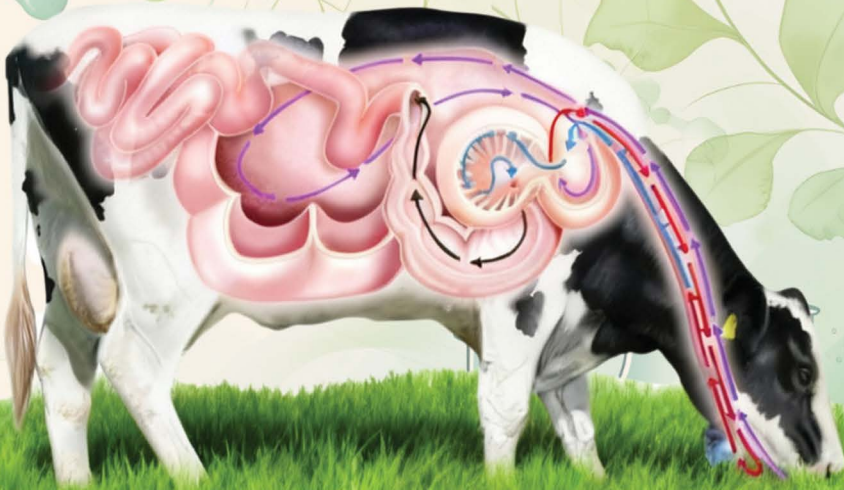




NUTRISI DAN BIOLOGI RUMEN



Prof. Dr. Ir. Hamdi Mayulu, S.Pt., M.Si., IPU.

NUTRISI_{DAN} BIOLOGI RUMEN

NUTRISI_{DAN} BIOLOGI RUMEN

Prof. Dr. Ir. Hamdi Mayulu, S.Pt., M.Si., IPU.



RAJAWALI PERS
Divisi Buku Perguruan Tinggi
PT RajaGrafindo Persada
DEPOK

Hak cipta 2025, pada penulis

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun,
termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit

01.2025.00734.002.001

Prof. Dr. Ir. Hamdi Mayulu, S.Pt., M.Si., IPU.

NUTRISI DAN BIOLOGI RUMEN

xxviii, 192 hlm., 23 cm.

ISBN 978-623-08-2156-1

Cetakan ke-1, Januari 2026

Hak penerbitan pada Rajawali Pers, Depok

Copy Editor : Indi Vidyafi

Setter : Ratu Mucharani

Desain Cover : Tim Kreatif RGP

Dicetak di Rajawali Printing

RAJAWALI PERS

PT RAJAGRAFINDO PERSADA

Anggota IKAPI

Kantor Pusat:

Jl. Raya Leuwinanggung, No.112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Kota Depok 16456

Telepon : (021) 84311162

E-mail : rajapers@rajagrafindo.co.id

<http://www.rajagrafindo.co.id>

Perwakilan:

Jakarta-16456 Jl. Raya Leuwinanggung No. 112, Kel. Leuwinanggung, Kec. Tapos, Depok, Telp. (021) 84311162.
Bandung-40243, Jl. H. Kurdi Timur No. 8 Komplek Kurdi, Telp. 022-5206202. **Yogyakarta**-Perum. Pondok Soragan Indah Blok A1, Jl. Soragan, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul, Telp. 0274-625093. **Surabaya**-60118, Jl. Rungkut Harapan Blok A No. 09, Telp. 031-8700819. **Palembang**-30137, Jl. Macan Kumbang III No. 10/4459 RT 78 Kel. Demang Lebar Daun, Telp. 0711-445062.
Pekanbaru-28294, Perum De' Diandra Land Blok C 1 No. 1, Jl. Kartama Marpoyan Damai, Telp. 0761-65807. **Medan**-20144, Jl. Eka Rasmi Gg. Eka Rossa No. 3A Blok A Komplek Johor Residence Kec. Medan Johor, Telp. 061-7871546. **Makassar**-90221, Jl. Sultan Alauddin Komp. Bumi Permata Hijau Bumi 14 Blok A14 No. 3, Telp. 0411-861618. **Banjarmasin**-70114, Jl. Bali No. 31 Rt 05, Telp. 0511-3352060. **Bali**, Jl. Imam Bonjol Gg 100/V No. 2, Denpasar Telp. (0361) 8607995. **Bandar Lampung**-35115, Perum. Bilabong Jaya Blok B8 No. 3 Susunan Baru, Langkapura, Hp. 081299047094.



PRAKATA

Alhamdulillah Rabbil 'alamiin, segala puji dan syukur bagi Allah Azza Wajalla, yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran penulis dalam menyelesaikan buku dengan judul *Nutrisi dan Biologi Rumen*. Ruang lingkup pembahasan utama dalam buku yang telah disusun terkait dengan rumen dan keanekaragaman mikrobioma yang ada di dalamnya sebagai ciri utama ruminansia. Komunitas mikroba yang beragam beradaptasi dengan berbagai macam bahan pakan dan strategi pengelolaan. Memahami komposisi, adaptasi, fungsi, interaksi kompleks antara mikroba dan inang, serta prospek mikroba rumen memiliki implikasi global dari klimatologi hingga produksi ruminansia yang berkelanjutan. Penulisan buku bertujuan agar mampu memberikan pemahaman kepada pembaca terkait ruang lingkup rumen dan keanekaragaman mikrobioma serta keterkaitannya dengan nutrisi dalam produksi ruminansia. Pemahaman dimaksud, terutama bagi akademisi dalam mengembangkan keilmuannya dan praktisi industri dan siapa pun yang menjalankan produksi ruminansia. Kesempurnaan merupakan hal yang sulit terukur, dan pada kesempatan yang baik, ucapan terima kasih penulis haturkan kepada semua pihak yang terlibat memberikan sumbang saran, dan keikhlasan membantu dalam proses penyelesaian buku ini.

Penulis menyadari bahwa buku yang disusun jauh dari harapan, dan terdapat banyak kekurangan. *Biidznillah* terbitnya buku *Nutrisi dan Biologi Rumen*, akan mampu memberikan kemudahan dan manfaat bagi pembaca yang ingin mempelajari, dan mendalami ruminansia, serta yang terpenting adalah pengembangan ilmu pengetahuan di bidang peternakan. Akhirulkalām, kita semua diberikan taufik, hidayah, kemudahan untuk memahami, mengembangkan, dan mengaplikasikannya dalam produksi ruminansia secara baik, *aamiin ya Rabbal ‘alamiin*.

Samarinda, 12 November 2025

Penulis



DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
GLOSARIUM	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xxi
KERANGKA KONSEP	xxiii
RINGKASAN	xxv
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
BAB 2 ANATOMI, HISTOLOGI, DAN FISILOGIS RUMEN	7
A. Anatomi Rumen	8
B. Histologi Rumen	13
C. Fisiologis Rumen	16
D. Fungsi Rumen	18

BAB 3 PERKEMBANGAN RUMEN	23
A. Perkembangan Rumen Prenatal	23
B. Perkembangan Rumen Pascanatal	24
C. Profil Metabolisme Jaringan Epitel Rumen	31
D. Faktor-faktor yang Memengaruhi Perkembangan Rumen Pascanatal	34
E. Gen yang Terlibat dalam Pertumbuhan dan Perkembangan Rumen	40
F. Mekanisme Ruminasi	43
G. Interaksi Mikroba dan Inang	46
BAB 4 KERAGAMAN MIKROBA RUMEN	49
A. Bakteri	51
B. Protozoa	56
C. Jamur	61
D. <i>Archaea</i>	63
E. Virus	64
F. Fungsi Mikroba Rumen	68
G. Faktor-faktor yang Memengaruhi Populasi Mikroba Rumen	74
BAB 5 METABOLISME ZAT PAKAN DALAM RUMEN DAN ABSORPSINYA	81
A. Fermentasi Karbohidrat	84
B. Metabolisme Nitrogen dalam Rumen	91
C. <i>Lipid Hydrolysis</i>	94
D. Protein <i>Hydrolysis</i>	95
E. Sintesis Protein oleh Mikroba	99

BAB 6	PRODUK AKHIR FERMENTASI	103
A.	<i>Volatile Fatty Acids</i>	104
B.	Asam Laktat	107
C.	Amonia	108
D.	Metana	109
BAB 7	MANIPULASI RUMINAL	115
A.	Modifikasi Pola Pemberian Pakan dan Profil Fermentasi	116
B.	Transformasi Pakan	117
C.	Manipulasi Mikroorganisme Rumen	118
D.	Manipulasi Genetik Mikrobiota Rumen	119
E.	Penggunaan Aktivator Fermentasi Mikroorganisme	119
F.	Senyawa Ionofor dan Non-Ionofor	121
G.	Manipulasi Fermentasi Rumen dengan Sistem Bioelektrokimia	124
H.	<i>Additive</i> /Bahan Pakan Botani dan Fitobiotik	127
I.	Suplemen Lemak	130
J.	<i>Buffers and Neutralizers</i>	131
BAB 8	EKSPLORASI DAN EKSPLOITASI MIKROBA RUMEN	135
A.	Produksi Biogas oleh Mikroba Rumen dan Jamur Anaerobik	135
B.	Aplikasi Komersial Enzim Mikroba Rumen	137
C.	Mikroba Rumen sebagai Kandidat Probiotik	138
D.	Mikroba Rumen sebagai <i>Starter</i> dalam Produksi Biofuel	140
E.	Mikroba Rumen sebagai <i>Antimicrobial Agent</i> dan Biopreservatif	140

BAB 9 GANGGUAN PENCERNAAN DAN TOKSISITAS PAKAN	143
A. Disfungsi Rumen Terkait dengan Aktivitas Mikroba	144
B. Degradasi Toksin oleh Mikroorganisme Rumen	155
BAB 10 TEKNOLOGI MUTAKHIR EVALUASI MIKROBA RUMEN	159
A. <i>Next-Generation Sequencing</i>	160
B. Orgonoid dan Ramanome	161
C. <i>Metagenomics</i>	161
D. Rumen <i>Metaproteomics</i>	163
BAB 11 IMPLIKASI DAN PENUTUP	167
DAFTAR PUSTAKA	169
INDEKS	187
BIODATA PENULIS	191



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Representasi Visual Otot dan Kantong Rumen	8
Gambar 2.	Representasi Letak Rumen dalam Dorsal Rongga Perut Sapi Dewasa	9
Gambar 3.	Papila Rumen	11
Gambar 4.	Zona Isi Rumen	11
Gambar 5.	Penampang Melintang Rongga Perut Ruminansia dan Isi Rumen Menurut Ukuran Partikelnya	12
Gambar 6.	Histologis Dinding Rumen	14
Gambar 7.	Representasi Skematis Lapisan Epitel pada Rumen	15
Gambar 8.	Representasi Skema Penyerapan dan Metabolisme VFA	20
Gambar 9.	Dinamika Komunitas Bakteri Rumen pada Berbagai Umur Ruminansia	26
Gambar 10.	Representasi Perkembangan Rumen dari Awal Kehidupan hingga Dewasa	27
Gambar 11.	Ukuran Papila Rumen Sapi Pascanatal	28
Gambar 12.	Perbedaan Permukaan Rumen Pedet (Gambar A) dan Rumen Sapi Dewasa (Gambar B)	28

Gambar 13.	Perbedaan Komposisi Mikrobiota Epitel, Jenis Sel, dan Interaksinya dalam Rumen pada Rumen Pedet dan Sapi Dewasa	30
Gambar 14.	Jaringan Penyusun Lambung Domba pada Awal Kehidupan	30
Gambar 15.	Klasifikasi Metabolit Terkait <i>Desulfovibrio</i> dalam Jaringan Rumen	31
Gambar 16.	Diagram Model Interaksi Mikroorganisme Rumen dan Metabolitnya dengan mRNA Inang serta Metabolit Serum	33
Gambar 17.	Diferensiasi dan Perkembangan Epitel Rumen dari Embrio hingga Pascanatal	41
Gambar 18.	Jaringan Regulasi Hilir TTF Rumen	43
Gambar 19.	Komponen Mikrobioma Rumen	50
Gambar 20.	(a) Representasi Diagramatis dari Protozoa Bersilia <i>Holotrich</i> ; (b) Representasi Diagramatik dari Protozoa Bersilia Entodiniomorphid	57
Gambar 21.	Foto Mikro Cahaya Berbagai Protozoa Rumen Bersilia yang Diwarnai Lugol	58
Gambar 22.	Interaksi Virus dengan Mikroorganisme Rumen	66
Gambar 23.	Mikroorganisme yang Terlibat dalam Produksi VFA	73
Gambar 24.	Faktor-faktor yang Memengaruhi Mikrobioma Rumen	74
Gambar 25.	Komponen yang Memengaruhi Mikrobioma Rumen	75
Gambar 26.	Jalur Degradasi Biokimia untuk Polisakarida Melalui Jalur Glikolisis <i>Emden-Meyerhof-Parnas</i>	83
Gambar 27.	Tahapan Metabolisme dalam Rumen	84
Gambar 28.	Berbagai Macam Polisakarida Tumbuhan Berdasarkan Struktur dan Komposisi	85

Gambar 29.	Skema Fermentasi Karbohidrat dalam Rumen	87
Gambar 30.	Reaksi Utama Pelepasan dan Penggabungan dalam <i>Metabolic Hydrogen</i>	89
Gambar 31.	Contoh Reaksi Redoks (A) <i>Electron Bifurcation</i> dan (B) <i>Electron Confurcation</i>	91
Gambar 32.	Skema Fermentasi Nitrogen dalam Rumen	93
Gambar 33.	Fermentasi Lipid dalam Rumen	95
Gambar 34.	Sintesis VFA Hasil Degradasi Karbohidrat dalam Rumen	105
Gambar 35.	Siklus Metanogenesis	111
Gambar 36.	Ekofisiologi dan Adaptasi Metabolik Metanogen Rumen	112
Gambar 37.	Pencernaan Anaerobik	137
Gambar 38.	Diagram Gangguan Metabolik pada Pencernaan Ruminansia	144
Gambar 39.	Proses Pelepasan Gas dan Kandungan Ruminal Melalui Kanula pada Sapi yang Mengalami Kembung Berbusa	149



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Fisik, Kimia, dan Mikrobiologi Ekosistem Rumen	17
Tabel 2. Perkembangan Rumen dari Awal Kehidupan hingga Dewasa	27
Tabel 3. Perbedaan Lingkungan Mikro Imun Rumen antara Sapi Baru Lahir dan Sapi Dewasa	31
Tabel 4. Variasi Spesies Mikrobiota Rumen	51
Tabel 5. Bakteri dalam Rumen dan Produk Akhirnya	52
Tabel 6. Klasifikasi Spesies Bakteri dalam Rumen Berdasarkan Fungsinya	54
Tabel 7. Perbandingan Protozoa <i>Holotrich</i> dan Entodiniomorphid	59
Tabel 8. Karakteristik Fisika-Kimia <i>Buffers and Neutralizers</i>	132
Tabel 9. Rekomendasi Penggunaan <i>Buffers and Neutralizers</i> pada Ruminansia	133
Tabel 10. Isolasi Mikroorganisme Rumen sebagai Probiotik	139
Tabel 11. Perbandingan Asidosis Akut dan Asidosis Subkuat pada Sapi Potong	146



GLOSARIUM

Anatomi	: Ilmu yang mempelajari tentang struktur dan susunan dari sel sampai jaringan makhluk hidup.
Aerob	: Merujuk pada proses yang membutuhkan oksigen.
Anaerob	: Merujuk pada proses yang tidak membutuhkan oksigen.
Biomassa	: Total masa organik dari semua bagian tanaman, dari akar hingga pucuk daun.
Biofuel	: Bahan bakar yang dibuat dari biomassa, yang meliputi bahan organik seperti limbah tanaman, pertanian, atau hewan.
Bolus	: Gumpalan makanan kasar.
<i>Buffers</i>	: Zat dalam larutan yang menyebabkan resistensi efektif terhadap variasi pH saat asam atau basa ditambahkan ke dalam medium.
<i>Chewing</i>	: Mengunyah pakan.
<i>Density</i>	: Kepadatan partikel pakan.
Defaunasi	: Proses eliminasi mikrofauna dan protozoa bersilia dari rumen.

Disbiosis	: Ketidakseimbangan pada mikrobioma rumen.
Degradasi	: Proses pemecahan serat alami dari hijauan.
Digesta	: Campuran pakan yang sedang dicerna di dalam rumen.
<i>Feed Additive</i>	: Pakan tambahan.
Fermentasi	: Proses pencernaan oleh mikroba di dalam rumen untuk memecah pakan menjadi nutrisi yang dapat diserap oleh inang.
Fisiologi	: Ilmu yang mempelajari tentang fungsi suatu organ.
Fitobiotik	: Komponen bioaktif alami dari tumbuhan.
Fortifikasi	: Proses penambahan zat gizi mikro (vitamin dan mineral) secara sengaja.
Histologi	: Ilmu yang mempelajari struktur mikroskopis jaringan tubuh dan organ termasuk hubungannya antarsel dan interaksinya.
Hidrolisis	: Pemecahan molekul menjadi bagian-bagian yang lebih kecil.
Homeostasis	: Kemampuan tubuh untuk menjaga kondisi internal tetap stabil dan seimbang, meskipun terjadi perubahan di lingkungan luar.
Inang	: Hewan yang menjadi tempat tinggal sementara atau tetap bagi mikroorganisme.
Kanula	: Alat yang dipasang di luar perut sapi yang memungkinkan akses ke dalam rumen.
Makromolekul	: Molekul yang sangat besar, sering kali berupa polimer yang tersusun dari unit-unit monomer.
Mikrobioma	: Komunitas mikroorganisme seperti bakteri, jamur, protozoa, virus, dan <i>archaea</i> yang hidup bersama di lingkungan tertentu.
Pascanatal	: Periode/masa setelah kelahiran.
Pedet	: Sebutan bagi anak sapi yang baru lahir hingga usia sekitar delapan bulan.

Probiotik	: Mikroorganisme hidup atau komponen sel mikroba yang memiliki efek menguntungkan pada inangnya, karena kemampuannya mengatur flora saluran pencernaan dan meningkatkan kesehatan inang.
Prenatal	: Periode waktu sebelum kelahiran.
Proliferasi	: Pertumbuhan dan pertambahan jumlah sel, yang bisa terjadi secara normal maupun abnormal.
Ransum	: Bahan-bahan pakan yang disusun dengan persentase tertentu dan diberikan pada ternak (sekaligus maupun beberapa kali pemberian) untuk memenuhi kebutuhannya selama 24 jam.
<i>Regurgitation</i>	: Proses pemuntahan pakan kembali (berupa bolus) dari rumen.
Redeglutisi	: Proses penelanan kembali.
Remastikasi	: Proses pengunyahan kembali.
Ruminansia	: Kelompok mamalia herbivora dan/atau hewan pemamah biak yang memiliki sistem pencernaan yakni lambung yang terdiri dari empat kompartemen (rumen, retikulum, omasum, abomasum).
Sintesis	: Pembentukan.
<i>Starter</i>	: Kultur mikroorganisme tertentu yang ditumbuhkan dalam suatu medium.
<i>Toxin</i>	: Zat beracun.

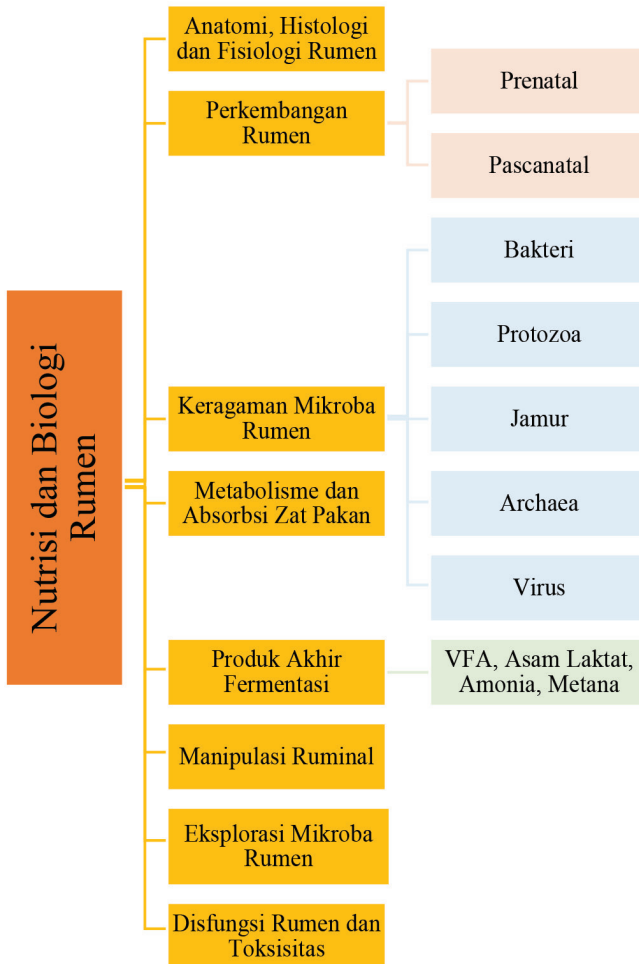


DAFTAR SINGKATAN

AA	: Asam Amino
ADP	: Adenosin Difosfat
ATP	: Adenosin Trifosfat
BHB	: <i>β-hydroxybutyric Acid</i>
BHMT	: <i>Betaine-Homocysteine Methyltransferase</i>
CAZymes	: <i>Carbohydrate-Active Enzymes</i>
CS	: <i>Cranial Sac</i>
CDBS	: <i>Caudodorsal Blind Sac</i>
CLA	: <i>Conjugated Linoleic Acid</i>
CREBP	: <i>Camp Response Element Binding Protein</i>
CVBS	: <i>Caudovertral Blind Sac</i>
DS	: <i>Dorsal Sac</i>
DNA	: <i>Deoxyribonucleic Acid</i>
DRA	: <i>Downregulated in Adenoma</i>
EET	: <i>Extracellular Electron Transfer</i>
EMP	: <i>Emdden-Meyerhof-Parnas</i>

ETLP	: <i>Electron Transport-Linked Phosphorylation</i>
IGF	: <i>Insulin-Like Growth</i>
HGT	: <i>Horizontal Gene Transfer</i>
MAGs	: <i>Metagenome-Assembled Genomes</i>
MCT	: <i>Monocarboxylate Transporter</i>
mRNA	: <i>Messenger Ribonucleic Acid</i>
MRSA	: <i>Methicillin-Resistant-Stahylococcus Aureus</i>
NADH	: <i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide</i>
NDF	: <i>Neutral Detergent Fiber</i>
NFC	: <i>Non-Fiber Carbohydrate</i>
NPN	: <i>Nitrogen Non-Protein</i>
PAT	: <i>Pedrin Anion Exchanger</i>
PEL	: <i>Pyruvate Formate Lyase</i>
PFOR	: <i>Ferredoxin Oxido Reductase</i>
PCR	: <i>Polymerase Chain Reaction</i>
SCFA	: <i>Short-Chain Fatty Acids</i>
SNPs	: <i>Single Nucleotide Polymorphisms</i>
SORFs	: <i>Small Open Reading Frames</i>
PPP	: <i>Pentose Phosphate Pathway</i>
PUFA	: <i>Polyunsaturated Fatty Acids</i>
VFA	: <i>Volatille Fatty Acids</i>
VS	: <i>Ventral Sac</i>
ZEA	: <i>Zearalenone</i>

KERANGKA KONSEP





RINGKASAN

Ruminansia dan mikrobiota rumen memiliki hubungan erat yang membentuk fenotipe hewan utama seperti efisiensi pakan dan emisi metana. Ruminansia memiliki empat kompartemen perut yaitu rumen, retikulum, omasum, dan abomasum. Rumen berfungsi untuk fermentasi, absorpsi, metabolisme, dan perlindungan (yakni berperan sebagai satu penghalang imun yang penting, terutama terdiri dari penghalang mikroba, penghalang fisik, dan penghalang imun yang dapat mencegah penularan patogen atau racun ke jaringan inang). Rumen adalah kompartemen fermentasi pregastrik yang besar (*foregut*) yang menampung populasi bakteri anaerob, protozoa, dan jamur anaerob yang beragam, terkonsentrasi dan bertanggung jawab atas berbagai reaksi degradasi serta fermentasi. Fungsi rumen secara umum di antaranya pencernaan, absorpsi VFA, memetabolisme VFA dalam rumen, dan *barrier*. Sistem dan saluran pencernaan mengalami perkembangan seiring bertambahnya umur fisiologis ruminansia dan perkembangan rumen secara umum dibagi menjadi dua yakni perkembangan prenatal dan pascanatal. Perkembangan rumen pascanatal dibagi menjadi tiga fase yaitu: 1) fase pra-ruminansia (berlangsung selama 2–3 minggu awal ketika pedet hanya bergantung pada susu atau pengganti susu); 2) fase

transisi (dimulai setelah pedet mulai mengonsumsi pakan padat hingga disapih); 3) fase ruminansia (terjadi pasca penyapihan ketika rumen mencapai kematangan penuh dan pedet menggunakan VFA produk utama fermentasi sebagai sumber energi utamanya). Rumen selama kehidupan pascanatal mengalami perubahan yang signifikan, termasuk peningkatan masa otot, pertumbuhan epitel, pembentukan papila yang mulai terlihat, dan kolonisasi komunitas mikroba. Faktor-faktor yang memengaruhi perkembangan rumen pascanatal meliputi: pola pakan, VFA, mikrobiota rumen, hormon, penyapihan, suplementasi probiotik, dan kondisi patologis.

Mikrobiota rumen terdiri dari ribuan spesies mikroorganisme di antaranya bakteri anaerob (10^{10} - 10^{11} sel/ml isi rumen), protozoa (10^4 - 10^6 sel/ml isi rumen), jamur anaerobik (10^3 - 10^6 sel/ml isi rumen), *archaea* metanogenik (10^7 - 10^9 sel/ml), bakteriofag (10^9 - 10^{10} sel/ml isi rumen) dan virus. Mikrobiota rumen merupakan landasan fisiologis pencernaan ruminansia, yang mengatur fermentasi anaerobik biomassa tanaman menjadi *Short-Chain Fatty Acids* (SCFAs)—metabolit penting yang mendukung metabolisme energi inang, fungsi imun, dan keberlanjutan lingkungan. Komunitas mikroba yang kompleks dan beragam memfasilitasi degradasi nutrisi dalam ruminansia. Mikrobiota rumen memiliki korelasi terhadap sifat-sifat penting seperti pertambahan bobot badan, efisiensi pakan, produksi susu, kesehatan secara keseluruhan dan resistensi terhadap patogen. Mikrobiota rumen memainkan peran penting dalam pemanfaatan nutrisi, metabolisme, fungsi imun, kesehatan inang, bahkan perkembangan inang. Fungsi mikroba meliputi: 1) hidrolisis makromolekul (seperti polisakaira, protein, lipid); 2) proses fermentasi; dan 3) produksi metana.

Fermentasi rumen merupakan proses kompleks yang dilakukan oleh berbagai jenis mikroorganisme yang memiliki pengaruh terhadap produktivitas ruminansia dan berdampak terhadap lingkungan. Fermentasi dalam rumen merupakan proses mengubah pakan yang dicerna (dengan bantuan mikroba) menjadi sumber energi bagi inangnya. Fermentasi rumen dikategorikan menjadi tiga tahap berdasarkan fungsionalitas komunitas mikroba dan metabolit masukan serta keluarannya yaitu: Tahap ke-1: Mikroba melakukan penetrasi pada

makromolekul tanaman, memecah dinding sel menggunakan enzim dan melepaskan polimer karbohidrat seperti selulosa, hemiselulosa, dan pati. Tahap ke-2: mikroba rumen memetabolisme gula larut melalui berbagai jalur seperti *Embden-Meyerhof-Parnas* (EMP) atau *Pentose Phosphate Pathway* (PPP) yang menghasilkan ekskresi sVFA, asam organik, metabolit lain, dan gas seperti CO₂ dan H₂. Tahap ke-3: elektron disposal adalah proses fermentasi terakhir, di mana *archaea* metanogenik mengonsumsi sebagian besar H₂ yang dihasilkan dari proses fermentasi.

Fermentasi pakan oleh mikroba rumen menghasilkan beberapa produk di antaranya *Volatile Fatty Acid* (VFA), karbon dioksida (CO₂), hidrogen (H₂), air (H₂O), amonia (NH₃), dan metana (CH₄). *Volatile fatty acids* merupakan produk akhir fermentasi yang memainkan peran penting dalam metabolisme ruminansia (seperti sintesis asam lemak dan glukoneogenesis) dan bertindak sebagai sumber energi inang sehingga dapat memenuhi kinerja produksi ruminansia. Fungsi pencernaan pada ruminansia dapat ditingkatkan dan dioptimalkan untuk mencapai produktivitas tinggi melalui manipulasi mikroorganisme yang ada dalam rumen. Manipulasi fermentasi rumen dianggap sebagai proses optimasi untuk mencari kondisi yang sesuai untuk memaksimalkan dan/atau meminimalkan jalur fermentasi tertentu, tergantung pada faktor-faktor yang berkaitan seperti tingkat pemberian pakan serta produksi ruminansia. Manipulasi rumen dapat dilakukan melalui: 1) modifikasi pola makan, transformasi pakan, dan profil fermentasi; 2) manipulasi mikroorganisme rumen; 3) manipulasi genetik mikrobiota rumen; 4) penggunaan aktivator fermentasi mikroorganisme; 5) penggunaan ionofor dan non-ionofor; 6) manipulasi fermentasi rumen dengan sistem bioelektrokimia; 7) *additive*/bahan pakan botani dan fitobiotik; 8) suplementasi lemak; 9) *buffers and neutralizers*. Manipulasi mikrobiota rumen melalui pakan penting untuk memaksimalkan produksi ruminansia dan melindungi lingkungan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Fungsi mikrobiota rumen tidak sebatas pencernaan pakan, namun berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai bidang di antaranya prekursor dalam produksi biogas, sumber utama enzim baru untuk berbagai aplikasi industri, sebagai probiotik yang disuplementasi

dalam ransum, agen mikroba dan/atau *starter* dalam produksi biofuel dan *antimicrobial agent*. Mikroorganisme rumen dalam menjalankan perannya berpotensi mengalami gangguan, baik yang disebabkan oleh aktivitas mikroba, gangguan metabolik maupun toksisitas yang berasal dari pakan seperti kembung (*bloat*), asidosis rumen (*ruminal acidosis*), hipoglikemia (*hypoglycemia*), diare (*diarrhea*), tukak saluran cerna (*ulcers in gastrointestinal tract*), *reticuloperitonitis*, keracunan *mycotoxin* dan alkaloid. Keberadaan mikrobiota dalam rumen perlu diidentifikasi sebagai respons terhadap potensi dan ancaman gangguan yang terjadi. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama biologi molekuler dan genomik menawarkan peluang baru untuk melakukan pemeriksaan holistik terhadap struktur dan fungsi komunitas mikroba rumen. Metode untuk mengevaluasi struktur dan fungsi komunitas, distribusi dan/atau kelimpahan populasi mikroba rumen meliputi *next-generation sequencing*, organoid dan ramanome, metagenomics, dan metaproteomics. Rumen merupakan kunci penting bagi masa depan produksi ruminansia yang berkelanjutan, *environmental responsibility*, dan *human well-being*. Optimalisasi mikroba rumen tidak hanya meningkatkan kesejahteraan dan produktivitas ruminansia, namun berimplikasi terhadap dampak lingkungan yang berkelanjutan.