termasuk penampilan (terdiri dari warna dan kandungan lemak), rasa, tekstur, dan kelembutan. Kualitas daging secara umum dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a) Komposisi karkas yaitu perbandingan antara tulang, otot dan lemak. Karkas yang disukai adalah karkas yang memiliki porsi tulang yang rendah dan porsi jaringan otot yang tinggi serta kandungan lemak yang cukup. Kehadiran lemak penting untuk kualitas daging karena jaringan ini akan mempengaruhi rasa daging.
- b) Perbandingan relatif atas bagian-bagian tubuh. Bagian otot seperti pinggang, tungkai dan panggul harus lebih tinggi, sedangkan leher dan dada harus relatif rendah.
- c) Ukuran sendi. Konsumen lebih menyukai karkas dengan porsi persendian yang lebih rendah.
- d) Distribusi lemak. Lemak tidak menumpuk di permukaan karkas (di bawah kulit) tetapi tersebar merata ke seluruh tubuh. Kandungan lemak bisa menentukan harga daging.

Karena leher dan dada memiliki kandungan lemak intermuskular yang tinggi, maka harga daging yang berasal dari organ tersebut relatif lebih murah dibandingkan dengan daging yang diperoleh dari loin yang memiliki kandungan lemak lebih rendah.

- e) Tekstur, rasa, dan warna daging.
- f) Komposisi kimiawi otot dan lemak. Otot harus mengandung sedikit air dan tinggi lemak (lemak *marbling*) karena lemak *marbling* dapat meningkatkan kelembutan (*tenderness*) daging.

Kualitas daging dapat ditingkatkan dengan memanipulasi laju pertumbuhan hewan. Dalam hal *tenderness* daging, perhatian khusus telah difokuskan pada manipulasi laju pertumbuhan dan *protein turnover* untuk mendapatkan manfaat *tenderness*. Konsep bahwa tingkat pertumbuhan dan kinetika protein merupakan faktor penentu dari *tenderness* muncul dari pengamatan bahwa pertumbuhan yang lebih cepat, dengan tingkat *protein turnover* yang tinggi, menghasilkan proporsi yang lebih rendah dari protein yang matang dalam otot. Juga, laju pertumbuhan yang cepat mendorong deposisi otot 'muda' di mana jaringan ikat kurang terstruktur. Pada akhirnya dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi positif antara *lean growth rate* dan *tenderness*.

3.3. PENUTUP

A. Rangkuman

Pola pertumbuhan pada hewan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain nutrisi dan genetik. Mirip dengan pertumbuhan, perkembangan juga dikaitkan dengan banyak faktor seperti nutrisi, genetik, jenis kelamin dan lain sebagainya.

B. Tes formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

- 1) Bagaimana jumlah anak (*litter size*) mempengaruhi aturan pertumbuhan hewan?
- 2) Bagaimana sifat hereditas mempengaruhi aturan pertumbuhan ayam kampung dan broiler?
- 3) Dapatkah Anda menjelaskan mengapa perkembangan jaringan tubuh tertentu (yang mengikuti urutan tertentu) dapat ditentukan oleh prioritas dan persaingan pasokan nutrisi?
- 4) Bisakah kita meningkatkan kualitas daging dengan menerapkan prinsip atau kaidah tumbuh kembang hewan?

C. Umpan balik

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang terdapat pada bagian akhir dari pokok bahasan ini. Hitunglah jawaban anda yang benar dan kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi belajar pada Bab III.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{4} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan materi yang anda capai:

90 – 100% = baik sekali;

80 – 89% = baik;

70 – 79% = cukup;

< 70% = kurang

D. Tindak lanjut

Apabila tingkat penguasaan anda mencapai 80% ke atas,

anda dapat meneruskan ke pokok bahasan IV. Tetapi bila tingkat penguasaan anda masih di bawah 80%, anda harus mengulangi kegiatan belajar pada pokok bahasan III, terutama bagian yang belum anda kuasai.

E. Kunci jawaban tes formatif

- 1) *Litter size* merupakan faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan hewan. Anak-anak yang dilahirkan dari induk yang memiliki *litter size* yang tinggi umumnya memiliki berat lahir lebih ringan dibandingkan dengan anak tunggal. Berat lahir yang rendah dapat menurunkan kemampuan individu hewan untuk beradaptasi atau bertahan hidup pada suhu dingin. Berat badan lahir yang rendah juga sering dikaitkan dengan tingkat pertumbuhan yang lebih lambat di kemudian hari.
- 2) Ayam kampung dan ayam broiler memiliki potensi genetik yang berbeda dalam hal pertumbuhan. Potensi laju pertumbuhan jauh lebih besar pada ayam broiler dibandingkan dengan ayam kampung. Sebagai catatan, faktor genetik menentukan karakteristik setiap spesies hewan, termasuk kemampuannya untuk tumbuh. Namun, faktor genetik tidak bersifat mutlak dalam mempengaruhi laju pertumbuhan pada ayam. Dalam hal ini, kualitas dan kuantitas pakan serta kondisi lingkungan juga menentukan laju pertumbuhan pada ayam.
- 3) Perkembangan jaringan tubuh tertentu pada hewan mengikuti urutan tertentu dan ditentukan oleh prioritas dan persaingan terhadap pasokan nutrisi. Secara umum, nutrisi lebih diprioritaskan untuk alokasi ke otak dan sistem saraf pusat dibandingkan dengan jaringan otot dan lemak. Kondisi yang demikian mengindikasikan bahwa deposisi lemak hanya akan terjadi ketika pasokan nutrisi telah melebihi

kebutuhan nutrisi untuk otak, sistem saraf, tulang dan otot dan juga untuk kebutuhan fetus jika hewan tersebut mengalami kebuntingan.

- 4) Secara umum, kualitas daging dapat diperbaiki dengan memodifikasi laju pertumbuhan hewan. Pertumbuhan yang lebih cepat, dengan tingkat *protein turnover* yang tinggi, menghasilkan proporsi protein ‘matang’ yang lebih rendah dalam otot. Laju pertumbuhan yang cepat juga mendorong deposisi otot ‘muda’ di mana jaringan ikat kurang terstruktur. Secara keseluruhan dapat diasumsikan bahwa ternak yang memiliki laju pertumbuhan cepat cenderung memiliki daging yang lebih *tender* (lembut).

Daftar Pustaka

- Ohsumi, Y. 2006. Critical Review: Protein Turnover. IUBMB Life, 58(5-6): 363-369.
- Owens, F.N., P. Dubeski and C.F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. J Anim Sci. 71:3138-3150.
- Pond, W.G. and K.R. Pond. 2000. Introduction to Animal Science. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Thu DTN. 2006. Meat quality: understanding of meat tenderness and influence of fat content on meat flavor. Science & Technology Development. 9(12): 2006.
- Wei, C. and J.W. Gregory. 2009. Physiology of normal growth. Paediatrics and Child Health. 19: 236-240.
- Wenk, C. 2002. Growth Promoter Alternatives after the Ban Antibiotics. CW 29.7.2002 - EAAP -3.9.2002
- Woods, D.L., A.F. Malan and H. de V. Heese. 1979. Patterns of retarded fetal growth. Early Human Development. 3:257-262.

BAB IV

KURVA PERTUMBUHAN

1.1. PENDAHULUAN

A. Deskripsi singkat

Pengukuran laju pertumbuhan berdasarkan pertambahan bobot badan per satuan waktu sangat bermanfaat untuk menunjukkan produktivitas ternak. Secara umum, kurva pertumbuhan banyak digunakan untuk menggambarkan laju pertumbuhan pada ternak, sehingga dapat digunakan sebagai alat untuk mengontrol manajemen pemeliharaan ternak. Kurva pertumbuhan biasanya berbentuk S, atau sigmoid, jika bobot hidup hewan pada periode tertentu diplot terhadap fungsi umur atau waktu pada kurva. Pengertian kurva pertumbuhan, bentuk dan penggunaan kurva pertumbuhan akan diuraikan lebih lanjut dalam pokok bahasan ini.

B. Relevansi

Pokok bahasan kurva pertumbuhan mengulas detail tentang definisi dan aplikasi kurva pertumbuhan pada ternak. Pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan ini akan membantu mahasiswa magister dalam mengukur laju pertumbuhan dan menggunakan kurva pertumbuhan sebagai sarana kontrol produktivitas ternak pada suatu peternakan.

C. Kompetensi

C.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan pokok bahasan ini mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan-permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

C.2. Kompetensi dasar

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa akan mampu mendemonstrasikan pemahamannya tentang manfaat kurva pertumbuhan bagi peternak. Mahasiswa juga akan mampu menginterpretasikan kurva pertumbuhan yang berbeda serta mampu mentransformasikan data pertumbuhan hewan menjadi kurva yang sesuai.

D. Petunjuk belajar

Selain membaca teori yang disajikan, mahasiswa juga disarankan untuk mengerjakan latihan soal yang ada pada buku ajar ini.

1.2. PENYAJIAN

A. Definisi kurva pertumbuhan

Pengertian pertumbuhan yang paling sederhana seperti yang dijelaskan sebelumnya adalah pertambahan masa tubuh dalam kurun waktu tertentu, yang akhirnya dikenal dengan istilah laju pertumbuhan. Definisi ini biasa digunakan dalam peternakan untuk mengekspresikan produktivitas ternak. Tingkat pertumbuhan yang lebih tinggi menunjukkan produktivitas ternak yang lebih tinggi. Pertumbuhan juga dapat dilihat sebagai reaksi kimia yang pada dasarnya menghasilkan sel yang berlipat ganda. Sebuah sel membelah menjadi dua, dua menjadi empat dan seterusnya. Ketika tidak ada faktor pembatas dan pembelahan sel terjadi secara konstan, peningkatan jumlah sel pada waktu tertentu dapat mengindikasikan peningkatan bobot hewan.

Pertumbuhan tidak hanya terjadi pada organisme multisel seperti ternak dan hewan lainnya, tetapi juga terjadi pada organisme uniseluler. Laju pertumbuhan organisme uniseluler dapat diukur berdasarkan jumlah sel dalam periode tertentu atau

satuan lainnya. Pada produksi ternak, ukuran pertumbuhan yang paling umum digunakan adalah peningkatan berat badan per unit waktu. Setiap spesies hewan memiliki karakteristik pertumbuhannya masing-masing terkait dengan bobot badan dewasa dan laju pertumbuhan rata-rata. Kurva pertumbuhan dapat digunakan untuk menggambarkan ukuran pertumbuhan baik berdasarkan jumlah sel dalam kurun waktu tertentu maupun penambahan bobot badan per satuan waktu. Perubahan berat badan dalam kurun waktu tertentu dapat diplotkan pada sumbu X dan Y untuk mendapatkan kurva yang sering disebut dengan kurva pertumbuhan normal.

B. Bentuk kurva pertumbuhan

Kurva pertumbuhan yang khas pada hewan melibatkan fase/periode peningkatan berat badan yang berakselerasi sendiri sejak lahir hingga pubertas. Selama fase ini (lahir hingga pubertas), hormon pertumbuhan bertanggung jawab atas proses pertumbuhan. Fase kedua pertumbuhan (pubertas hingga dewasa) memiliki tingkat kenaikan berat badan yang lebih rendah dan sebagian besar dikendalikan oleh hormon reproduksi yang berbeda. Pada kenyataannya, laju pertumbuhan tidak konstan. Hewan muda mengalami pertumbuhan yang cepat dan diikuti dengan pertumbuhan yang stabil secara terus menerus. Menjelang dewasa, laju pertumbuhan hewan menurun. Dengan demikian, kurva yang menunjukkan pertumbuhan hewan biasanya berbentuk S, atau sigmoid, jika bobot hidup hewan yang sebenarnya selama hidupnya diplotkan sebagai fungsi umur atau waktu pada grafik. Berdasarkan kurva tersebut, dapat diasumsikan bahwa pertumbuhan sebagai tripartit, dengan fase percepatan di awal (*self-accelerating phase*), diikuti oleh fase linier, dan akhirnya fase perlambatan saat hewan mencapai umur dewasa. Pada awalnya, sel telur yang telah dibuahi membelah

secara mitosis dengan sedikit atau tanpa penambahan masa. Namun, begitu ia memiliki sarana untuk melaksanakan metabolisme energi, pertumbuhan embrio akan semakin cepat. Peningkatan jumlah sel akibat pembelahan sel menyebabkan bagian kurva yang meningkat. Saat lahir dan menyapih mungkin ada perlambatan pertumbuhan sementara saat hewan beralih dari satu sumber nutrisi ke sumber nutrisi lainnya. Kecuali untuk sedikit akselerasi pada masa pubertas, pertumbuhan selanjutnya mempertahankan kecepatan rata-rata yang stabil sampai perlambatan akhir saat hewan mencapai ukuran dewasanya. Kurva pertumbuhan berbentuk 'S' umumnya berlaku untuk pertumbuhan semua organisme.

Ketika berat hewan diukur mulai dari konsepsi hingga penuaan, data biasanya mengikuti bentuk 'S' yang mendarat. Tetapi kurva pertumbuhan pada ternak (yang dipelihara untuk produksi daging) yang dipelihara dalam kondisi komersial, misalnya sapi yang dipelihara di feedlot, dapat muncul sebagai *slope* yang relatif datar (segmen tengah 'S' datar), dan bentuk sigmoid hanya dapat terlihat jika data mencakup pertumbuhan pada ternak yang masih sangat muda atau ternak di luar bobot pasar pada umumnya. Dengan kata lain, tingkat pertumbuhan kira-kira konstan selama periode pertumbuhan komersial.

Berat awal sapi adalah 550 kg dan pada pengukuran selanjutnya berat sapi tersebut adalah 560 kg. Artinya penambahan bobot sapi adalah 10 kg, dengan efisiensi $10/560 \times 100\% = 1,8\%$. Sapi lain memiliki bobot 340 kg saat pengukuran awal dan 350 kg di akhir penimbangan. Efisiensi pertumbuhan sapi ini oleh karena itu $10/350 \times 100\% = 2,8\%$. Dari sapi-sapi tersebut dapat kita lihat bahwa meskipun penambahan bobot kedua sapi tersebut adalah 10 kg, namun pertumbuhan sapi kedua lebih efisien dibandingkan dengan sapi pertama. Kurva sigmoid memiliki batasan pada kurva defleksi yang disebut titik infleksi.

Beberapa kurva pertumbuhan memiliki titik belok, di mana kenaikan berubah menjadi penurunan. Titik belok dapat menunjukkan tahapan penting kehidupan hewan, yaitu:

- Usia kematangan seksual.
- Tingkat pertumbuhan tertinggi.
- Efisiensi pertumbuhan tertinggi.
- Angka kematian terendah/kesehatan paling optimal.

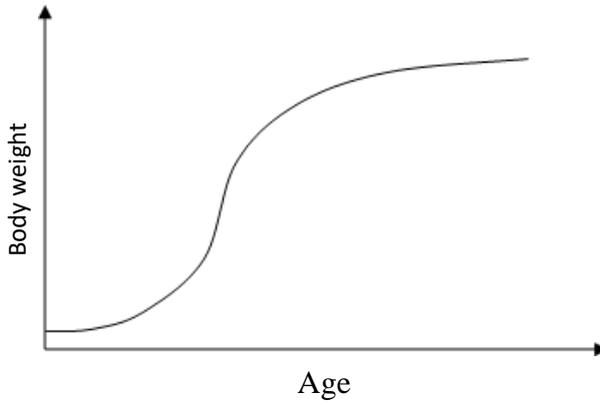
Brody (1945) menyimpulkan bahwa titik belok kurva pertumbuhan hewan bertepatan dengan permulaan pubertas dan ditambah dengan peningkatan proporsi penambahan lemak pada saat itu. Infleksi pertumbuhan dan permulaan pubertas ini disebut sebagai ‘Hukum Brody’.

Tabel 1 Pertumbuhan sapi Frisian Holstein (diadaptasi dari Brody, 1974)

Umur (bulan)	Bobot badan (kg)	Pertambahan bobot badan (kg)	Persentase (%)
1	45	-	-
2	62	17	37,5
3			
dst			
96	682		

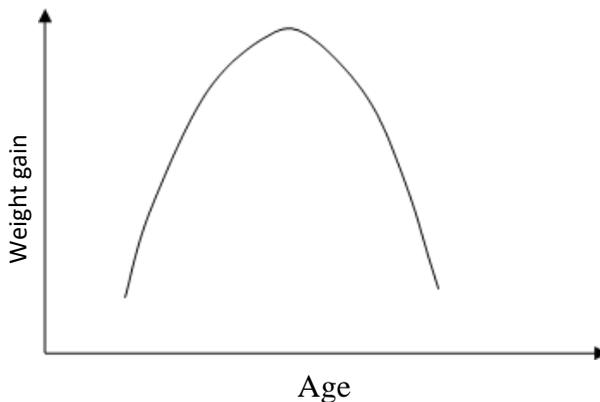
Dari data pertumbuhan yang disajikan pada tabel di atas, pertambahan bobot badan hewan dari waktu ke waktu dapat digambarkan sebagai:

- a) Pertambahan berat badan kumulatif, yang dikenal sebagai pertumbuhan absolut. Pertumbuhan (kurva sigmoid) diperoleh bila bobot badan diplot pada sumbu vertikal dan umur pada sumbu horizontal.



Ilustrasi 4 Kurva pertumbuhan absolut

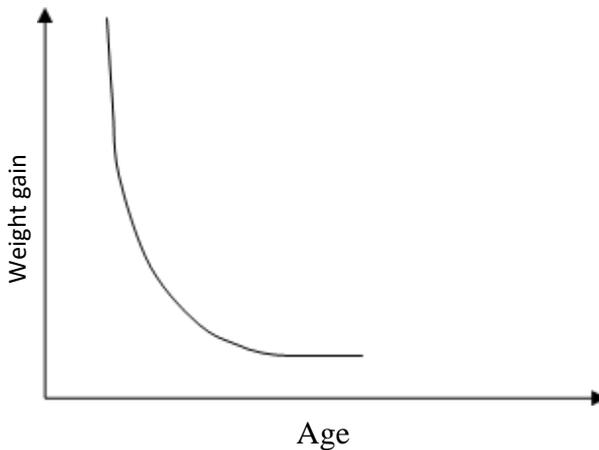
- b) Perubahan berat badan per satuan waktu yang dikenal dengan laju pertumbuhan. Jika perubahan berat badan dan satuan waktu diplot sebagai peningkatan berat badan kumulatif, kurva pertumbuhan juga akan diperoleh. Namun bentuk lekukannya berbeda, yaitu bentuk kerucut.



Ilustrasi 5 Kurva tingkat pertumbuhan

- c) Persentase kenaikan berat badan. Apabila perubahan berat badan yang diukur pada waktu tertentu dibandingkan dengan berat badan awal pada setiap waktu pengukuran awal, maka

akan diperoleh persentase pertambahan berat badan. Persentase pertambahan berat badan dapat digambarkan sebagai persentase pertumbuhan absolut untuk mendapatkan kurva. Bentuk kurva adalah bentuk 'J' tetapi terbalik menghadap ke kanan.



Ilustrasi 6 Persentase kurva kenaikan berat badan

C. Penggunaan kurva pertumbuhan

Pembuatan kurva pertumbuhan dapat berguna dalam mengevaluasi karakteristik pertumbuhan hewan. Berdasarkan kurva pertumbuhan, jeda waktu, waktu perkembangbiakan populasi ternak dan kepadatan (tingkat kepadatan kandang, sebagai faktor stres yang berpengaruh terhadap laju pertumbuhan) dapat ditentukan. Kurva pertumbuhan juga bermanfaat untuk melihat penurunan laju pertumbuhan dan efisiensi laju pertumbuhan pada hewan. Dalam produksi ternak, informasi kurva pertumbuhan penting karena dua alasan utama. Yang pertama adalah untuk mempelajari dan menentukan kebutuhan nutrisi dalam situasi produksi komersial yang sebenarnya. Yang kedua adalah untuk menguji aspek ekonomi

dari berbagai ransum pakan atau menentukan ekonomi marjinal untuk memperkirakan bobot potong yang optimal. Dengan demikian, peternak dapat menyesuaikan susunan ransum untuk ternak yang dipelihara sehingga strategi pemberian pakan dapat ditentukan guna meningkatkan profitabilitas ternak. Kurva pertumbuhan juga dapat membantu para peternak untuk mengevaluasi manajemen pemeliharaan ternak yang dilakukan. Dan juga dapat dimanfaatkan sebagai sarana evaluasi peternak pada kondisi tertentu (terdapat masalah), seperti ketika populasi ternak terlalu kecil atau kurus.

1.3. PENUTUP

A. Rangkuman

Produktivitas ternak dapat diukur berdasarkan penambahan bobot badan per satuan waktu. Secara umum, kurva pertumbuhan banyak digunakan untuk menggambarkan laju pertumbuhan pada ternak, sehingga dapat digunakan sebagai alat untuk mengontrol manajemen pemeliharaan ternak. Kurva pertumbuhan biasanya berbentuk S, atau sigmoid, jika bobot hidup hewan pada periode tertentu diplot terhadap fungsi umur atau waktu pada kurva.

B. Tes formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

- 1) Bagaimana kurva pertumbuhan dapat digunakan sebagai alat untuk mengontrol manajemen yang diterapkan dalam produksi ternak secara praktis?
- 2) Apakah semua fenomena pertumbuhan pada hewan mengikuti bentuk 'S'? Tolong jelaskan!
- 3) Bisakah Anda menjelaskan hubungan antara titik belok dalam kurva pertumbuhan dan 'Hukum Brody'!

- 4) Jelaskan apa yang dimaksud dengan pertumbuhan tidak bersifat konstan!

C. Umpan balik

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang terdapat pada bagian akhir dari pokok bahasan ini. Hitunglah jawaban anda yang benar dan kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi belajar pada Bab IV.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{4} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan materi yang anda capai:

- 90 – 100% = baik sekali;
80 – 89% = baik;
70 – 79% = cukup;
< 70% = kurang

D. Tindak lanjut

Apabila tingkat penguasaan anda mencapai 80% ke atas, anda dapat meneruskan ke pokok bahasan V. Tetapi bila tingkat penguasaan anda masih di bawah 80%, anda harus mengulangi kegiatan belajar pada pokok bahasan IV, terutama bagian yang belum anda kuasai.

E. Kunci jawaban tes formatif

- 1) Pertumbuhan merupakan ‘hasil atau konsekuensi’ dari proses pemeliharaan ternak dengan menerapkan sistem manajemen pemeliharaan tertentu. Laju pertumbuhan pada periode tertentu sejatinya dapat digambarkan dalam kurva pertumbuhan sehingga dapat ‘diikuti atau dimonitor’ oleh

peternak. Jika kurva yang terbentuk menyimpang dari kurva pertumbuhan standard, maka peternak dapat mengasumsikan bahwa prestasi pertumbuhan ternak yang dipelihara dibawah rata-rata pertumbuhan ternak sejenis. Melihat kondisi dimaksud, peternak dapat mengevaluasi manajemen pemeliharaan yang dijalankan apakah sudah sesuai dengan kebutuhan ternak atau tidak, sehingga dengan bermodal kurva pertumbuhan peternak dapat melakukan *adjustment* atau perubahan manajemen pemeliharaan yang diterapkan sehingga kurva pertumbuhan yang terbentuk dapat sesuai dengan standard yang diharapkan.

- 2) Secara normal (jika kondisi pakan dan lingkungan pemeliharaan baik/optimal) kurva pertumbuhan mengikuti bentuk 'S'. Namun, jika kondisi pakan dan lingkungan kurang optimal maka kurva pertumbuhan menjadi bergeser atau tidak membentuk huruf 'S' sempurna.
- 3) Hukum Brody menjelaskan bahwa titik belok pada kurva pertumbuhan hewan bertepatan dengan permulaan pubertas dan ditambah dengan peningkatan proporsi penambahan lemak pada saat itu. Infleksi pertumbuhan dan permulaan pubertas ini disebut sebagai 'Hukum Brody'.
- 4) Laju pertumbuhan pada hewan tidak bersifat konstan. Sebagai gambaran, hewan muda mengalami pertumbuhan yang cepat dan diikuti dengan pertumbuhan yang stabil secara terus menerus. Menjelang dewasa, laju pertumbuhan hewan menurun.

Daftar Pustaka

- Black, J.L. 1988. Animal Growth and Its Regulation. J Anim Sci. 66: 1-22
- Brameld, J.M., P.J. Buttery, J.M. Dawson, J.M. Harpe. 1998. Nutritional and hormonal control of skeletal-muscle cell

- growth and differentiation. *Proc Nutr Soc.* 57: 207-217.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth with Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals.* Hafner Press, Collier-Macmillan Canada, Ltd.
- Cunningham, J.G. and B.G. Klein. 2007. *Veterinary Physiology: Fourth Edition.* Saunders Elsevier
- D'Mello, J.P.F. 2000. *Farm Animal Metabolism and Nutrition.* CAB International, Wallingford, UK.
- Gilbert SF. 2000. *Developmental Biology.* 6th Ed. Sunderland (MA): Sinauer Associates. Goodband, B., S. Dritz, M.Tokach, and J. Nelssen. *Growth Curve Analysis: Practical Tools for Making Farm-Specific Decisions.* Department of Animal Sciences and Industry, Kansas State
- Hammond, F.R.S. 1950. *Measuring Growth in Farms Animals.* Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences.
- Hussaina, K. and M. Preeceb. 2006. *Applied physiology: Understanding growth.* *Current Paediatrics.* 16: 430-433.
- Moyes, C.D. and P.M. Schulte. 2008. *Principle of Animal Physiology.* 2nd Ed. Pearson Benjamin Cummings, San Francisco, USA.

BAB V

ASPEK KUANTITATIF PERTUMBUHAN

5.1. PENDAHULUAN

A. Deskripsi singkat

Secara umum, pertumbuhan dapat dilihat dari perubahan masa dan ukuran dari masing- masing hewan. Laju pertumbuhan hewan perlu diukur dengan tujuan untuk mengevaluasi performans dan produktivitas hewan. Aspek pertumbuhan kuantitatif mencakup penambahan bobot absolut per satuan waktu, penambahan bobot relatif per satuan waktu, bobot kumulatif, atau bobot pada waktu tertentu, dan lain sebagainya. Semua cara untuk menunjukkan kenaikan berat badan sebenarnya dapat dirumuskan melalui matematika konvensional. Beberapa persamaan yang mewakili aspek kuantitatif pertumbuhan pada hewan akan diuraikan secara singkat dalam bab ini bersama dengan filosofi persamaan tersebut. Bab ini juga memberikan beberapa contoh yang menjelaskan fenomena pertumbuhan dalam kondisi riil produksi ternak secara praktis.

B. Relevansi

Pokok bahasan ini membahas detail mengenai pendekatan matematis terhadap pertumbuhan pada ternak. Pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan ini akan membantu mahasiswa magister dalam mengkuantifikasi fenomena atau ‘prestasi’ pertumbuhan sebagai sarana kontrol dan optimasi pertumbuhan pada produksi ternak.

C. Kompetensi

C.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan pokok bahasan ini mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak

dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan-permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

C.2. Kompetensi dasar

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa akan mampu menganalisis fenomena pertumbuhan hewan dari sudut pandang matematika konvensional. Mahasiswa juga diharapkan mampu mengkuantifikasi pertumbuhan hewan dengan menggunakan model matematis untuk kemudian dapat digunakan untuk mengukur produktivitas serta untuk mengontrol manajemen yang diterapkan dalam praktik produksi ternak.

D. Petunjuk belajar

Selain membaca teori yang disajikan, mahasiswa juga disarankan untuk mengerjakan latihan soal yang ada pada buku ajar ini.

5.2. PENYAJIAN

A. Mengukur pertumbuhan

Pertumbuhan memiliki banyak pengertian tergantung dari aspek mana pertumbuhan tersebut didefinisikan. Untuk semua jenis hewan, perubahan bentuk tubuh mayoritas disebabkan oleh laju pertumbuhan yang berbeda-beda pada setiap bagian tubuh atau organ dari hewan. Selain digunakan untuk mengevaluasi pertumbuhan diferensial, pengukuran pertumbuhan sangat penting untuk penentuan rata-rata bobot badan pada ras dan umur tertentu dari berbagai jenis hewan. Penyimpangan dalam pengukuran dari nilai rata-rata untuk individu tertentu dapat digunakan sebagai metrik untuk mendeteksi, misalnya masalah nutrisi yang dapat mengganggu proses pertumbuhan.

Terkait dengan analisis/studi kuantitatif, pertumbuhan

dapat didefinisikan sebagai perubahan yang *irreversible* (relatif tidak dapat diubah) seiring dengan waktu dalam besaran dimensi atau fungsi yang dapat diukur. Konsep *irreversible* ditujukan untuk menghilangkan efek fluktuasi sumber daya dalam jangka waktu tertentu, seperti fluktuasi pasokan pakan yang dapat menyebabkan peningkatan (penggemukan) atau penurunan bobot badan. Peningkatan bobot badan biasanya digambarkan dengan metode sebagai berikut, yaitu 1) penambahan berat mutlak per satuan waktu, 2) penambahan berat badan relatif per satuan waktu, 3) berat kumulatif, atau berat badan pada waktu tertentu. Semua metode untuk menunjukkan kenaikan bobot badan dapat dirumuskan melalui model matematika konvensional. Dengan demikian, laju pertumbuhan absolut dari berbagai penimbangan, $W_2 - W_1$, dalam kaitannya dengan waktu yang berbeda, $t_2 - t_1$, dapat dinyatakan sebagai persamaan di bawah ini:

$$\text{Laju pertumbuhan absolut rata-rata} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan (1) merepresentasikan rata-rata tingkat pertumbuhan absolut, berbeda dengan tingkat pertumbuhan sebenarnya yang hanya berlaku untuk interval waktu yang sangat singkat. Ketika seekor sapi Holstein memiliki berat 1000 kg pada usia 1000 hari sejak pembuahan, sapi tersebut bertambah rata-rata satu kg sehari, namun tidak ada hari ketika sapi benar-benar bertambah tepat satu kg. Sebagai ilustrasi, pada akhir minggu pertama setelah pembuahan, sapi hanya memperoleh sekitar 0,0001 kg sehari. Pada 5 bulan setelah lahir, 2 kg sehari, pada 1000 hari, hanya seperempat kg sehari. Jadi konsep tingkat rata-rata, ketika diterapkan pada pertumbuhan, adalah sebuah abstraksi, dan ketika rata-rata meluas selama periode waktu yang

cukup lama, seperti dalam contoh yang dikutip, hal tersebut tidak memberikan gambaran tentang tingkat sebenarnya pada umur tertentu. Interval waktu yang lebih pendek untuk menghitung rata-rata, semakin dekat mendekati nilai aktual, dan ketika interval waktu lebih dipersingkat (sangat pendek), dt , hingga tidak ada perubahan pada tingkat pertumbuhan, tingkat pertumbuhan yang sebenarnya, dW/dt akan diperoleh. Jadi, tingkat pertumbuhan sebenarnya adalah tingkat pertumbuhan sesaat, dW/dt .

Dengan cara yang sama, laju pertumbuhan relatif (dikalikan dengan 100, persentase) secara konvensional dapat disajikan sebagai pertambahan bobot badan selama interval waktu tertentu dibagi dengan berat hewan, W_1 , pada awal interval waktu.

$$\text{Laju pertumbuhan relatif rata-rata} = \frac{W_2 - W_1}{W_1 \dots\dots\dots}(2)$$

Di sini, tidak terlihat laju pertumbuhan yang sebenarnya (*true growth rate*) ataupun laju pertumbuhan *instantaneous*, melainkan pertumbuhan konvensional (Minot). Persentase laju pertumbuhan konvensional dan laju pertumbuhan sebenarnya hampir identik ketika pertambahan berat badan, $W_2 - W_1$, sangat kecil dibandingkan dengan berat hewan. Tetapi ketika pertambahan berat badan relatif besar dibandingkan dengan berat badan hewan, laju pertumbuhan konvensional yang dihitung dari persamaan (2) dapat membingungkan, karena berat pada awal interval waktu, W_1 , sudah ada relatif lama, bukan pada saat observasi. Jadi persentase laju pertumbuhan populasi yang dihitung, sebaliknya ini akan sangat dibesar- besarkan jika peningkatan populasi dari 1666 hingga 1940 dikaitkan dengan

ukuran populasi pada 1666. Peningkatan populasi selama 1940 harus dikaitkan dengan ukuran populasi selama 1940, bukan selama 1666. Demikian pula, laju pertumbuhan relatif hewan pada usia tertentu harus benar-benar terkait dengan ukuran tubuh pada usia tertentu, bukan ukuran tubuh, W_1 , dari beberapa usia sebelumnya, t_1 .

Keberatan lain terhadap persamaan Minot (2) untuk menghitung tingkat persentase adalah kegagalannya untuk mengenali bahwa signifikansi fisiologis unit waktu fisik, seperti hari, berubah dengan cepat seiring bertambahnya usia. Laju pertumbuhan yang dihitung dengan persamaan (2) adalah untuk interval waktu fisiologis yang terus menurun, meskipun untuk interval waktu astronomi atau fisik yang konstan. Penggunaan kecepatan sesaat menghilangkan perbedaan antara waktu fisiologis dan fisik.

Penyebut yang lebih tepat adalah berat rata-rata organisme selama waktu pengamatan. Oleh karena bobot organisme pada interval waktu awal dan akhir pada baris W_1 dan W_2 , maka bobot rata-rata selama interval waktu tersebut adalah $\frac{1}{2} (W_2 - W_1)$. Penempatan W_1 pada persamaan (2) dengan $\frac{1}{2} (W_2 - W_1)$, menjadi:

$$\text{Laju pertumbuhan relatif rata-rata} = \frac{W_2 - W_1}{\frac{1}{2} (W_2 - W_1)} \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan (3) merupakan perbaikan dari persamaan (2), namun secara fisiologis masih belum terpenuhi, karena beberapa alasan: a) selang waktu, $t_2 - t_1$, bersifat berubah-ubah dan tidak secara fisiologis ekuivalen dengan tahap perkembangan hewan secara kontinyu; b) peningkatan bobot yang diasumsikan dengan metode ini ditambahkan pada interval waktu yang tidak

kontinyu; c) penyebut $\frac{1}{2} (W_2 - W_1)$ diperoleh dengan asumsi laju pertumbuhan terjadi secara linier, yang secara praktis hanya terjadi dalam selang waktu yang singkat. Pada kondisi penambahan bobot badan yang terbatas (ditentukan pada waktu tertentu), $(W_2 - W_1)/(t_2 - t_1)$, kita menggunakan pertambahan bobot badan *instantaneous*, dW/dt , dan membagi pertambahan sesaat dengan bobot pada saat penambahan, sebagai berikut:

$$\text{Instantaneous (true) relative growth rate} = \frac{dW/dt}{W} \dots \dots \dots (4)$$

Dalam konteks ini, penyebut W , menunjukkan bobot hewan pada saat laju dW/dt diukur, bukan bobot, W_1 , pada beberapa usia lebih awal.

Secara praktis akan sangat sulit mengukur laju pertumbuhan sesaat, karena interval waktu yang terbatas diperlukan untuk melakukan pengukuran. Tetapi jika memungkinkan, kesalahan pengukuran eksperimental akan lebih besar daripada pertambahan bobot badan *instantaneous*. Di sini abstrak matematika digunakan untuk memecahkan masalah praktis tersebut. Angka *infinitive* (tidak terbatas) dari laju *infinitesimal instantaneous* (sesaat yang sangat kecil) ditambahkan, atau diintegrasikan. Metode tersebut diuraikan secara simbolis dalam persamaan berikut:

$$\frac{dW}{dt} = kW \dots \dots \dots (5)$$

$$\int_A^W \frac{dW}{W} = k \int_0^t dt \dots \dots \dots (6)$$

$$\ln W = \ln A + kt \dots\dots\dots(7)$$

$$W = Ae^{kt} \dots\dots\dots(8)$$

Dalam persamaan di atas, dW/dt mewakili tingkat pertumbuhan absolut sesaat (dW/dt)/ W , dan k mewakili relatif sesaat, atau, jika dikalikan dengan 100, persentase laju pertumbuhan e adalah basis dari logaritma natural, $\ln W$ adalah logaritma natural dari bobot W pada waktu t , dan A adalah logaritma natural dari W jika $t = 0$.

Untuk keperluan penghitungan nilai numerik laju pertumbuhan relatif sesaat, k pada persamaan (8) dituliskan dalam bentuk:

$$k = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots(8a)$$

Artinya, laju pertumbuhan relatif sesaat, k , adalah selisih antara logaritma natural dari bobot W_2 dan W_1 , dibagi dengan interval waktu, $t_2 - t_1$. Dengan demikian, kegiatan yang secara praktis tidak mungkin untuk mengukur tingkat pertumbuhan sesaat dimungkinkan oleh perangkat matematika. Konstanta, k , memiliki arti yang terdefinisi dengan sempurna. Ini adalah tingkat pertumbuhan relatif sesaat untuk waktu tertentu. Untuk pertumbuhan tikus albino dari umur 14 hari (setelah pembuahan) sampai lahir nilai k adalah 0,53. Artinya persentase laju pertumbuhan sesaat sekitar 53% per hari atau $53 \times 30 = 1590\%$ per bulan, atau $53 \times 7 = 371\%$ per minggu, dan seterusnya. Konstanta A pada persamaan (8), secara teoritis bernilai W jika $t = 0$. Untuk tikus di atas, A ditemukan sebesar 0,00065 gram. Ini tidak berarti bahwa pada saat pembuahan, telur yang telah dibuahi memiliki berat 0,00065 gram, karena konstanta A

diperoleh hanya dari hari ke-14 hingga kelahiran saja, dan tidak dibenarkan untuk mengekstrapolasi nilai ini hingga saat pembuahan. Dengan demikian, meskipun A secara teoritis memiliki makna yang jelas, secara praktis tidak ada makna yang sebenarnya.

B. Fase *self-accelerating* dan *self-decelerating*

Saat pertumbuhan berlangsung, dua faktor berada dalam status “konflik”. Satu faktor mendorong pertumbuhan karena peningkatan jumlah unit sel yang mereplikasi, sedangkan faktor satunya membatasi pertumbuhan seperti kompleksitas atau pasokan pakan. Berdasarkan hal tersebut, secara logis dapat diterima bahwa kurva pertumbuhan berbentuk sigmoid, yang terdiri dari fase percepatan dan fase perlambatan (lihat bahasan sebelumnya). Mari kita merasionalisasi peningkatan *slope* pertumbuhan (fase percepatan) dengan bantuan prinsip aksi massa. Menurut prinsip ini, seperti yang digunakan dalam ilmu kimia (kecepatan reaksi kimia), bila kondisi lain sama/terkendali pertumbuhan akan sebanding dengan jumlah unit pertumbuhan yang tersedia atau ditambahkan (molekul, ion, dll.). Dalam bidang ekonomi, hal tersebut seperti prinsip bunga majemuk, dengan ‘bunga ditambahkan ke modal secara terus menerus dari waktu ke waktu’. Fase terakhir pertumbuhan adalah apa yang disebut fase penurunan kecepatan pertumbuhan yakni saat hewan mendekati berat dewasanya. Ini adalah fase di mana tubuh memiliki batas “intrinsik” untuk tumbuh, dimana secara bertahap hewan mengurangi konsumsi pakan untuk memenuhi kebutuhan baik untuk pemeliharaan/*maintencane* maupun pertumbuhan.

Seperti yang telah disebutkan di bagian sebelumnya, Samuel Brody (1945) menggambarkan fase percepatan pertumbuhan dalam persamaan berikut:

$$W = Ae^{kt} \dots\dots\dots (8b)$$

Fase penurunan kecepatan sendiri juga dapat diekspresikan dengan cara yang sama sebagai:

$$W_2 - W_1 = A(1 - e^{-k(t-t^*)}) \dots\dots\dots (9)$$

Perubahan bentuk kurva pertumbuhan tentu saja dapat disesuaikan dengan menggunakan serangkaian konstanta, meskipun semakin banyak konstanta yang digunakan semakin tidak jelas hubungan antar faktor biologis. Dalam periode waktu yang singkat, persamaan linier sederhana mungkin cukup, dan bahkan selama periode waktu yang lebih lama ketika terjadi perubahan laju pertumbuhan, persamaan kuadrat dapat memberikan kesesuaian yang sangat baik dengan data.

5.3. PENUTUP

A. Rangkuman

Pertambahan bobot absolut per satuan waktu, pertambahan bobot relatif per satuan waktu, bobot kumulatif, atau bobot pada waktu tertentu dapat diaplikasikan untuk menunjukkan kenaikan bobot badan ternak pada periode waktu tertentu. Namun, metode- metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, sehingga aplikasinya secara praktis harus tetap memperhatikan banyak faktor seperti waktu pengukuran.

B. Tes formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

- 1) Mengapa konsep ‘perubahan waktu’ sering digunakan untuk

mendefinisikan pertumbuhan sehubungan dengan analisis kuantitatif?

- 2) Seorang petani membeli 2 ekor sapi untuk dipelihara, kedua sapi tersebut saat itu 400 kg. Setelah 3 bulan (90 hari) bobot sapi pertama menjadi 1000 kg dan sapi kedua menjadi 800 kg. Bisakah Anda menghitung tingkat pertumbuhan absolut rata-rata dan tingkat pertumbuhan relatif rata-rata? Apa yang akan Anda sarankan kepada peternak sehubungan dengan fenomena pertumbuhan pada 2 ekor sapi tersebut?

C. Umpan balik

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang terdapat pada bagian akhir dari pokok bahasan ini. Hitunglah jawaban anda yang benar dan kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi belajar pada Bab V.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{2} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan materi yang anda capai:

90 – 100% = baik sekali;

80 – 89% = baik;

70 – 79% = cukup;

< 70% = kurang

D. Tindak lanjut

Apabila tingkat penguasaan anda mencapai 80% ke atas, anda dapat meneruskan ke pokok bahasan VI. Tetapi bila tingkat penguasaan anda masih di bawah 80%, anda harus mengulangi kegiatan belajar pada pokok bahasan V, terutama bagian yang belum anda kuasai.

E. Kunci jawaban tes formatif

- 1) Pertumbuhan merupakan fenomena kuantitatif yang melibatkan perubahan ukuran dan berat dari hewan. Konsep 'perubahan waktu' sering dikaitkan dengan fenomena pertumbuhan. Hal tersebut terkait dengan prinsip pertumbuhan yang merupakan fungsi dari waktu, artinya akan terjadi perubahan ukuran dan berat dari hewan seiring dengan waktu pemeliharaan. Konsep *irreversible* juga seringkali dikaitkan dengan pertumbuhan. Hal tersebut ditujukan untuk menghilangkan efek fluktuasi faktor pendukung pertumbuhan terutama pakan.
- 2) Setelah dilakukan kalkulasi diketahui bahwa sapi pertama menunjukkan pertumbuhan absolut sebesar 6,67 kg per hari dan pertumbuhan relatif rata-rata 150%. Sapi kedua memiliki rataan pertumbuhan absolut sebesar 4,44 kg per hari dan pertumbuhan relatif rata-rata 100%. Berdasarkan fenomena pertumbuhan tersebut maka diketahui bahwa sapi pertama memiliki performa pertumbuhan lebih baik dibandingkan dengan sapi kedua. Disarankan kepada peternak untuk dapat melihat umur sapi bakalan yang akan digemukkan karena umur terkait erat dengan kecepatan pertumbuhan dari sapi. Faktor pendukung pertumbuhan seperti pakan dan lingkungan juga harus diperhatikan kualitasnya sehingga dapat menyokong pertumbuhan sapi dengan maksimal.

Daftar Pustaka

- Brameld, J.M., P.J. Buttery, J.M. Dawson, J.M. Harpe. 1998. Nutritional and hormonal control of skeletal-muscle cell growth and differentiation. *Proc Nutr Soc.* 57: 207-217.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth with Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic*

- Animals. Hafner Press, Collier-Macmillan Canada, Ltd.
- Gilbert SF. 2000. Developmental Biology. 6th Ed. Sunderland (MA): Sinauer Associates. Goodband, B., S. Dritz, M.Tokach, and J. Nelssen. Growth Curve Analysis: Practical Tools for Making Farm-Specific Decisions. Department of Animal Sciences and Industry, Kansas State
- Hammond, F.R.S. 1950. Measuring Growth in Farms Animals. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences.
- Hussaina, K. and M. Preeceb. 2006. Applied physiology: Understanding growth. Current Paediatrics. 16: 430-433.
- Moyes, C.D. and P.M. Schulte. 2008. Principle of Animal Physiology. 2nd Ed. Pearson Benjamin Cummings, San Francisco, USA.

BAB VI

APLIKASI MODEL MATEMATIKA PERTUMBUHAN

6.1. PENDAHULUAN

A. Deskripsi singkat

Secara umum bobot badan ternak merupakan fungsi atau konsekuensi matematis dari pertumbuhan dan waktu. Kurva pertumbuhan seringkali digunakan oleh peneliti untuk memudahkan dalam memahami fenomena pertumbuhan pada ternak. Dalam hal ini, kurva pertumbuhan dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan pakan, mengevaluasi respon seleksi, memprediksi bobot badan, menentukan umur panen dan menentukan titik infleksi. Terdapat beberapa model matematika yang dapat digunakan untuk memberi gambaran mengenai fenomena pertumbuhan atau kurva pertumbuhan pada ternak. Model-model matematis tersebut oleh peternak maupun peneliti dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kebutuhan pakan, mengevaluasi respon seleksi, memprediksi bobot badan, menentukan umur panen dan menentukan titik infleksi. Di antara model-model matematis tersebut, model atau kurva pertumbuhan Logistik dan Gompertz adalah yang paling banyak diaplikasikan oleh peneliti di bidang peternakan.

B. Relevansi

Pokok bahasan ini membahas detail mengenai model matematika yang dapat digunakan untuk mempresentasikan kurva pertumbuhan pada ternak, diantaranya model regresi linier, Logistik dan Gompertz. Pemahaman yang baik mengenai pokok bahasan ini akan membantu mahasiswa magister dalam mengevaluasi pola pertumbuhan pada ternak dan dapat menggunakan model matematis sebagai “tools” untuk mengevaluasi performa pertumbuhan pada ternak.

C. Kompetensi

C.1. Standar kompetensi

Setelah menyelesaikan pokok bahasan ini mahasiswa akan mampu merencanakan riset di bidang pertumbuhan ternak dengan mensimulasikan, menganalisis dan mengintegrasikan teori-teori mengenai pertumbuhan pada ternak dan permasalahan-permasalahan dalam aspek pertumbuhan ternak.

C.2. Kompetensi dasar

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa akan mampu menggunakan model matematika untuk membuat kurva pertumbuhan pada ternak. Mahasiswa juga diharapkan mampu mengevaluasi performa pertumbuhan ternak berdasarkan kurva pertumbuhan yang telah dibuat.

D. Petunjuk belajar

Selain membaca teori yang disajikan, mahasiswa juga disarankan untuk mengerjakan latihan soal yang ada pada buku ajar ini.

6.2. PENYAJIAN

A. Model regresi pertumbuhan

Secara definisi, regresi merupakan metode analisis statistik yang digunakan untuk melihat pengaruh antara dua atau lebih peubah atau variabel. Pada model regresi harus terdapat variabel “yang ditentukan” dan variabel “yang menentukan” atau dengan kata lain ada ketergantungan antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya. Untuk menentukan bentuk hubungan (model) diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas (variabel yang menentukan) yang diberi simbol X dan variabel tak bebas (variabel yang ditentukan) yang diberi

simbol Y . Hubungan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk persamaan yang menghubungkan variabel bebas X dengan variabel tidak bebas Y . Adapun persamaan regresi linier sederhana:

$$Y = a + bX + \varepsilon$$

Analisis regresi merupakan model matematika yang banyak digunakan untuk mengestimasi suatu peubah berdasarkan peubah lainnya berdasarkan hubungan kuantitatif antara kedua peubah tersebut. Berdasarkan bentuk hubungan antara dua atau lebih peubah, regresi dikelompokkan menjadi regresi linier dan non linier. Pada regresi linier, secara matematis antara masing-masing peubah memiliki gambaran hubungan garis lurus dalam sistem koordinat kartesius. Pada regresi non linier, antara peubah satu dengan peubah yang lainnya tidak memiliki hubungan garis lurus ketika berada dalam sistem koordinat kartesius. Analisis atau model regresi banyak diaplikasikan untuk membantu peternak atau peneliti di bidang peternakan dalam menentukan pola pertumbuhan ternak, melakukan asesmen terhadap performa pertumbuhan ternak dan juga dalam menyiapkan program pembibitan ternak.

Pada pertumbuhan ternak, hubungan antara umur dan bobot badan memiliki kurva pertumbuhan yang tidak bersifat konstan, sehingga bila dilakukan analisis regresi antara kedua peubah tersebut maka yang paling cocok adalah analisis regresi non linier. Yang menjadi pertanyaan apa yang terjadi jika menggunakan analisis regresi linier untuk membuat kurva pertumbuhan pada ternak. Sejatinya terdapat kelemahan jika menggunakan model linier yakni kurva pertumbuhan seolah-olah menggambarkan pertumbuhan tidak mengenal kapan laju

pertumbuhan akan mulai berkurang sehingga model regresi yang diperoleh kurang valid untuk dijadikan penduga bobot badan. Penggunaan model linier untuk membuat kurva pertumbuhan sering menimbulkan salah penafsiran seolah-olah pertumbuhan ternak bersifat linier dan positif. Model linier tidak mengenal laju pertumbuhan yang akan mulai berkurang setelah mengalami titik infleksi yang biasanya terjadi pada saat pubertas. Penelitian pada domba menunjukkan bahwa pertumbuhan anak domba sampai dengan umur 3 bulan bersifat linier sedangkan di atas umur tersebut laju pertumbuhan cenderung mengikuti pola non linier.

B. Kurva pertumbuhan Logistik dan Gompertz

Kurva pertumbuhan pada ternak dapat diestimasi menggunakan model regresi linier dan non-linier. Kurva pertumbuhan non-linier terdiri dari beberapa model yaitu Logistik, Gompertz, Brody, Weibull, Morgan-Mercer-Flodien (MMF), Richards Von Bertalanffy dan Polynomial. Model kurva pertumbuhan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi dan simpangan baku (SB) terendah merupakan model kurva yang terbaik sehingga sangat akurat untuk evaluasi ternak. Meskipun memiliki beberapa persamaan, model-model pertumbuhan tersebut memiliki tingkat akurasi dalam menduga bobot badan yang berbeda. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis atau komparasi terhadap aplikasi model-model pertumbuhan tersebut pada jenis ternak dan lingkungan yang berbeda. Model Gompertz dan Logistik merupakan dua jenis model pertumbuhan yang luas digunakan oleh peneliti untuk mendapatkan atau memprediksi model kurva pertumbuhan pada ternak. Beberapa studi lebih lanjut melaporkan bahwa model kurva pertumbuhan Logistik dan Gompertz memiliki akurasi yang baik untuk memprediksi bobot badan pada ternak.

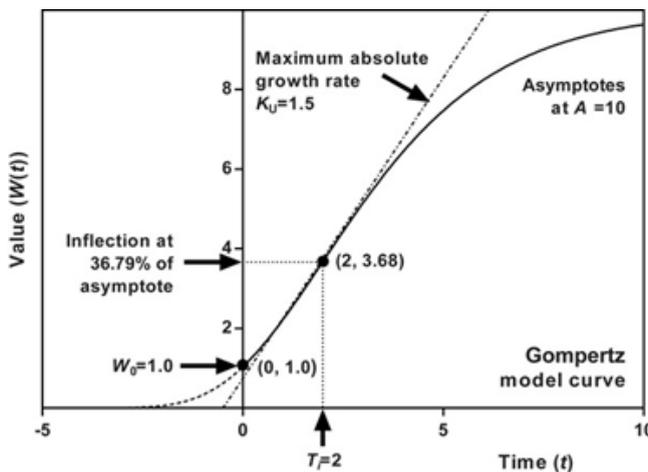
Model pertumbuhan kurva Gompertz merupakan model

pertumbuhan non linier yang dapat digunakan dalam pendugaan kurva pertumbuhan hewan ternak. Model pertumbuhan kurva Gompertz mempunyai kelebihan dalam tingkat keakuratan dan memiliki interpretasi yang baik dalam menjelaskan mengenai bobot tubuh, diantaranya terjadinya titik infleksi dan bobot infleksi. Walaupun tidak seakurat model Richard dan semudah model Brody. Model matematik kurva pertumbuhan Gompertz adalah sebagai berikut :

$$\omega = \alpha \exp \{-\beta e^{-kt}\}$$

dimana:

- α : bobot badan tubuh (asimtot) yaitu pada nilai t mendekati tak hingga
- β : parameter skala (nilai konstanta integral)
- \exp : logaritma dasar (2,30259)
- k : rata-rata laju pertumbuhan
- ω : ukuran bobot tubuh ternak pada waktu t
- t : satuan waktu (umur ternak dalam hari)



Ilustrasi 7 Model gompertz pada pertumbuhan ternak

Dengan menggunakan kaidah logistik (*logistic law*) bahwa persediaan logistik memiliki batas, model ini mengasumsikan bahwa pada masa tertentu jumlah populasi akan mendekati titik kesetimbangan (*equilibrium*). Pada titik ini jumlah kelahiran dan kematian dianggap sama, sehingga grafiknya akan mendekati konstan (*zero growth*). Secara umum laju pertumbuhan yang bergantung pada suatu populasi, dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\alpha}{\{1 + \beta \exp^{-kt}\}}$$

dimana

- α : bobot badan tubuh (asimtot) yaitu pada nilai t mendekati tak hingga
- β : parameter skala (nilai konstanta integral)
- \exp : logaritma dasar (2,30259)
- k : rataan laju pertumbuhan hingga ternak mencapai dewasa tubuh
- ω : ukuran bobot tubuh ternak pada waktu t
- t : satuan waktu (umur ternak dalam hari)

Laju pertumbuhan model pertumbuhan logistik untuk ($k > 0$) dapat dinyatakan dengan turunan pertama dari model pertumbuhan logistik sebagai berikut:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k\omega(\alpha - \omega)}{\alpha}$$

Penurunan rumus didapatkan untuk melakukan

pendugaan ukuran bobot tubuh sekarang dan pertumbuhan yang akan datang, α dinyatakan dengan nilai bobot tubuh. Interpretasi biologis parameter dalam kurva pertumbuhan sebagai berikut:

$$Y = \frac{A}{(1 + e^{-kt})^M}$$

dimana

- A : nilai asimtot merupakan nilai t menuju tak hingga, secara umum dapat diinterpretasikan sebagai rata-rata bobot tubuh pada saat ternak telah mencapai dewasa terlepas dari fluktuasi karena faktor lingkungan
- M : parameter yang berfungsi sebagai penentu bentuk kurva untuk membantu dalam penentuan titik infleksi
- K : parameter yang menunjukkan rata-rata laju pertumbuhan menuju bobot dewasa. Ternak dengan nilai k besar, maka ternak tersebut mempunyai kecenderungan bobot dewasa dini (cepat mencapai bobot dewasa)
- e : bilangan natural (2,718282)
- Y : proporsi kedewasaan ternak
- t : adalah satuan waktu (umur)

Model Logistik merupakan model kurva pertumbuhan berbentuk S yang simetris dengan titik infleksinya. Sedangkan model Gompertz merupakan model kurva pertumbuhan yang berbentuk S tetapi tidak simetris dengan titik infleksinya. Kedua model pertumbuhan ini mempunyai kelebihan dalam tingkat keakuratan dan mempunyai interpretasi biologis yang baik dalam menjelaskan fenomena biologis diantaranya terjadinya bobot titik infleksi. Berdasar kondisi tersebut, kedua model

pertumbuhan tersebut sering digunakan dalam penelitian pola pertumbuhan dan bobot tubuh ternak.

Pemeriksaan keakuratan model dilakukan menggunakan koefisien determinasi (R^2), koefisien disesuaikan (R^2_{ad}) dan *Akaike's Information Criterion (AIC)*. Koefisien determinasi (R^2) dilakukan untuk mengukur proporsi keragaman yang dapat dijelaskan oleh model. *AIC* bukanlah alat uji hipotesis, melainkan sebagai alat ukur untuk memperoleh model yang terbaik dengan melihat nilai *AIC* yang paling minimum. Titik infleksi merupakan titik maksimum pertumbuhan bobot hidup. Pada titik tersebut terjadi peralihan perubahan yang semula percepatan pertumbuhan menjadi perlambatan pertumbuhan. Pada titik tersebut menurut Brody merupakan saat dimana ternak tersebut mengalami pubertas. Waktu saat tercapainya titik infleksi adalah saat yang paling ekonomis dari ternak karena pada waktu tersebut tingkat mortalitas ternak berada pada titik terendah dan pertumbuhan paling cepat. Penentuan titik infleksi secara biologis sulit untuk ditentukan namun dengan bantuan kurva pertumbuhan tak linier masalah tersebut dapat dipecahkan.

Nilai parameter M adalah kurva pertumbuhan sangat berperan dalam penentuan titik terjadinya infleksi. Model *Brody* yang mempunyai nilai $M = 1$ tidak mempunyai titik infleksi, sedangkan kurva model Gompertz mempunyai titik infleksi yang tetap. Namun hal tersebut kurang dapat diterima berdasarkan biologis sehingga diformulasikan kurva model Logistik yang mempunyai nilai M berupa angka dan berbeda tiap individu atau populasi yang lebih bisa diterima secara biologis. Waktu infleksi dan bobot infleksi untuk model Logistik dan Gompertz adalah sebagai berikut:

Model	Bobot Infleksi (UI)	Waktu Infleksi (tI)
Logistik	$e-1 = 0,368$	$\frac{(\ln\beta)}{k}$
Gompertz	$\left(\frac{M}{M+1}\right)^M$	$\frac{(\ln M)}{k}$

dimana

β : nilai skala parameter (konstanta integral)

e : bilangan natural ($e = 2,718282$)

k : rataan laju pertumbuhan menuju dewasa tubuh

M : nilai yang berfungsi dalam pencarian titik infleksi (bentuk kurva)

Titik infleksi dan pertumbuhan yang terjadi didapatkan dengan penurunan model matematik kurva logistik sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{A}{1 + Be^{-kt}}, \text{ dimana } B = \left(\frac{A}{A_0} - 1\right)$$

Dengan menggunakan konsep turunan pertama dan kedua maka, fungsi logistik $f'(t)$ dan $f''(t)$ dimana $t = a$ sebagai berikut :

$$f'(t) = k f(t) \left[1 - \frac{f(t)}{A}\right]$$

$$f''(t) = k f(t) \left[1 - \frac{2f(t)}{A}\right]$$

$$f''(t) = 0 \Leftrightarrow \left[1 - \frac{2f(t)}{A}\right] = 0 \Leftrightarrow f(t) = \frac{A}{2}$$

$$a = \left(\frac{1}{k}\right) \log \left(\frac{A}{A_0} - 1\right)$$

Persamaan terakhir merupakan titik infleksi dari model pertumbuhan Logistik. Dengan titik $f''(a) = 0$ dan juga $f''(t) < 0$ dan $f''(t) > 0$ untuk kenaikan dan penurunan diantara titik infleksi. Oleh karena itu, kurva Logistik memiliki titik awal yang terjadi ketika pertumbuhan berada di antara titik akhir pertumbuhan $f(a) = \frac{A}{2}$ dengan a diperoleh dari persamaan di atas.

Titik infleksi pada kurva pertumbuhan Gompertz terjadi pada saat titik dimulai dari $f''(a) = 0$ dan juga pada penurunan dan kenaikan titik $f''(t) < 0$ dan $f''(t) > 0$ sampai $1/e$ dari bobot waktu t . Dengan mencari turunan pertama dan kedua dari model pertumbuhan Gompertz yang dinyatakan sebagai

$$f(t) = Ae^{-B \exp(-kt)} \text{ dimana } B = \log \frac{A}{A_0} \text{ maka}$$

$$f'(t) = k f(t) \log \left(\frac{A}{A_0} \right)$$

$$f''(t) = k f'(t) \left[\log \left(\frac{A}{f(t)} \right) - 1 \right]$$

$$f''(t) = 0 \Leftrightarrow \left[\log \left(\frac{A}{f(t)} \right) - 1 \right] = 0 \Leftrightarrow f(t) = \frac{1}{e} A$$

$$a = \left(\frac{1}{k} \right) \log \left\{ \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \right\}$$

dimana

$f(t)$: rata-rata fungsi pertumbuhan. Dimana $t = a$

t : waktu atau umur amatan

6.3. PENUTUP

A. Rangkuman

Terdapat beberapa model matematika yang dapat digunakan untuk memberi gambaran mengenai fenomena pertumbuhan atau kurva pertumbuhan pada ternak. Model-model

matematis tersebut oleh peternak maupun peneliti dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kebutuhan pakan, mengevaluasi respon seleksi, memprediksi bobot badan, menentukan umur panen dan menentukan titik infleksi. Di antara model-model matematis tersebut, model atau kurva pertumbuhan Logistik dan Gompertz adalah yang paling banyak diaplikasikan oleh peneliti di bidang peternakan.

B. Tes formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

- 1) Mengapa model regresi linier kurang cocok untuk menggambarkan fenomena pertumbuhan pada ternak?
- 2) Mengapa model pertumbuhan Gompertz dan Logistik sering menjadi pilihan peneliti di bidang peternakan untuk menunjukkan fenomena pertumbuhan pada ternak?

C. Umpan balik

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang terdapat pada bagian akhir dari pokok bahasan ini. Hitunglah jawaban anda yang benar dan kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi belajar pada Bab VI.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{2} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan materi yang anda capai:

90 – 100% = baik sekali;

80 – 89% = baik;

70 – 79% = cukup;

< 70% = kurang

D. Tindak lanjut

Apabila tingkat penguasaan anda masih di bawah 80%, anda harus mengulangi kegiatan belajar pada pokok bahasan V, terutama bagian yang belum anda kuasai.

E. Kunci jawaban tes formatif

- 1) Penggunaan model linier untuk menggambarkan fenomena pertumbuhan (kurva pertumbuhan) ternak dapat menimbulkan salah penafsiran seolah-olah pertumbuhan ternak bersifat linier dan positif. Model linier tidak mempertimbangkan bahwa laju pertumbuhan mulai berkurang setelah mengalami titik infleksi yang biasanya terjadi pada saat pubertas.
- 2) Model Gompertz dan Logistik merupakan dua jenis model pertumbuhan yang paling banyak digunakan oleh peneliti di bidang peternakan untuk mempresentasikan kurva pertumbuhan pada ternak. Dibandingkan dengan model linier, model kurva pertumbuhan Logistik dan Gompertz memiliki akurasi yang lebih baik untuk memprediksi bobot badan pada ternak.

Daftar Pustaka

- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth with Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals*. Hafner Press, Collier-Macmillan Canada, Ltd.
- Tjørve, K.M.C., Tjørve, E. 2017. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. *PLoS ONE* 12(6): e0178691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178691>
- Ilham, F. 2017. *Pertumbuhan Pra dan Pasca Sapih Domba Lokal pada Padang Penggembalaan di Musim yang Berbeda*.

Zahr Publishing, Yogyakarta.

- Haki, M.Y. 2019. Pendugaan bobot badan ternak kambing betina berdasarkan ukuran linear tubuh di Desa Boronubaen Kecamatan Biboki Utara Kabupaten Timor Tengah Utara. *Journal of Animal Science*. 4(4): 46-49.
- Saputra, F., Anggraeni, A., Praharani, L., Ishak, A.B.L. 2020. Model Regresi Linier dan Kuadratik dalam Menduga Pertumbuhan Anak Kambing Sapera. *Pros.Semnas.TPV-2020*-p.358-364.
- Widyas, N., Prastowo, S., Widi, T.S.M., Baliarti, E. 2018. Predicting Madura cattle growth curve using non-linear model. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 142 (2018) 012006

BIOGRAFI PENULIS



Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. lahir di Rembang, 19 Mei 1980. Menyelesaikan Sekolah Dasar, Madrasah Tsanawiyah dan Sekolah Menengah Umum di Kabupaten Rembang, dan memperoleh gelar Sarjana Peternakan dari Jurusan Produksi Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro Semarang. Penulis mendapatkan gelar Master of Science dalam bidang Agrobiology (Animal Health and Welfare) dan Doctor of Philosophy dalam bidang Animal Science (Immunology and Microbiology) dari University of Aarhus Denmark. Penulis merupakan staf pengajar di Laboratorium Fisiologi dan Biokimia, Departemen Peternakan, Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro sejak tahun 2006 hingga saat ini.



diterbitkan oleh :
**UNDIP PRESS
SEMARANG**

ISBN 978-979-097-818-8



9

789790

978188

