



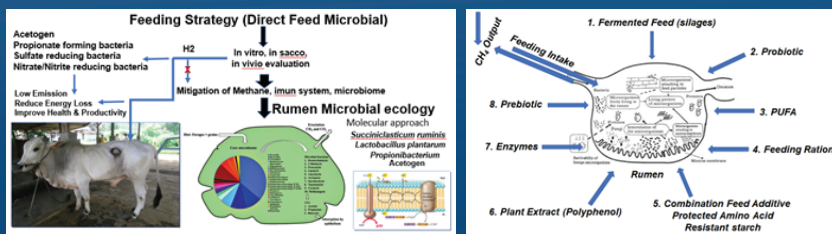
BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

MITIGASI METAN ENTERIK PADA RUMINANSIA UNTUK MEWUJUDKAN PETERNAKAN RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET ILMU HEWAN BIDANG BIOTEKNOLOGI HEWAN KEPAKARAN BIOTEKNOLOGI PAKAN DAN SISTEM PENCERNAAN



OLEH:

RONI RIDWAN

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**MITIGASI METAN ENTERIK
PADA RUMINANSIA UNTUK MEWUJUDKAN
PETERNAKAN RAMAH LINGKUNGAN
DAN BERKELANJUTAN**

Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**MITIGASI METAN ENTERIK PADA
RUMINANSIA UNTUK MEWUJUDKAN
PETERNAKAN RAMAH LINGKUNGAN
DAN BERKELANJUTAN**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU HEWAN
BIDANG BIOTEKNOLOGI HEWAN
KEPAKARAN BIOTEKNOLOGI PAKAN
DAN SISTEM PENCERNAAN**

OLEH:
RONI RIDWAN

Penerbit BRIN

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Zoologi Terapan

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Mitigasi Metan Enterik pada Ruminansia untuk Mewujudkan Peternakan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan/Roni Ridwan–Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

ix + 116 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Mitigasi metan enterik | 2. Ruminansia |
| 3. Produktivitas ternak | 4. Peternakan berkelanjutan |

541.37

<i>Copy editor</i>	: Rahma Hilma Taslima
<i>Proofreader</i>	: Martinus Helmiawan
Penata Isi	: Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul	: Rahma Hilma Taslima

Edisi pertama : Agustus 2025



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	3
I. PENDAHULUAN.....	5
II. KONTRIBUSI METAN ENTERIK DAN INTERAKSI MIKROBIOMA SALURAN PENCERNAAN.....	9
A. Kontribusi Metan Enterik Ruminansia Terhadap Lingkungan	9
B. Mikrobioma Saluran Pencernaan dan Interaksinya dengan Pakan Ruminansia	13
III. MITIGASI DAN REDUKSI METAN ENTERIK PADA RUMINANSIA	21
A. Proporsi Pemberian dan Rekayasa Kualitas Nutrien Pakan	23
B. Pakan Berbasis Mikroba dan Pakan Fermentasi	27
C. Pakan Tambahan Berupa Pakan Imbuhan dan Pakan Suplemen.....	38
IV. PENERAPAN PAKAN RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN	47
A. Inovasi Teknologi Pakan	48
B. Potensi, Peluang, Tantangan, dan Rekomendasi Dalam Penerapan Inovasi	52
V. KESIMPULAN	57
VI. PENUTUP	59
UCAPAN TERIMAKASIH.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	65
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	87
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hasil Degradasi Mikrobioma Rumen Secara <i>In Sacco</i> pada Sampel Rumput dengan Waktu Inkubasi yang Berbeda	14
Gambar 2.2	Kelimpahan Bakteri Rumen Berdasarkan Analisis T-RFLP dan Pustaka Klon.....	19
Gambar 3.1	Pendekatan Rekayasa Efisiensi Pakan untuk Mitigasi Metan Enterik di Rumen	22
Gambar 3.2	Mekanisme Pakan Fermentasi Berprobiotik untuk Mitigasi Metan dan Menurunkan Energi yang Hilang di Dalam Rumen	28
Gambar 3.3	Potensi <i>Pathway</i> dari BAL untuk Menurunkan CH_4 di Rumen.....	29
Gambar 3.4	Cara Kerja Pakan Mikroba sebagai Probiotik di Saluran Pencernaan Ruminansia.....	31
Gambar 3.5	Struktur Kelimpahan Relatif Bakteri dalam Silase pada Tingkat Genus	34
Gambar 3.6	Kelimpahan Relatif Bakteri pada Silase Jerami Padi .	37
Gambar 3.7	Domain dari <i>Glutamate Dehydrogenase</i> (GDH) sebagai Salah Satu Reseptor dari Cumin.....	38
Gambar 3.8	Kelimpahan Relatif dari Bakteri Rumen dan Metanogen	40
Gambar 4.1	Aplikasi Inokulan BAL dan Probiotik di Berbagai Daerah dan Perusahaan Peternakan	47
Gambar 4.2	Hasil Analisis Metabolomik Senyawa <i>Volatile</i> di Rumen.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Populasi Bakteri dan Metanogen Rumen dengan Pemberian Silase Rumput-Leguminosa	17
Tabel 2.2 Populasi Relatif dari Bakteri dan Metanogen Rumen	20
Tabel 3.1 Nilai Daya Cerna Rumen dan Pasca Rumen dari Pati Resisten	25
Tabel 3.2 Degradasi Asam Amino Lisin Terproteksi pada Pasca Rumen.....	27
Tabel 3.3 Populasi Bakteri Rumen dengan Penambahan Probiotik...	32
Tabel 3.4 Kualitas Silase Jerami Padi yang Ditambahkan Aditif.....	36
Tabel 3.5 Produksi Gas dan Metan dengan Perlakuan Ekstrak Buah Hanrendong Komplek Pati.....	42

BIODATA RINGKAS



Roni Ridwan, lahir di Cianjur, Jawa Barat pada tanggal 16 Juli 1975, adalah anak ke tiga (3) dari pasangan Bapak Endang Suanda (Alm) dan Ibu Rohayati Fatimah. Menikah dengan Tika Sundari, S.Pt. dan dikaruniai tiga (3) orang anak, yaitu Kania Dewi Shiyam, S.Si., Muhamad Aqil Arrasyid, dan Aisha Dewi Humaira.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 2/M Tahun 2023 tanggal 9 Januari 2023 diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 25 Januari 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 143/I/HK/2025 tanggal 10 Juni 2025 yang bersangkutan dapat melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar di SDN Cibogo 1 Desa Ciranjang, Kecamatan Ciranjang, Kabupaten Cianjur pada tahun 1988, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Ciranjang Kecamatan Ciranjang, Kabupaten Cianjur pada tahun 1991, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Cianjur, Kabupaten Cianjur pada tahun 1994. Memperoleh gelar Sarjana Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak dari IPB tahun 2000, gelar Magister Bidang Bioteknologi dari IPB tahun 2009, dan gelar Doktor Bidang Mikrobiologi dari IPB tahun 2014.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain diklat fungsional tingkat dasar tahun 2001 dan lanjutan tahun 2016 di LIPI, Ekologi Molekuler Actinomycetes Indonesia di NITE-Kisarazu Jepang tahun

2006, Ekologi Molekuler Mikroba Rumen sebagai *Research Exchange* RISTEK RI di RIKEN Jepang tahun 2013, Ekologi Mikroba Rumen di RIKEN Jepang tahun 2015 dan *Feed Product Management* di Cordoba Spanyol tahun 2016.

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kasub Bidang Sarana dan Prasarana Biologi Sel dan Jaringan Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI (tahun 2011–2012). Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama (III/a) tahun 2002, Peneliti Ahli Pertama (III/b) tahun 2007, Peneliti Ahli Muda (III/c) tahun 2009, Peneliti Ahli Muda (III/d) tahun 2015, Peneliti Ahli Madya (IV/a) tahun 2016, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama (IV/d) bidang Bioteknologi Hewan tahun 2023.

Menghasilkan 104 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 87 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 17 KTI dalam bahasa Indonesia. Sebanyak 24 kekayaan intelektual dimiliki dalam bentuk 17 paten terdaftar dan 7 paten *granted* serta sebanyak 1 paten telah dilisensikan.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti sebanyak 5 orang pada LIPI dan BRIN, pembimbing skripsi (S-1) sebanyak 19 mahasiswa pada IPB, UNPAD, UNES, UNJ, UTS, UP; pembimbing tesis (S-2) sebanyak 19 mahasiswa pada IPB dan UNPAD; pembimbing disertasi (S-3) sebanyak 14 mahasiswa pada IPB, UNPAD, USK, UNAND; serta penguji disertasi (S-5) pada IPB dan UNPAD. Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota AINI (2019–sekarang), HILPI (2019–sekarang), dan PPI (2019–sekarang). Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya 10 tahun (X) tahun 2015, dan Satyalancana Karya Satya 20 tahun (XX) tahun 2021 dari Presiden RI.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assaalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada 20 Agustus 2025 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“MITIGASI METAN ENTERIK PADA RUMINANSIA
UNTUK MEWUJUDKAN PETERNAKAN RAMAH
LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN”**

Pada orasi ini disampaikan kebaruan mitigasi metan (CH_4) enterik pada ruminansia melalui implementasi hasil riset dari rekayasa pakan, pemberian pakan berbasis mikroba berupa probiotik dan pakan fermentasi silase, dan penambahan pakan imbuhan lainnya berupa polifenol tanin, prebiotik, enzim, asam amino terproteksi, dan asam lemak dengan dosis yang tepat menjadi kunci keberhasilan dalam mewujudkan peternakan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

I. PENDAHULUAN

Arah kebijakan pemerintah sesuai dengan RPJMN 2025–2029 dibidang pertanian-peternakan adalah meningkatkan produktivitas ternak dan memperkuat ketahanan pangan menuju swasembada pangan hewani nasional (Peraturan Presiden [PP-RI], 2025). Sejalan dengan arah kebijakan tersebut BRIN berkontribusi melalui riset dasar, terapan, dan aplikasi yang lebih memfokuskan pada pemanfaatan sumber daya genetik lokal dengan *tool* bioteknologi modern secara komprehensif untuk menjawab permasalahan saat ini dan tantangan masa depan.

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk Indonesia tahun 2023 sudah mencapai 281,6 juta jiwa (Badan Pusat Statistik [BPS], 2024) menyebabkan konsumsi produk hasil peternakan meningkat. Pentingnya upaya memenuhi kebutuhan konsumsi hasil produk peternakan berkaitan erat dengan kemandirian bangsa dalam menyediakan sumber protein hewani untuk meningkatkan kesehatan dan mencerdaskan masyarakat. Pada tahun 2023 telah terjadi peningkatan kebutuhan pangan khususnya daging ruminansia dari tahun 2022 sebesar 3,22 gram/kapita/hari (meningkat 5,9%) dan tahun 2023 sebesar 3,38 gram/kapita/hari (meningkat 4,7%) (Badan Pangan Nasional [BPN], 2024).

Ternak ruminansia besar khususnya ternak sapi dan kerbau di Indonesia menjadi salah satu andalan komoditi untuk memenuhi kebutuhan konsumsi protein hewani di masyarakat. Populasi ruminansia besar pada tahun 2022 mengalami penurunan dibandingkan tahun 2021, yaitu jumlah sapi potong 17,6 juta ekor (turun 2,08%) dan kerbau 1,1 juta ekor (turun 4,79%).

Jumlah populasi tersebut sekitar 12–13% digunakan untuk produksi daging sapi secara nasional pada tahun 2022 sebanyak 499,7 ribu ton (2,33 juta ekor) dan daging kerbau sebanyak 22,1 ribu ton dari 104,02 ribu ekor. Defisit sebesar 287,48 ribu ton dipenuhi melalui impor daging sapi sebanyak 228,79 ribu ton dan sapi hidup sebanyak 120,719 ribu ton setara dengan bobot hidup rata-rata 300 kg/ekor sebanyak 402,39 ribu ekor. Tingginya nilai impor memberikan dampak terhadap neraca ekspor-impor peternakan 3 tahun terakhir, yang masih mengalami defisit dengan rasio 1:3,8 (Ditjen PKH, 2023).

Strategi untuk menurunkan nilai impor dapat dilakukan melalui peningkatan produktivitas ternak ruminansia. Budi daya ternak ruminansia khususnya sapi dan kerbau sebagai penghasil daging dan susu, sudah melekat di Indonesia dan menjadi ternak andalan yang menopang perekonomian masyarakat. Namun, produktivitasnya sampai saat ini masih belum optimal. Banyak faktor yang memengaruhi produktivitas ternak ruminansia salah satunya adalah pakan (Ridwan et al., 2015). Kualitas dan pemberian pakan di peternakan saat ini masih belum efisien dengan masih banyaknya energi terbuang melalui produksi metan (CH_4) enterik di rumen dan ikut memberikan kontribusi terhadap pencemaran gas rumah kaca (GRK) yang dapat berdampak pada pemanasan global.

Pakan yang berkualitas rendah, baik dari kandungan nutrisi maupun daya cernanya dapat berkontribusi terhadap pemanasan global dan pencemaran lingkungan (Du et al., 2024). Pencemaran tersebut melalui produksi CH_4 enterik secara berlebihan di rumen (Ji & Park, 2012; Patra, 2014), yang merupakan kehilangan energi bruto dari pakan yang dikonsumsi sebesar 2-12% (Johnson & Johnson, 1995; Moss et al., 2000). Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan produktivitas ternak dan ikut berkontribusi terhadap pencemaran GRK.

Berbekal dari pendalaman keilmuan di Institut Pertanian Bogor (IPB) tentang Nutrisi dan Makanan Ternak, diperkuat dengan keilmuan Bioteknologi melalui analisis molekuler dalam pemberian pakan silase. Kemudian, melanjutkan dengan keilmuan Mikrobiologi terkait dengan keragaman mikrobioma dalam bioproses pakan fermentasi dan interaksinya di dalam rumen. Sinergisitas ketiga keilmuan tersebut digunakan sebagai pondasi pada bidang kepakaran Bioteknologi Pakan dan Sistem Pencernaan dalam melakukan inovasi pakan ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Ruang lingkup mitigasi CH_4 enterik secara umum disampaikan dalam orasi ini, meliputi informasi pencemaran CH_4 enterik terhadap lingkungan, interaksi mikrobioma saluran pencernaan, strategi mitigasi CH_4 enterik, inovasi pakan, potensi, peluang, dan tantangan serta rekomendasi dalam penerapan inovasi pakan sapi. Strategi kunci mitigasi dengan proporsi pemberian dan peningkatan kualitas nutrisi pakan, pakan berbasis mikroba dan pakan fermentasi, dan pemberian pakan tambahan berupa pakan imbuhan dan pakan suplemen menjadi sangat penting untuk digunakan dalam meningkatkan produktivitas ternak dan menurunkan pencemaran GRK terhadap lingkungan. Riset tersebut dianalisis lebih dalam dengan pendekatan teknologi omik (Adawiah et al., 2025; Zhao et al., 2024) dapat dijadikan *tool* dalam mewujudkan peternakan ramah lingkungan dan berkelanjutan di Indonesia. Inovasi tersebut berkontribusi secara global yang selaras dengan target capaian SDGs, yaitu SDG 2 (*Zero Hunger*), SDG 13 (*Climate Action*), SDG 1 (*No Poverty*), SDG 8 (*Decent Work and Economic Growth*), SDG 10 (*Reduced Inequalities*), SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*) dan SDG 15 (*Life on Land*) (FAO, 2023).

II. KONTRIBUSI METAN ENTERIK DAN INTERAKSI MIKROBIOMA SALURAN PENCERNAAN

Akumulasi GRK di atmosfer akibat emisi lintas sektor telah memperkuat dampak pemanasan global yang kini makin nyata. Salah satu GRK yang cukup signifikan adalah CH_4 , berkontribusi dari sektor *agriculture, forestry, and other land use* (AFOLU) terutama hasil fermentasi enterik hewan ruminansia (*Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC], 2023). Kontribusi tersebut perlu dilakukan mitigasi dari sumber utama penghasil CH_4 dengan berbagai strategi dan upaya untuk mereduksi dampak pencemaran GRK terhadap lingkungan.

A. Kontribusi Metan Enterik Ruminansia Terhadap Lingkungan

Gas CH_4 adalah salah satu GRK yang cukup potensial berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Gas CH_4 dapat bereaksi dengan ozon menghasilkan CO_2 dan H_2O dan bersifat radikal bebas sehingga lapisan ozon menipis dan radiasi infra merah yang masuk ke bumi makin banyak (Moss et al., 2000). Pemanasan global sudah mulai terjadi dan dirasakan di berbagai negara salah satunya ditandai dengan adanya perubahan iklim yang ekstrim, seperti gelombang panas. Pemanasan global tersebut disebabkan oleh makin tingginya polusi GRK di atmosfer ([IPCC], 2023). Gas CH_4 memiliki potensi 21 kali lebih besar dibandingkan CO_2 dalam menyerap radiasi inframerah sehingga menyebabkan akumulasi efek pemanasan di bumi yang lebih tinggi (Bodas et al., 2012; Tseten

et al., 2022). Informasi pencemaran GRK dari sektor AFLU di seluruh negara pada tahun 2019 memberikan kontribusi sebesar 22% dari total emisi (59 GtCO₂-eq). Persentase tersebut dari tahun ke tahun mengalami peningkatan dengan total pencemaran CH₄ 5% yang berasal dari fermentasi enterik hewan ruminansia dengan rata-rata 57 ± 47,1 Mt CH₄ per tahun ([IPCC], 2023). Peternakan sapi potong di Indonesia ikut juga memberikan kontribusi terhadap pencemaran GRK dari CH₄ sekitar 85% berdasarkan perhitungan dengan Tier 2 IPCC pada tahun 2014 (Widiawati et al., 2019) dan pada tahun 2019 sebesar 70% dari total pencemaran peternakan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK], 2021).

Peternakan Indonesia memberikan kontribusi terhadap pencemaran GRK CH₄ di tahun 2019 yang berasal dari fermentasi enterik sebesar 17.898 Gg CO₂e (57,14%). Rincian kontribusi emisi CH₄ enterik terkonsentrasi pada sapi potong (70,0%), domba (8,5%), kerbau (8,0%), kambing (6,3%), sapi perah (3,4%), kuda (2,8%), dan lainnya kurang dari 1%. Kontribusi lainnya dari pengelolaan pupuk kandang sapi potong (61,6%), unggas (17,3%), kerbau (13,2%), sapi perah (4,4%), dan lainnya kurang dari 3,5% ([KLHK], 2021).

Perkembangan riset terkait mitigasi CH₄ enterik dengan bioteknologi pakan dibagi menjadi tiga periode sebagai berikut (Beauchemin et al., 2022; Waters et al., 2024);

1. Periode awal pada tahun 1960-an sampai 1990-an

Pada periode ini fokus riset pada pemahaman ekosistem mikroba rumen yang kompleks, termasuk metanogen yang merupakan mikroba utama dalam menghasilkan CH₄ enterik. Pendekatan yang banyak diteliti lebih ke arah mitigasi awal dalam rekayasa jalur metabolisme untuk metanogenesis. Jalur

tersebut seperti lebih ke arah produksi proporsi asam propionat melalui kompetisi substrat H_2 dalam mengurangi produksi CH_4 enterik. Pendekatan lainnya adalah dengan proses fisik dalam pengolahan pakan menggunakan penggilingan dan pembentukan pelet untuk meningkatkan asupan pakan dan mengubah pola fermentasi rumen, yang berpotensi menyebabkan berkurangnya produksi CH_4 . Pemanfaatan awal dari pakan imbuhan dengan fokus efek ekstrak tanaman, tanin, dan minyak esensial pada metabolisme fermentasi rumen dan produksi CH_4 , yang menjadi dasar pengembangan pakan aditif selanjutnya.

2. Periode pertengahan pada tahun 1990-an sampai 2000-an

Pada periode ini lebih pada pengembangan dan pengujian pakan imbuhan dengan mengidentifikasi dan mengevaluasi secara langsung penghambatan metanogen atau mengubah fermentasi rumen dalam mengurangi produksi CH_4 enterik. Pakan imbuhan yang digunakan sebagai agen anti metanogen, yaitu senyawa yang secara khusus menargetkan pada proses inhibitor metanogenesis. Pengembangan tentang ekstrak tumbuhan dan aditif lainnya lebih memfokuskan pada pengaruh dan mengeksplorasi mekanisme kerjanya serta pengembangan teknik pengukurannya. Kemajuan dalam pengukuran emisi CH_4 enterik dari ruminansia, seperti ruang respirasi dan metode pelacak sulfur heksafluorida dalam meningkatkan kemampuan untuk mengevaluasi efektivitas strategi mitigasi.

3. Periode akhir pada tahun 2000-an sampai sekarang

Sejak akhir tahun 2000 hingga sekarang, fokus penelitian mulai bergeser ke arah upaya mitigasi yang berkaitan erat dengan dampak lingkungan. Periode ini lebih menekankan pada

inhibitor spesifik metanogenesis, seperti 3-nitroxypropanol (3-NOP), senyawa terhalogenasi, dan pengembangan pakan imbuhan baru. Pakan imbuhan yang sedang dikembangkan, termasuk inokulan mikroba, probiotik, enzim, prebiotik, dan senyawa lain yang dapat memodifikasi fermentasi rumen dan mengurangi produksi CH_4 enterik. Pada periode ini lebih fokus pada pengaruh yang sinergis dan kombinasinya dalam menggunakan berbagai pakan imbuhan dan mengintegrasikan dengan pola makan atau dengan manajemen pemeliharaan yang presisi. Pemanfaatan *big data* dan kecerdasan buatan (AI) juga sangat membantu dalam mengidentifikasi dan mengoptimalkan strategi mitigasi. Riset mitigasi CH_4 enterik pada saat ini lebih pada keberlanjutan dan sistem peternakan yang utuh, seperti produktivitas ternak, efisiensi konversi pakan, dan emisi GRK terhadap dampak lingkungan menggunakan berbagai pendekatan analisis komprehensif dengan memanfaatkan peralatan modern (Beauchemin et al., 2020).

Dampak terhadap lingkungan dari sektor peternakan sapi potong di Indonesia memiliki nilai faktor emisi (FE) nasional sekitar 33,14 kg CH_4 /ekor/tahun berdasarkan perhitungan metode Tier-2. Penggunaan data lokal dalam metode ini menghasilkan estimasi yang lebih representatif terhadap kondisi nyata peternakan di Indonesia, yang memiliki variasi pemeliharaan antara perusahaan dan masyarakat di berbagai daerah (Widiawati et al., 2016).

Sistem manajemen peternakan juga memberikan kontribusi terhadap pencemaran GRK ke lingkungan. Pemberian pakan ruminansia pada peternakan skala kecil atau peternakan rakyat masih belum dikelola dengan baik (Bahri dan Tiesnamurti, 2012). Sebagian besar pakan yang diberikan seadanya diambil dari rumput lapang dan sebagian kecil ditambahkan konsentrat.

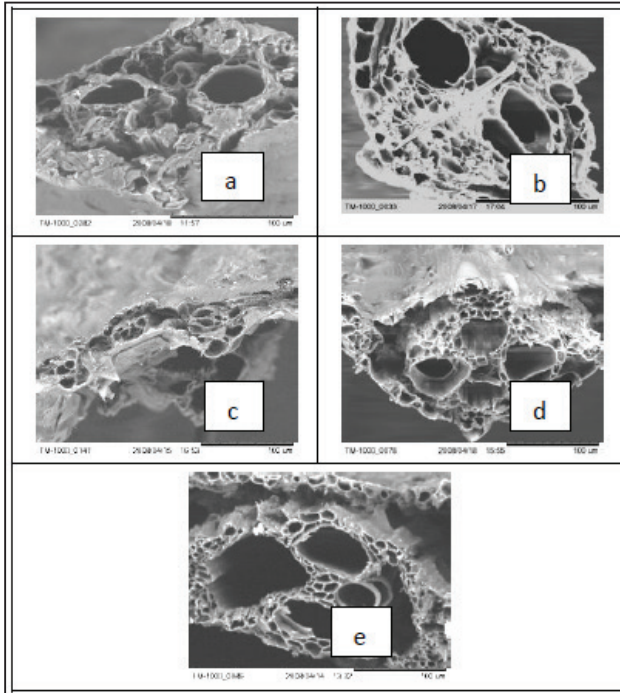
Pada peternakan skala besar atau perusahaan peternakan sudah dikelola dengan manajemen yang baik, pakan yang digunakan sebagian besar sudah ditanam dikebun, atau diperoleh dari pengumpul pakan hijauan, pakan hijauan kering (*hay*), sebagian proporsi ada yang diberikan pakan awetan silase, ditambahkan konsentrat, dan untuk meningkatkan produktivitas serta kesehatannya diberikan pakan imbuhan dan pakan suplemen.

Widiawati et al., (2023) menyatakan bahwa diperlukan edukasi kepada peternak dalam pemanfaatan sumberdaya lokal yang dimiliki Indonesia untuk bahan baku pakan. Sumber bahan pakan lokal memberikan kemampuan ternak ruminansia dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim dengan tetap dapat memiliki produktivitas yang baik. Pemanfaatan sumber daya alam lokal juga dapat dilakukan untuk peningkatan produktivitas ternak dengan membangun peternakan berbasis limbah perkebunan, pertanian, dan membentuk integrasi peternakan sapi dengan perkebunan menuju industri peternakan berkelanjutan melalui *green economy* (Bahri dan Tiesnamurti, 2012).

B. Mikrobioma Saluran Pencernaan dan Interaksinya dengan Pakan Ruminansia

Tempat fermentasi pakan pada hewan ruminansia terbagi menjadi 4 bagian, yaitu di rumen, retikulum, omasum, dan abomasum. Tempat fermentasi utama tersebut memiliki kapasitas tampung substrat pakan cukup besar sebesar 60–100 liter atau 13–18% dari bobot badannya (Holtzapple et al., 2022; Niehaus, 2008). Rumen merupakan organ yang unik dan menarik untuk diteliti, terkait fungsinya sebagai tempat fermentasi utama pakan yang dikonsumsi. Ternak ruminansia sangat bergantung pada mikroorganisme rumen atau dikenal sebagai mikrobioma yang memegang peranan sangat besar dalam mendegradasi pakan

untuk menghasilkan sumber energi utama berupa *volatile fatty acid* (VFA) (Beauchemin et al., 2020; Ridwan et al., 2019). Hasil degradasi mikrobioma rumen ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Keterangan: a. 0 jam, b. 4 jam, c. 8 jam, d. 24 jam dan e. 72 jam

Sumber: Astuti et al. (2009)

Gambar 2.1 Hasil Degradasi Mikrobioma Rumen Secara *In Sacco* pada Sampel Rumput dengan Waktu Inkubasi yang Berbeda

Mikrobioma dalam rumen sebagian besar (90–95%), hidup dan berkembang dalam kondisi anaerob obligat, dan sebagian kecil berkembang dengan kondisi fakultatif anaerob (Stewart et

al., 1997; Ridwan et al., 2018). Rumen dihuni oleh konsorsium mikroba, sebesar 10^{10-12} cfu/mL bakteri, metanogen 10^{6-8} cfu/mL, 10^{4-5} /mL protozoa dan sebagian kecil fungi anaerob 10^{3-6} cfu/mL, yang bekerja secara sinergi dalam biokonversi pakan (Matthews et al., 2019; Ridwan et al., 2019). Keberadaan mikroba rumen terbagi menjadi tiga, yaitu menempel pada dinding rumen, menempel pada partikel pakan, dan berada dalam cairan rumen (Cholewińska et al., 2020; Fuller, 1989).

Analisis mikrobioma rumen pada periode awal di bawah tahun 1990 an dilakukan melalui pendekatan konvensional, yaitu dengan metode kultur menggunakan *Hungate Roll Tube* pada medium spesifik sesuai dengan target mikrobanya (Krause et al., 2013; Chung et al., 1997). Analisis dilanjutkan dengan identifikasi taksonomi berdasarkan morfologi dan reaksi biokimia.

Perkembangan ilmu dan teknologi identifikasi setelah tahun 1990 sampai saat ini dengan memanfaatkan mesin PCR, qPCR, dan sequencing melalui metode rRNA dapat mengidentifikasi secara spesifik jenis spesies dan dinamika populasinya dari mikrobioma rumen (Bustin et al., 2009). Pendekatan omik juga saat ini sudah mulai digunakan untuk melakukan analisis ekologi mikrobioma dengan metagenomik menggunakan NGS dan metabolomik menggunakan HRMS qTop atau GCMS (Adawiah et al., 2025; Zhao et al., 2024).

Teknologi identifikasi mikrobioma terus berkembang pesat yang memungkinkan di masa mendatang dimanfaatkan untuk teknologi sidik jari dan *meta barcoding* dari gen fungsi tertentu. Analisis yang lebih canggih lagi dapat dilakukan dengan mengembangkan integrasi multi-omik (penggabungan dari beberapa teknologi omik), yang memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, cepat, tidak memerlukan

sampel yang banyak, dan komprehensif (Jiang et al., 2024; Wang et al., 2024).

Gas CH_4 enterik merupakan hasil interaksi mikrobioma dengan substrat pakan yang memberikan kontribusi terhadap GRK. Secara alamiah ruminansia memproduksi gas CH_4 dalam rumen dengan memanfaatkan substrat hasil degradasi dari mikroba rumen lainnya dari bakteri, fungi dan protozoa. Produktivitas ternak ruminansia, khususnya sapi tergantung pada ketersediaan dan kualitas pakan yang diberikan. Pakan harus diberikan secara kontinu, baik secara kualitas dan kuantitasnya sepanjang masa pemeliharaannya (Ridwan et al., 2014). Pakan merupakan faktor yang sangat penting dalam menyuplai fungsi dan efisiensi kerja rumen untuk mendukung produktivitas ruminansia. Sebelum tahun 2018 masih banyak digunakan pakan tambahan berupa *antibiotic growth promotor* (AGP) untuk memacu atau meningkatkan produktivitas ternak. Penggunaan AGP dinilai banyak pengaruh negatifnya terhadap ternaknya sendiri dan terhadap kesehatan manusia terkait dengan residu antibiotik pada hasil produknya. Mulai tahun 2018 telah diberlakukan pelarangan pemakaian AGP dalam budi daya ternak secara kontinu dengan terbitnya Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) RI Nomor 14/Permentan/PK.350/5/2017. Akibat pelarangan tersebut dibutuhkan berbagai pendekatan produk alternatif yang aman untuk meningkatkan produktivitas ternak ruminansia yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Jenis pakan pada saat ini yang digunakan untuk ruminansia adalah hijauan segar atau hijauan awetan kering (*hay*), pakan fermentasi silase (Ratnakomala et al., 2006; Ridwan et al., 2005, 2015), konsentrat (Sari et al., 2019), pakan amoniasi (Muthia et al., 2021), hasil samping pertanian (Du et al., 2024; Sari et al., 2017; Sarwono et al., 2022) dan perkebunan (Jayanegara et al.,

2019), sisa bahan makanan (Fidriyanto et al., 2023), dan pakan tambahan lainnya seperti probiotik, enzim, dan ekstrak tanaman (Abdelbagi, Ridwan, Fidriyanto, et al., 2021; Astuti et al., 2022; Hartina et al., 2021; Islami et al., 2024).

Tabel 2.1 Populasi Bakteri dan Metanogen Rumen dengan Pemberian Silase Rumpun-Leguminosa

Target mikroba rumen (CFU/ml)	Perlakuan			
	R0	R1	R2	R3
Total Bakteri	2,9x10 ¹¹	4,13x10 ¹¹	4,64x10 ¹¹	3,46x10 ¹¹
Total Metanogen	5,9x10 ⁹	9,2x10 ⁹	8,5x10 ⁹	5,5x10 ⁹
Methanobacteriales	2,7x10 ⁸	3,5x10 ⁸	9,7x10 ⁷	8,6x10 ⁵
Methanosarcinales	2,1x10 ⁶	1,5x10 ⁶	1,5x10 ⁶	8,3x10 ⁵

Keterangan: R0: 50% *P. purpureum* + 50% konsentrat, R1: 20% *P. purpureum* + 50% Konsentrat + 30% silase, R2: 20% *P. purpureum* + 35% konsentrat + 45% silase, R3: 20% *P. purpureum* + 20 % konsentrat + 60% silase.

Sumber: Ridwan et al. (2019)

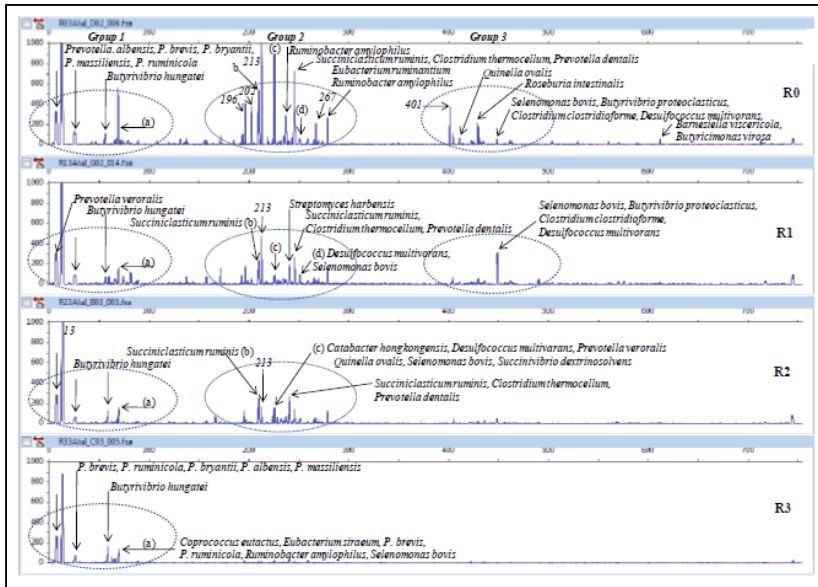
Kualitas pakan merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan efisiensi pakan melalui interaksi dengan mikrobioma di saluran pencernaan ruminansia. Peningkatan kualitas pakan salah satunya dengan fermentasi silase (Astuti et al., 2013; Du et al., 2024; Ratnakomala et al., 2006), penambahan dedak padi dan inokulan *L. plantarum* (Ridwan et al., 2005; Rohmatussolihat et al., 2024), penambahan leguminosa (Ridwan et al., 2014), yang dievaluasi secara *in vitro* (Ridwan et al., 2015), dan *in vivo* terhadap keragaman bakteri dan metanogen di sapi PO fistula (Tabel 2.1) (Ridwan et al., 2019).

Upaya lainnya untuk meningkatkan interaksi mikrobioma dengan pakan adalah melalui pemberian probiotik (Astuti et

al., 2022; Negara et al., 2024; Ridwan et al., 2018), prebiotik (Wafiyatunnufus et al., 2023), enzim (Islami et al., 2024), dan rasio pemberian pakan (Sari et al., 2019). Pemberian pakan imbuhan dan pakan suplemen (Hartina et al., 2021) juga berperan sebagai strategi anti metanogen berupa polifenol tanin (Fidriyanto et al., 2024) atau pakan imbuhan lainnya, seperti kitosan (Sagala et al., 2024); pati resisten (Abdelbagi et al., 2021, 2023), dan asam lemak anti biohidrogenasi (Jayanegara et al., 2020; Makmur et al., 2023).

Perkembangan saat ini untuk melihat interaksi mikrobioma dengan pakan di rumen dapat diketahui dengan metode yang lebih presisi. Interaksi dan keragaman mikroba rumen berdasarkan metode kultur telah ditambahkan informasinya dengan teknik ekologi molekuler berdasarkan 16S rRNA. Teknik ini dapat mengklasifikasikan bakteri untuk melihat hubungan filogenetiknya (Zoetendal et al., 2004) dan interaksi diantara mikrobioma dalam memanfaatkan substrat pakan (Sato et al., 2024). Analisis molekuler yang sudah digunakan tersebut diantaranya analisis T-RFLP dalam menentukan komposisi mikroba, yaitu dengan memanfaatkan fragmen sekuen DNA hasil potongan dengan enzim restriksi dari total komunitas mikrobiomanya (Ridwan et al., 2014, 2015, 2019).

Analisis molekuler lainnya adalah pustaka klon pada bakteri rumen yang merupakan metode molekuler untuk mengumpulkan sekuen dari berbagai mikroba suatu sampel komunitas untuk menggambarkan keragamannya dalam suatu ekosistem rumen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Ridwan et al., 2019). Teknik molekuler ini mengkloning sekuen DNA *vector* dan ditransformasikan pada mikroba inang, kemudian gen target yang berhasil disisipkan pada daerah *lacZ* dikonfirmasi dengan seleksi biru putih dan di amplifikasi di daerah 16S rRNA.



Sumber: Ridwan et al. (2019)

Gambar 2.2 Kelimpahan Bakteri Rumen Berdasarkan Analisis T-RFLP dan Pustaka Klon

Dinamika populasi dari interaksi mikrobioma rumen dalam suatu ekosistem dan dapat dilihat secara spesifik dengan analisis amplifikasi gen target menggunakan qPCR (Astuti et al., 2022; Putra et al., 2023; Ridwan et al., 2014, 2019; Sagala et al., 2024). Prinsip analisis ini adalah memanfaatkan gen mikroba target sebagai standar DNA dan spesifik primer yang digunakan dalam mengkuantifikasi secara nyata jumlah *copy* DNA berdasarkan waktu amplifikasi (Bustin et al., 2009; Tajima et al., 2001). Proses mengamplifikasi gen pada qPCR ini sama seperti pada PCR biasa, namun pada qPCR gen dapat diamati pada setiap waktu tahapnya dan dapat diukur jumlah *copy* DNA yang telah teramplifikasi berdasarkan persamaan linier dari kurva standar DNA rujukan ataupun ΔC_t sebagai gambaran *relative copy number* (Tabel 2.2) (Sagala et al., 2024).

Tabel 2.2 Populasi Relatif dari Bakteri dan Metanogen Rumen

Parameter	Perlakuan					P-Value
	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	
Methanogen	1,01 ^b	1,26 ^{bc}	1,39 ^c	0,24 ^a	1,68 ^d	<0,001
R. albus	1,16 ^a	1,57 ^a	0,83 ^a	0,98 ^a	1,41 ^a	0,321
R. flavefaciens	1,01 ^a	0,97 ^a	1,17 ^{ab}	1,72 ^{bc}	1,87 ^d	0,020
S. bovis	1,05 ^a	1,31 ^a	1,17 ^a	1,43 ^a	1,76 ^a	0,273
B.fibrisolvans	1,02 ^b	0,42 ^a	1,12 ^b	1,35 ^b	1,41 ^b	0,004
Bacteroides	1,01 ^a	1,21 ^a	1,40 ^{ab}	1,91 ^c	1,66 ^{bc}	0,006
Prevotella	1,21 ^a	1,28 ^a	1,19 ^a	1,41 ^a	1,76 ^a	0,848
S.ruminantium	1,01 ^a	1,27 ^{ab}	1,17 ^{ab}	1,62 ^{bc}	1,94 ^c	0,014

Keterangan: CH0: kontrol ransum basal; CH1: CH0 + 6% kitosan galur 804; CH2: CH0 + 6% kitosan galur PS01; CH3: CH0 + 6% kitosan Hybrid; CH4: CH0 + 6% kitosan komersial, perbedaan superscript pada baris yang sama (^{a,b}) menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$).

Sumber: Sagala et al. (2024)

Pendekatan lainnya untuk melihat interaksi dan rekayasa aktivitas mikrobioma rumen melalui pemberian suplemen dan pakan aditif yang efektif memberikan dampak positif ganda terhadap lingkungan dan efisiensi produksi ternak (Khan et al., 2024). Keberhasilan upaya pemberian pakan tambahan untuk melihat dampaknya secara nyata dapat dianalisis menggunakan pendekatan teknologi metagenomik yang menganalisis profil keragaman mikroba melalui teknik *quantitative real time* PCR (Astuti et al., 2022; Putra et al., 2023; Ridwan et al., 2019; Sagala et al., 2024) dan *next-generation sequencing* (NGS) (Adawiah et al., 2025; Du et al., 2024; Khan et al., 2023; Ridwan et al., 2023).

III. MITIGASI DAN REDUKSI METAN ENTERIK PADA RUMINANSIA

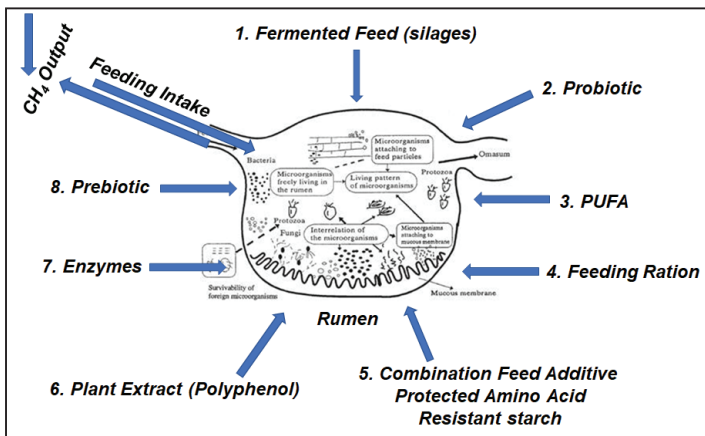
Ruminansia terutama sapi potong merupakan salah satu kontributor yang signifikan terhadap emisi CH_4 enterik ke lingkungan dari sektor peternakan. Secara alamiah CH_4 dihasilkan selama fermentasi dalam rumen yang berpotensi kehilangan energi dan menurunkan produktivitas ruminansia (Tseten et al., 2022). Metanogenesis adalah proses pembentukan CH_4 di rumen oleh metanogen dengan memanfaatkan sebagian besar hasil fermentasi dari konsorsium mikroba dari substrat karbohidrat, sumber serat dan bahan pakan lainnya menghasilkan VFA, H_2 dan CO_2 .

Proses tersebut terbagi ke dalam empat tahapan, yaitu hidrolisis pemecahan senyawa kompleks, acidogenesis, acetogenesis dan tahap akhir metanogenesis oleh metanogen (Khairunisa et al., 2023; Morgavi et al., 2010; Patra et al., 2017). Tiga proses awal (hidrolisis, acidogenesis dan acetogenesis) yang terjadi di rumen dilakukan oleh konsorsium mikroba rumen yang selanjutnya metanogen memanfaatkan H_2 untuk mereduksi sebagian besar substrat CO_2 menghasilkan CH_4 .

Berhubungan dengan prekursor metabolit utama yang digunakan metanogen di rumen dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama metanogen *hydrogenotrophic* yang menggunakan H_2 atau format sebagai donor elektron dan CO_2 sebagai sumber karbon untuk proses metanogenesis. Kelompok kedua adalah metanogen *acetoclastic* yang dapat melakukan metabolisme asetat dengan keberadaannya sangat sedikit di dalam rumen (Demirel & Scherer, 2008). Metanogen

hydrogenotrophic keberadaanya sangat dominan dan sangat umum dijumpai pada habitat rumen (Roques et al., 2024) dalam menghasilkan CH_4 enterik, diantaranya kelompok *archaea* dari *Methanobrevibacter* (Khairunisa et al., 2023; Ridwan et al., 2019).

Pendekatan yang dapat digunakan dalam mitigasi CH_4 enterik di rumen dengan tiga cara, yaitu modifikasi genetika ternak, vaksin, dan rekayasa efisiensi pakan (Tseten et al., 2022). Pendekatan rekayasa efisiensi pakan merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan dan diaplikasikan dalam mereduksi produksi CH_4 di rumen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Ilustrasi: Ridwan (2024)

Gambar 3.1 Pendekatan Rekayasa Efisiensi Pakan untuk Mitigasi Metan Enterik di Rumen

Pendekatan tersebut terbagi menjadi tiga bagian besar sebagai berikut.

A. Proporsi Pemberian dan Rekayasa Kualitas Nutrien Pakan

Produktivitas sapi sangat ditentukan oleh ketersediaan pakan yang merupakan faktor ke dua setelah genetik ternak (VandeHaar et al., 2016). Ketersediaan pakan secara kontinu dapat dilakukan melalui proporsi pemberian konsentrat dan hijauan yang seimbang, penggunaan hasil samping pertanian, perkebunan, dan limbah pengolahan pangan, serta proses *pretreatment* bahan pakan. Proporsi pemberian pakan ruminansia memberikan pengaruh dalam rumen terhadap imbalan asetat/propionat (A/P). Nilai imbalan A/P lebih kecil akan menguntungkan karena dapat memasok energi lebih banyak pada tubuh ruminansia. Asam propionat merupakan VFA bersifat glukogenik yang dapat menjadi prekursor dalam sintesis glukosa melalui proses glukoneogenesis dan jalur asam laktat (Wang et al., 2023).

Pada sintesis asam propionat oleh mikroorganisme penghasil propionat membutuhkan gas H_2 sehingga gas H_2 di rumen berkurang. Berkurangnya gas H_2 mengakibatkan rendahnya aktivitas metanogen dalam memproduksi CH_4 enterik sehingga fermentasi mengarah pada pembentukan asam propionat yang lebih menguntungkan (Ridwan et al., 2014). Selain itu, potensi energi yang hilang atau terbuang sebagai gas CH_4 enterik menjadi berkurang (Johnson & Johnson, 1995; Moss et al., 2000).

Rekayasa dalam mengubah komposisi pakan merupakan strategi yang paling mudah dan murah dalam mitigasi CH_4 enterik. Pendekatan mengubah proporsi antara konsentrat dan hijauan berdampak cukup signifikan dalam proses metabolisme rumen (Sari et al., 2019). Rekayasa meningkatkan kualitas pakan dapat juga dengan melakukan *bypass* rumen dari sumber nutrisi pakan mudah terdegradasi dan meningkatkan aliran di rumen menuju pasca rumen dilakukan melalui metode proteksi.

Bypass rumen adalah nutrisi pakan yang lolos degradasi mikroba rumen atau disebut juga *rumen undegradable*. Salah satu nutrisi *bypass* rumen adalah *rumen undegradable protein* (RUP) yang dapat menyuplai langsung kebutuhan protein tubuh ke usus halus (Irawan et al., 2023; Talapessy et al., 2024).

Peningkatan nilai nutrisi melalui proses pengolahan, baik secara kimia, dan fisik, serta biologis memberikan hasil pergeseran metabolisme dalam pembentukan VFA. Sumber serat yang berasal dari hasil samping pelepah kelapa sawit dan jerami padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan dengan *pretreatment* melalui teknologi *fiber cracking* (Jayanegara et al., 2019; Muthia, et al., 2021). Kombinasi *fiber cracking* dengan penambahan urea dapat meningkatkan nilai nutrisi, produksi gas yang lebih tinggi pada waktu 24 dan 48 jam, dan pencernaan *in vitro* jerami padi dibandingkan tanpa penambahan urea (Muthia et al., 2021). Hasil *fiber cracking* dalam bentuk basah dapat dilakukan penyimpanan dengan metode fermentasi menjadi silase sehingga dapat disimpan lama dan terjaga dari kerusakan oleh mikroorganisme pembusuk.

Penggunaan bahan kimia larutan asam, basa, dan netral serta perlakuan enzim memberikan hasil yang cukup signifikan dalam *pretreatment* pelepah sawit. *Pretreatment* kimia dan enzim memiliki persentase kristalinitas yang lebih rendah dan peningkatan *amorph* berpotensi meningkatkan nilai kegunaan serat untuk pakan ruminansia (Wafiyatunnufus et al., 2023).

Teknologi lainnya dalam peningkatan kualitas nilai nutrisi pakan yaitu pati resisten (RS) dapat diterapkan pada bahan pakan sumber pati, seperti singkong, ubi jalar, jagung, dan umbi-umbian yang dievaluasi dalam fermentasi rumen. Metode RS ini menggunakan *heat shock* pada suhu 121°C dan suhu -20°C pada waktu yang berbeda. Pembuatan RS untuk menurunkan

aktivitas degradasi di rumen dan meningkatkan *bypass* rumen. Indikator keberhasilan dari RS dalam fermentasi rumen dapat mengurangi degradasi bahan kering (BK) di rumen, produksi gas, menurunkan CH₄ selama 12 jam, meningkatkan VFA, kadar propionat, mengubah karakteristik pati, meningkatkan RS secara signifikan, membatasi aktivitas pencernaan rumen ditunjukkan pada Tabel 3.1 (Putra et al., 2023).

Tabel 3.1 Nilai Daya Cerna Rumen dan Pasca Rumen dari Pati Resisten

Parameter	Perlakuan				p-value
	HMT0	HMT1	HMT2	HMT3	
Rumen DMD (%)	85,62 ^a	81,52 ^b	81,99 ^b	83,02 ^{ab}	0,011
Pasca-rumen DMD (%)	4,88	5,55	4,68	5,55	0,980
Total DMD (%)	90,50	87,06	86,66	88,56	0,335
Rumen OMD (%)	97,54	96,01	96,38	96,80	0,237
Pasca-rumen OMD (%)	2,04	2,71	2,90	2,57	0,767
Total OMD (%)	99,57	98,71	99,28	99,37	0,208

Keterangan: HMT; *heat-moisture treatment*, HMT0; kontrol, HMT1;1 kali HMT, HMT2; 2 kali HMT, HMT3; 3 kali HMT, SEM=*standard error of mean*, DMD=*dry matter digestibility*, OMD=*organic matter digestibility*, perbedaan yang nyata pada (p < 0.05).

Sumber: Putra et al. (2023)

Fidriyanto et al., (2021) melakukan *pretreatment* pada beras melalui perendaman selama 30 dan 60 menit. Hasilnya dapat menurunkan daya cerna BK rumen sebesar 6,13% dan 8,90% serta meningkatkan daya cerna BK pasca rumen masing-masing sebesar 10,41% dan 10,43%. Potensi penerapan metode *heat shock* tersebut dapat menurunkan CH₄ enterik dan daya cerna

dalam rumen, serta meningkatkan daya cerna di pasca rumen dan ileum.

Pemanfaatan bahan pakan potensial lainnya dari limbah pertanian sebagai pakan ruminansia dalam mitigasi gas CH_4 enterik adalah kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), kulit buah delima (*Punica granatum* L.), kulit jeruk purut (*Citrus hystrix* DC.), dan buah harendong *Melastoma candidum* D.Don. Kulit jeruk purut memiliki daya cerna dan produksi VFA yang lebih tinggi, dan buah harendong sebagai sumber senyawa fenolik untuk mengurangi produksi CH_4 enterik (Fidriyanto et al., 2023). Kulit jeruk purut dan kulit delima berpotensi digunakan sebagai pakan ruminansia dalam produksi gas, SCFA, dan laju produksi gas.

Pemanfaatan limbah lainnya, seperti limbah serai dapat digunakan dan memberikan pengaruh terhadap perubahan profil VFA parsial yang disebabkan oleh adanya perubahan komposisi asam asetat. Penurunan rasio A/P secara signifikan terjadi pada penggunaan limbah serai sebesar 100%. Penggunaan limbah serai dapat menggantikan rumput gajah sampai 25% pada pakan tinggi hijauan tanpa terjadi penurunan produksi gas potensial, daya cerna dan total VFA (Fidriyanto et al., 2021).

Upaya peningkatan daya cerna pakan dapat dilakukan melalui *bypass* rumen. Pengeringan kacang kedelai pada suhu 70°C atau 80°C dapat menurunkan daya cerna protein kasar kacang kedelai dibandingkan dengan pengeringan pada suhu 50°C atau 60°C. Suhu pengeringan yang lebih tinggi menghasilkan konsentrasi NH_3 yang lebih rendah, menjaga kualitas gizi kacang kedelai dan kacang merah sebagai bahan pakan sumber protein yang dapat *bypass* rumen (Jayanegara et al., 2017). Upaya atau cara *Bypass* rumen lainnya yaitu dengan penambahan tanin pada bungkil kedelai dan indigofera untuk menurunkan degradasi

rumen (Arisya et al., 2019). Sumber protein asam amino akan lebih baik dilakukan proteksi (Irawan et al., 2023) dengan penambahan *polyphenol* dan polisakarida *xanthan gum* dalam meningkatkan proteksi dan degradasi di rumen disajikan pada Tabel 3.2 (Talapessy et al., 2024).

Tabel 3.2 Degradasi Asam Amino Lisin Terproteksi pada Pasca Rumen

Parameter	P0	P1	P2	P3	p-value
Degradasi BK (%)	91,9 ^a	89,2 ^a	86,3 ^b	84,8 ^b	<0,05
Undegradable BK (%)	8,0 ^a	10,7 ^a	13,6 ^b	15,1 ^b	<0,05
Degradasi protein (%)	53,1 ^c	15,9 ^a	37,1 ^b	10,3 ^a	<0,05
Undegradable protein (%)	46,8 ^a	84 ^c	62,8 ^b	89,6 ^c	<0,05

Keterangan; P0 =100 g kontrol (lisin komersial), P1 = P0 + 2 g *xanthan gum*, P2= P0 + 2g tanin chesnut, P3= P0 + 2 g *xanthan gum* + 2 g tanin chesnut, BK= bahan kering. Superskrip dengan huruf berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan (P<0,05).

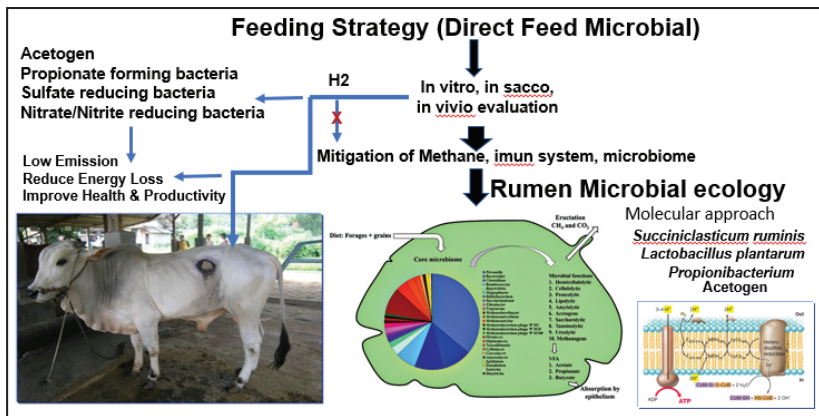
Sumber: (Talapessy et al., 2024)

B. Pakan Berbasis Mikroba dan Pakan Fermentasi

Probiotik merupakan suplemen pakan berupa mikroba hidup yang menguntungkan bagi hewan inangnya dengan cara memperbaiki keseimbangan mikroba dalam saluran pencernaan (Fuller, 1989). Pemberian pakan fermentasi berbasis mikroba secara langsung dapat berperan sebagai probiotik apabila populasi mikroba yang baik dalam silase masih dapat bertahan sampai di rumen (Ellis et al., 2016; Ridwan et al., 2009). Probiotik yang dapat digunakan berasal dari berbagai jenis mikroorganisme tergantung dari target organ yang dituju. Probiotik penghasil asam propionat, yaitu *Propionibacterium* dapat memanfaatkan H₂ yang ada di rumen dan berkompetisi dengan metanogen sehingga metanogen

kekurangan substrat H_2 dalam proses metanogenesisnya (Ridwan et al., 2019).

Mekanisme kerja probiotik berbasis bakteri asam laktat (BAL) tipe homofermentatif penghasil asam laktat memiliki peran dalam menyuplai asam laktat di rumen. Asam laktat yang dihasilkan dapat digunakan oleh bakteri pengguna asam untuk menghasilkan produk akhir asam propionat (Cholewińska et al., 2020). Kompetisi substrat H_2 dalam mereduksi CO_2 oleh metanogen menjadi salah satu indikator dalam proses inhibitor metanogenesis (Gambar 3.2).

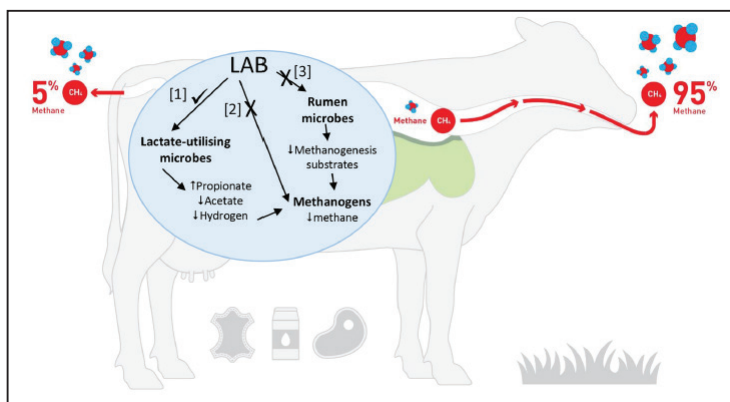


Ilustrasi: Ridwan (2024)

Gambar 3.2 Mekanisme Pakan Fermentasi Berprobiotik untuk Mitigasi Metan dan Menurunkan Energi yang Hilang di Dalam Rumen

Probiotik telah dikembangkan sebagai alternatif bahan pakan untuk meningkatkan kesehatan dan produktivitas hewan. Bakteri diisolasi dari habitat aslinya (rumen) dan dilakukan penapisan bakteri sebagai probiotik unggul dalam metabolisme rumen. Terdapat bakteri probiotik yang berpotensi ikut berperan dalam mereduksi CH_4 secara *in vitro* (Astuti et al., 2018a; 2018b;

Ridwan et al., 2018) dan *in vivo* (Adawiah et al., 2025; Astuti et al., 2022). Potensi penggunaan probiotik BAL dalam mitigasi CH_4 enterik dapat dilihat pada Gambar 3.3. Produksi gas CH_4 sekitar 95% terlepas melalui eruktasi hasil produksi di rumen dan sebagian kecil terbuang melalui feses. Penghambatannya dapat dilakukan pada proses metanogenesis di rumen melalui kompetitif substrat H_2 (Adawiah et al., 2025; Doyle et al., 2019).



Sumber: Doyle et al. (2019)

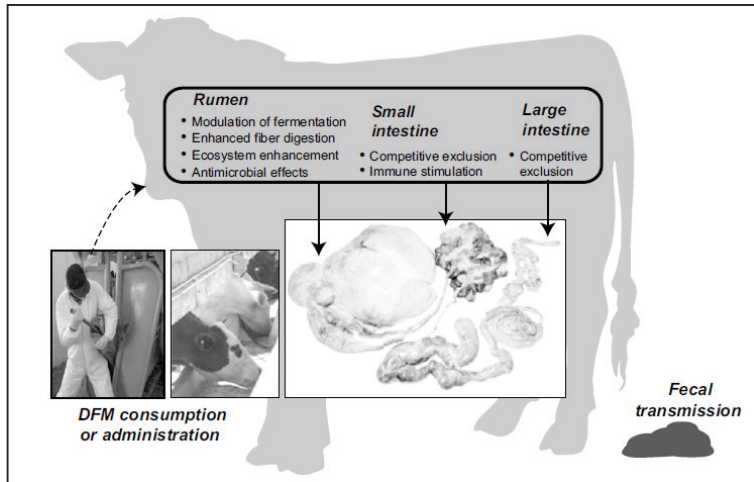
Gambar 3.3 Potensi *Pathway* dari BAL untuk Menurunkan CH_4 di Rumen

Probiotik *Lactiplantibacillus plantarum* pakan ruminansia mampu meningkatkan daya cerna bahan organik (Islami et al., 2024; Sari et al., 2019), produksi total VFA, asam propionat, menurunkan proporsi asam asetat (Astuti et al., 2022) dan menurunkan populasi metanogen yang berpotensi dalam mitigasi CH_4 enterik (Adawiah et al., 2025). Penggunaan probiotik *L. plantarum* bertujuan untuk meningkatkan interaksi dengan mikroba rumen dalam metabolisme rumen, menghambat aktivitas metanogen dan menstimulasi pengguna asam laktat (Adawiah et al., 2025; Astuti et al., 2007; Islami

et al., 2024). Bakteri penghasil asam laktat stabil dalam rumen, membantu mikroba beradaptasi dengan akumulasi asam laktat, meningkatkan bakteri pengguna asam laktat, dan menstabilkan pH rumen (Ridwan et al., 2018, 2019).

Probiotik memiliki potensi yang baik sebagai produk alternatif yang aman dalam menggantikan antibiotik sebagai immunomodulator. Sudah diketahui bahwa penggunaan antibiotik dapat menyebabkan resistensi terhadap populasi mikroba dan meninggalkan residu ke produk peternakan serta ke pangan untuk konsumsi manusia. Karakteristik mikroorganisme yang digunakan sebagai probiotik, yaitu non-patogenik, tahan terhadap kondisi pH rumen, kemampuan untuk berkolonisasi atau menempel di saluran pencernaan, stabil, dan mampu bertahan pada waktu penyimpanan dan kondisi lapangan (Ridwan et al., 2018; Ikusika et al. 2022; Rohmatussolihat et al., 2021; Astuti et al., 2019). Beberapa mikroorganisme probiotik yang digunakan dalam pakan ruminansia termasuk spesies bakteri dalam genera *Bacillus*, *Enterococcus*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* dan yeast *Saccharomyces cerevisiae* (Anadón et al., 2006).

Mekanisme utama probiotik yaitu pelepasan senyawa dengan efek penghambatan dan interaksi langsung antar sel (Al-shawi et al. 2020; Rodríguez-González et al., 2023). Asam organik, seperti asam laktat atau asam asetat, diproduksi oleh bakteri probiotik yang dapat menurunkan pH di saluran pencernaan sehingga kurang menguntungkan bagi kolonisasi patogen. Beberapa probiotik melepaskan senyawa antimikroba, seperti peptida (bakteriosin), hidrogen peroksida, dan biofilm untuk mencegah kolonisasi dan pertumbuhan bakteri patogen (Gambar 3.4) (McAllister et al., 2011; Saini et al., 2024).



Sumber: McAllister et al. (2011)

Gambar 3.4 Cara Kerja Pakan Mikroba sebagai Probiotik di Saluran Pencernaan Ruminansia

Probiotik dapat meningkatkan konsentrasi imunoglobulin dan menambah aktivitas makrofag. Selain itu, probiotik dapat memodulasi produksi sitokin anti dan proinflamasi untuk mengendalikan peradangan di dalam saluran pencernaan (McAllister et al., 2011). Probiotik terutama untuk hewan ruminansia dapat mengendalikan produksi amonia di rumen, mengurangi produksi CH_4 baik secara langsung atau tidak langsung, meningkatkan fermentasi mikroba, dan menstimulasi peningkatan daya cerna pakan (Rabetafika et al., 2023).

Tabel 3.3 Populasi Bakteri Rumen dengan Penambahan Probiotik

Bakteri rumen (log CFU/mL)	Perlakuan			
	T0	T1	T2	T3
<i>L. plantarum</i>	7,88	8,97	7,31	10,06
<i>R. albus</i>	9,88 ^a	10,02 ^a	12,62 ^b	12,60 ^b
<i>R. flavefaciens</i>	9,88	10,02	12,62	12,61
<i>T. bryantii</i>	7,28	7,55	6,79	6,68

Keterangan: T0; kontrol, T1; 10 mL/ekor/hari, T2; 20 mL/ekor/hari, T3; 30 mL/ekor/hari

Sumber: Astuti et al., (2022)

Lactiplantibacillus plantarum TSD-10 sebagai probiotik unggul yang telah diaplikasikan pemberiannya pada sapi PO sebanyak 10–30 ml/ekor/hari berpengaruh terhadap penurunan asam asetat dan peningkatan produksi propionat. Penambahan probiotik ini menstimulasi peningkatan *Ruminococcus albus*. Bakteri *R. albus* merupakan indigenus rumen yang berperan dalam mendegradasi sumber serat yang dikonsumsi oleh ruminansia. Dosis pemberian optimum *L. plantarum* TSD-10 sebagai probiotik pada rasio tinggi konsentrat dengan pemberian probiotik sebanyak 20 ml/ekor/hari (Tabel 3.3) (Astuti et al., 2022).

Pakan fermentasi atau pakan awetan segar yang dikenal sebagai silase sudah lama dan berkembang pesat di negara yang beriklim subtropis. Saat ini sudah cukup berkembang dan menyebar ke berbagai negara tropis termasuk Indonesia. Prinsip pembuatan silase adalah fermentasi hijauan segar sebagai substrat oleh BAL yang dominannya banyak menghasilkan asam laktat dalam kondisi anaerob/kedap udara. Golongan BAL homofermentatif mampu melakukan fermentasi fakultatif dalam

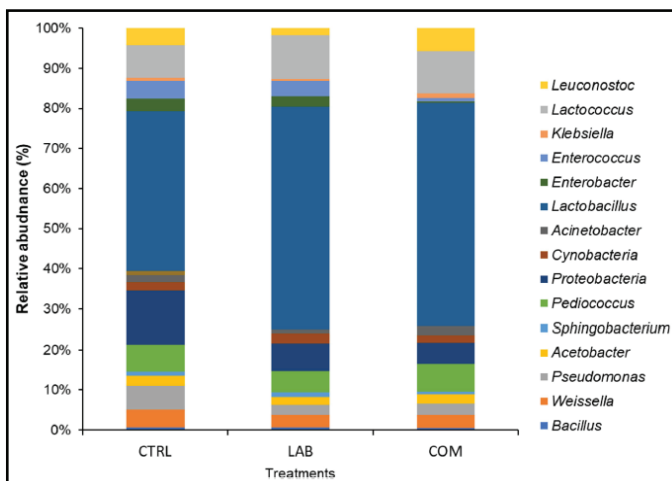
keadaan aerob sampai anaerob, sangat sesuai diaplikasikan untuk berkompetisi pada awal fermentasi.

Asam laktat yang dihasilkan selama proses fermentasi akan berperan sebagai zat pengawet atau biopreservatif sehingga dapat menghindarkan pertumbuhan mikroba pembusuk. Untuk mengatasi rendahnya kandungan BK dan sumber karbohidrat tersedia sebagai *water soluble carbohydrate* (WSC) di hijauan pakan wilayah tropis dapat ditambahkan sumber WSC, seperti dedak padi dengan berbagai level penggunaan (Ridwan et al., 2005).

Faktor lainnya yang memengaruhi dalam pembuatan silase adalah kondisi iklim lingkungan tropis. Pada kondisi tersebut banyak mikroorganisme pengganggu yang terdapat dalam bahan silase atau di lingkungan sekitar sehingga sangat perlu ditambahkan inokulan silase sebagai bakteri yang dapat mendominasi pada saat awal fermentasi (Ratnakomala et al., 2006). Bakteri *L. kimchii* InaCC-B982 terpilih sebagai kandidat unggul inokulan silase rumput gajah yang memiliki karakteristik pH 3,77, konsentrasi asam laktat 285,5 mM, aktivitas selulolitik 7,288 U/mL, dan aktivitas anti bakteri >95% terhadap *E. coli*, *M. luteus*, *S. auerus*, *K. michiganensis*, *S. lloydii*, *S. gallinarum*, dan aktivitas anti jamur <15% terhadap *M. ramosissimus*, *A. flavus*, *F. oxysporum*, dan *P. griseofulvum* (Rohmatussolihat et al., 2024).

Pemanfaatan leguminosa lokal sebagai bahan silase, seperti *Caliandra calothyrsus*, dan daun *Acasia vilosa* (Putri et al., 2013; Sidiq et al., 2013) mempunyai potensi sebagai bahan pakan tinggi kandungan protein kasar. Selain itu, leguminosa memiliki kandungan *polyphenol* untuk digunakan sebagai pakan imbuhan ternak sapi (Ridwan et al., 2015). Sumber hijauan lainnya seperti limbah pohon jagung (Sari et al., 2017; Zaenal

et al., 2023) dan limbah sayuran (Astuti et al., 2013) dapat digunakan sebagai bahan silase dengan kualitas yang baik. Hasil samping dari perkebunan dan pertanian seperti pelepah sawit (Astuti et al., 2020; Jayanegara et al., 2019; Komalasari et al., 2014) dan jerami padi (Du et al., 2024; Sarwono et al., 2022) dapat dimanfaatkan sebagai sumber hijauan yang diawetkan sebagai silase yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.



Sumber: Ridwan et al. (2023)

Gambar 3.5 Struktur Kelimpahan Relatif Bakteri dalam Silase pada Tingkat Genus

Dinamika populasi yang terjadi dalam proses fermentasi silase dapat dieksplorasi keragaman mikrobiomanya yang dibedakan berdasarkan jenis inokulan BAL dan jenis bahan bakunya melalui pendekatan meta-analisis (Ridwan et al., 2023). Keberadaan *Weissella*, *Pseudomonas*, *Proteobacteria*, nilai pH, amonia (NH_3), dan coliform menurun secara signifikan karena penambahan inokulan BAL (Gambar 3.5).

Penambahan BAL secara efektif meningkatkan mikrobioma silase yang didominasi oleh *Lactobacillus* sp. dan kualitas silase dengan mengubah keragaman bakteri dan produk metabolisme untuk pengawetan yang aman (Du et al., 2024; Ridwan et al., 2023). Hasil ini sejalan dengan penelitian Ridwan et al., (2015) dengan pemanfaatan teknik T-RFLP mendapatkan dominasi *L. plantarum* pada silase rumput-leguminosa dengan menghasilkan kualitas silase yang baik.

Perbandingan rumput dan leguminosa 1:1 dalam silase dapat dijadikan acuan untuk menghasilkan produk pakan fermentasi tinggi protein dan pH yang cukup rendah (Ridwan et al., 2015). Silase leguminosa yang tinggi protein memberikan aroma dan karakteristik yang baik (Azzahra et al., 2025). Penentuan karakteristik silase tersebut dapat dilakukan melalui evaluasi fermentasi secara *in vitro* (Ridwan et al., 2014) dan *in vivo* pada sapi fistula (Ridwan et al., 2019) yang berpotensi menurunkan produksi CH₄ enterik di rumen dengan menurunkan kelimpahan relatif metanogen sebesar 4%.

Silase jerami padi segar yang dibuat dengan penambahan *L. plantarum* 1A-2 dan enzim selulase tunggal atau kombinasi sebanyak 2% dapat meningkatkan BK, protein kasar dan asam laktat serta daya cerna BK tertinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan inokulan *L. plantarum* tunggal atau dengan enzim selulase meningkatkan kualitas silase dengan menurunkan secara nyata fraksi serat (Tabel 3.4) (Sarwono et al., 2022).

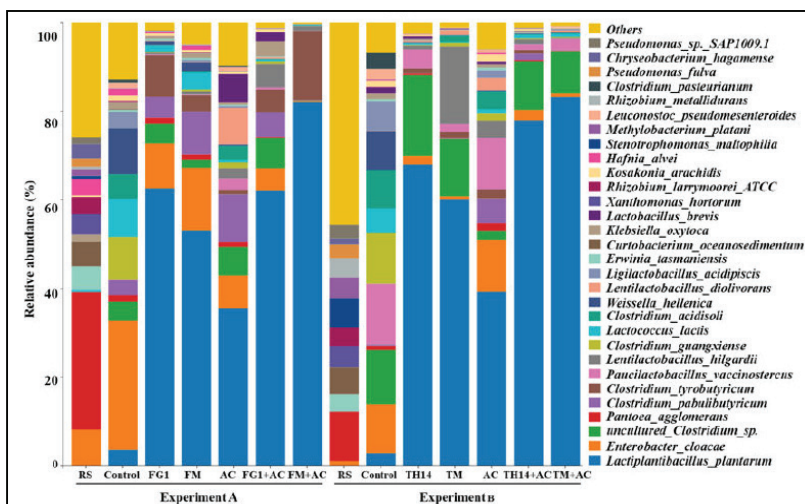
Tabel 3.4 Kualitas Silase Jerami Padi yang Ditambahkan Aditif

Perlakuan	Parameter (%BK)				
	BO	PK	SK	NDF	ADF
Kontrol	71,265 ^a	8,135 ^b	32,558 ^b	66,932 ^b	60,355 ^d
LAB1	73,668 ^b	8,870 ^c	25,755 ^a	59,893 ^a	47,259 ^{ab}
E1	72,138 ^{ab}	7,605 ^a	27,273 ^a	66,866 ^b	52,127 ^c
LAB1E1	75,678 ^c	8,218 ^b	25,838 ^a	60,826 ^a	44,456 ^a
E2	73,038 ^b	8,363 ^b	26,345 ^a	64,582 ^{ab}	49,228 ^{bc}
LAB2E2	73,245 ^b	8,138 ^b	27,495 ^a	67,206 ^b	47,496 ^{ab}

Keterangan: LAB1: 1% *L. plantarum* 1A-2; E1: 1 % enzim cellulase; LAB1E1: 1% *L. plantarum* 1A-2 and 1% enzim cellulase; E2: 2 % enzim cellulase; LAB2E2: of 2% *L. plantarum* 1A-2 and 2% enzim cellulase; BO: bahan organik, PK: protein kasar, SK: serat kasar, NDF: *Neutral Detergent Fiber*, ADF: *Acid Detergent Fiber*.

Sumber: Sarwono et al. (2022)

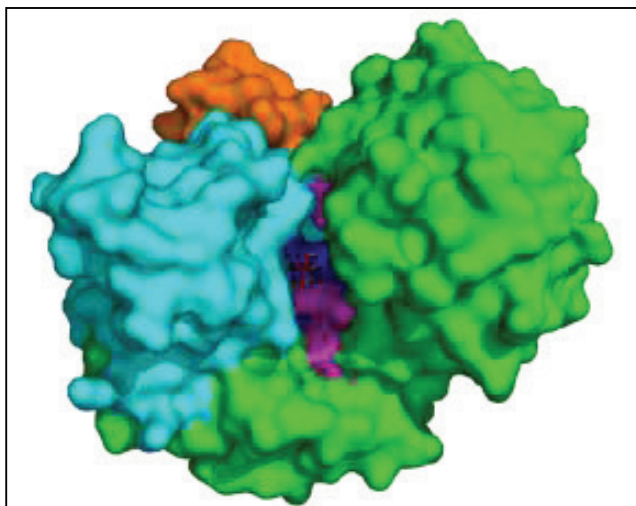
Perjalanan riset silase sudah cukup panjang dalam perkembangannya dilihat secara meta analisis dari penggunaan inokulan obligat homofermentatif dan heterofermentatif. Secara linier menurunkan pH dan meningkatkan asam laktat selama proses fermentasi, tetapi tidak berpengaruh pada stabilitas aerobik. Inokulan BAL dengan penambahan enzim fibrolitik menurunkan pH sebesar 12,15%, meningkatkan asam laktat dan menurunkan NDF. Semua jenis inokulan efektif untuk meningkatkan kualitas silase, respon bahan tanaman terhadap inokulan yang mengandung enzim fibrolitik (Irawan et al., 2021). Dominasi *L. plantarum* terbukti dari hasil riset penambahan inokulan dan aditif lainnya serta kajian meta-analisis bahwa proses silase mulai tahap fermentasi sampai pada tahap stabil dan panen menurunkan dominasi bakteri yang tidak menguntungkan (Gambar 3.6) (Du et al., 2024; Ridwan et al., 2023).



Sumber: Du et al. (2024)

Gambar 3.6 Kelimpahan Relatif Bakteri pada Silase Jerami Padi

Penambahan bahan aditif untuk meningkatkan kualitas silase juga dapat dilakukan menggunakan minyak esensial berupa cumin. Cumin dapat berikatan cukup kuat dengan reseptor pada *glutamate dehydrogenase* (GDH) (Gambar 3.7), yang selanjutnya memberikan pengaruh terhadap penghambatan dari proses deaminasi atau proteolisis dari sumber protein pada proses fermentasi silase. Kualitas silase dari penambahan cumin dapat meningkatkan kadar BK, protein kasar, dan lemak kasar, menurunkan kandungan ADF dan kadar ammonia dari silase dibandingkan dengan kontrol (Susanto et al., 2025). Peningkatan kualitas nutrisi silase ini secara langsung dan tidak langsung pada saat dikonsumsi oleh ternak dapat memberikan pengaruh terhadap mitigasi CH_4 di rumen.



Sumber: Susanto et al. (2025)

Gambar 3.7 Domain dari *Glutamate Dehydrogenase* (GDH) sebagai Salah Satu Reseptor dari Cumin

C. Pakan Tambahan Berupa Pakan Imbuhan dan Pakan Suplemen

Pakan imbuhan diberikan dengan tujuan memberikan pengaruh terhadap jalannya metabolisme rumen dan secara langsung atau tidak langsung memberikan mitigasi terhadap proses metanogenesis dalam memproduksi CH_4 enterik di rumen. Salah satu pakan imbuhan yang saat ini cukup populer, yaitu polifenol tanin. Manfaat tanin sudah banyak diteliti untuk menurunkan emisi CH_4 enterik. Mekanisme penghambatannya, baik secara langsung maupun secara tidak langsung terhadap metanogen di rumen (Adawiah et al., 2025; Jayanegara et al., 2011; Ridwan et al., 2014, 2019).

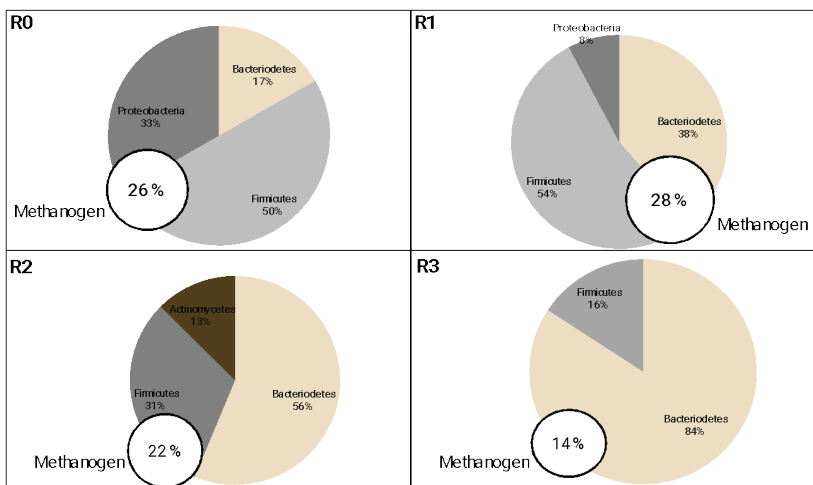
Mekanisme proses penghambatannya adalah sebagai berikut: (1) Secara langsung dapat menghambat aktivitas metanogen dalam proses metanogenesis; (2) Secara tidak langsung dengan melalui aktivitas sebagai anti protozoa. Metanogen dan protozoa diketahui memiliki hubungan endosimbion dalam hidupnya sehingga populasi protozoa berkurang dan metanogen secara tidak langsung mengalami penurunan; (3) Berperan sebagai anti bakteri dan anti fungi, berkurangnya bakteri dan fungi menyebabkan turunnya daya cerna pakan, sehingga substrat yang dibutuhkan untuk produksi CH_4 mengalami penurunan (Ridwan et al., 2019).

Beberapa pakan tambahan yang potensial, meliputi:

1. Polifenol tanin

Tanin secara umum dapat menghambat pertumbuhan beberapa mikroba rumen, namun masih belum jelas mekanisme kerja secara menyeluruh. Tanin sangat reaktif terhadap dinding sel dan enzim ekstra seluler yang disekresikan oleh bakteri yang selanjutnya menghambat regulasi nutrien ke sel dan menghambat pertumbuhan.

Tanin dari *C. calothyrsus* dapat menurunkan gas CH_4 secara *in vitro* (Jayanegara et al., 2011) dan menurunkan kelimpahan relatif dari metanogen sebesar 4% pada saat diberikan pakan silase rumput-leguminosa yang mengandung *C. calothyrsus* pada sapi fistula secara *in vivo* (Gambar 3.8).



Sumber: Ridwan et al. (2019)

Gambar 3.8 Kelimpahan Relatif dari Bakteri Rumen dan Metanogen

Mekanisme mitigasi CH_4 enterik dengan penambahan tanin disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor, yaitu penurunan daya cerna serat menyebabkan penurunan produksi H_2 dan menghambat secara langsung pertumbuhan metanogen (Króliczewska et al., 2023). Tanin mempunyai efek yang berbeda pada setiap mikrobioma rumen tergantung dari konsentrasi dan komposisi tanin, sumber dan sifat tanin (Rira et al., 2022). Pemberian pakan yang mengandung tanin mampu meningkatkan efisiensi pakan dan memiliki aktivitas anti mikroba. Mekanisme aktivitas anti mikroba tanin adalah bersifat langsung yaitu terhadap produksi enzim oleh mikroba melalui agresi sel dan/ atau gangguan terhadap membran sel metanogen (Huang et al., 2018).

Tanin dapat diproduksi melalui ekstraksi menggunakan *hot water extraction*. Metode ekstraksi ini paling aman untuk bahan yang bersumber dari limbah kulit kayu *Hevea brasiliensis*

dan *Durio zibethinus* (Sujarnoko et al., 2020), serta *Acacia mangium*. Tanin dapat digunakan sebagai proteksi ampas tahu dari degradasi rumen (Sujarnoko et al., 2020). Ekstrak tanaman *Acacia* dan *Quebracho* telah digunakan sebagai pakan imbuhan pada ternak ruminansia untuk pemanfaatan nutrisi, kinerja, dan menurunkan produksi CH_4 , berkorelasi negatif dengan amonia, asam asetat, rasio A/P, dan menurunkan degradasi protein di rumen (Fitri et al., 2022).

Pengaruh penggunaan tanin yang diekstraksi dari *Acacia* dan *Chestnut* terhadap kinetika degradasi fermentasi ampas kecap dengan BAL dan non fermentasi telah dievaluasi secara *in vitro* dan *in sacco*. Hasil perlakuan tersebut menunjukkan penambahan tanin memiliki efek perlindungan terhadap kualitas nutriennya (Sadarman et al., 2019, 2020, 2021).

Ekstrak buah harendong berpotensi digunakan sebagai sumber senyawa fenolik untuk mengurangi produksi CH_4 enterik karena kandungan fenolik dan flavonoidnya yang lebih tinggi (Fidriyanto et al., 2023). Hasil limbah dari proses ekstraksi masih bermanfaat untuk dijadikan bahan pakan dengan melihat indikator fermentasi rumen. Limbah hasil ekstraksi kulit jeruk purut dan delima memiliki potensi produksi gas cukup tinggi, VFA, dan laju produksi gas (Fidriyanto et al., 2023). Pemanfaatan ekstrak buah harendong ini dapat digunakan sebagai *protectant*/pelindung yang berikatan kompleks dengan pati sebagai bahan penyalut dapat diaplikasikan dalam mitigasi CH_4 enterik di rumen (Tabel 3.5) (Fidriyanto et al., 2024).

Sumber bahan pakan alami yang potensial lainnya adalah rumput laut *Halymenia* sp., *Caulerpa racemosa* dan *Gracilaria coronopifolia* karena memiliki kandungan anti oksidan dan dapat berperan dalam mitigasi produksi CH_4 enterik (Wahyuni et al., 2023). Pemanfaatan teknologi *scanning near infrared* menggunakan alat NIR dapat digunakan juga dalam penapisan

Tabel 3.5 Produksi Gas dan Metan dengan Perlakuan Ekstrak Buah Hanrendong Komplek Pati

Parameter	SE-00E	SE-05E	SE-10E	SE-15E	p-value
Produksi Gas (mL)					
2 jam	15,63 ^c	7,75 ^b	6,63 ^{ab}	5,75 ^a	<0,001
4 jam	32,31 ^c	15,25 ^b	13,44 ^{ab}	11,88 ^a	<0,001
6 jam	50,49 ^d	23,50 ^c	21,00 ^b	18,63 ^a	<0,001
8 jam	67,74 ^d	34,25 ^c	30,25 ^b	26,63 ^a	<0,001
10 jam	81,86 ^d	46,44 ^c	39,69 ^b	34,56 ^a	<0,001
12 jam	93,80 ^d	57,13 ^c	49,25 ^b	43,13 ^a	<0,001
24 jam	145,30 ^d	115,38 ^c	103,19 ^b	94,38 ^a	<0,001
48 jam	189,61 ^d	177,69 ^c	166,00 ^b	160,00 ^a	<0,001
a+b (mL)	206,33 ^a	275,90 ^b	300,24 ^b	371,66 ^c	0,002
c (mL/h)	0,053 ^c	0,023 ^b	0,018 ^b	0,013 ^a	<0,001
Produksi gas CH ₄ (mg/g BK)					
2 jam	10,65 ^c	3,24 ^b	2,56 ^a	2,18 ^a	<0,001
4 jam	27,16 ^c	7,45 ^b	6,05 ^{ab}	4,72 ^a	<0,001
6 jam	39,62 ^c	11,66 ^b	9,50 ^{ab}	7,60 ^a	<0,001
8 jam	48,41 ^c	15,97 ^b	12,99 ^{ab}	10,49 ^a	<0,001
10 jam	54,05 ^c	18,72 ^b	15,43 ^{ab}	12,29 ^a	<0,001
12 jam	60,09 ^c	22,48 ^b	18,19 ^a	14,66 ^a	<0,001
24 jam	76,33 ^c	32,38 ^b	26,53 ^a	22,86 ^a	<0,001
48 jam	89,24 ^c	39,67 ^b	32,56 ^a	27,72 ^a	<0,001
a+b (mg)	87,61 ^c	41,31 ^b	33,95 ^a	29,58 ^a	<0,001
c (mg/h)	0,103 ^b	0,068 ^a	0,067 ^a	0,062 ^a	<0,001

Keterangan; 0E; Kontrol tanpa penambahan ekstrak, 5E; 5% ekstrak, 10E; 10% ekstrak, 15E; 15% ekstrak.

Sumber: Fidriyanto et al., (2024)

cepat untuk mengetahui prediksi kandungan polifenol dalam mitigasi CH₄ enterik. Alat NIR dapat memprediksi kandungan nutrisi dan polifenol bahan pakan dengan hasil yang akurat dalam waktu yang singkat. Penentuan prediksi tersebut dengan memanfaatkan persamaan regresi dari sampel yang sudah dijadikan standar dalam analisis (Parastiwi et al., 2023).

2. Saponin

Saponin termasuk glikosida dengan berat molekul cukup tinggi, dengan gula yang terikat pada aglikon hidrofobik. Saponin biasanya terdapat sebagai glikosida steroid atau sebagai triterpen polisiklik. Saponin secara umum dapat diklasifikasikan sebagai steroid dan triterpenoid yang terdapat dalam berbagai pohon dan semak tropis. Saponin ini memiliki mekanisme kerja dengan cara memengaruhi aktivitas dan jumlah populasi dari protozoa atau dikenal dengan defaunasi. Protozoa dan metanogen sebagian besar hidup komensal atau endosimbion sehingga secara tidak langsung memengaruhi proses metanogenesis dalam memproduksi CH₄ enterik (Jayanegara et al., 2014; Ku-Vera et al., 2020).

3. Asam lemak

Pemanfaatan aditif lainnya dalam mitigasi CH₄ enterik, yaitu suplementasi asam lemak dan turunannya, seperti *poly unsaturated fatty acid* (PUFA) dan *monounsaturated fatty acid* (MUFA) (Jayanegara et al., 2020), dan kitosan (Sagala et al., 2024). Pengaruh asam lemak sebagai aditif alami terhadap karakteristik fermentasi rumen dan aktivitas biohidrogenasi rumen secara *in vitro* memberikan dampak secara tidak langsung pada penurunan aktivitas metanogenesis (Jayanegara et al., 2020; Makmur et al., 2023; Sagala et al., 2024). Metode penghilangan

lipid dari larva BSF baik dengan ekstraksi mekanis maupun kimia meningkatkan pemanfaatannya dalam sistem fermentasi rumen *in vitro* (Mulianda et al., 2019).

4. Minyak esensial

Minyak esensial dikenal sebagai minyak atsiri yang dapat memberikan pengaruh dengan cara memodifikasi populasi mikroba rumen. Minyak atsiri dapat menghambat pertumbuhan metanogen secara langsung sekaligus berpotensi meningkatkan pertumbuhan mikroba rumen. Beberapa minyak atsiri juga dapat mengubah pola fermentasi rumen, yang berpotensi menyebabkan berkurangnya produksi CH_4 enterik (Capasso et al., 2017; Patra & Yu, 2012).

5. Suplemen pakan organik

Penambahan suplemen mineral organik BioNano-Se pada konsentrasi 25 ppm memberikan pengaruh terhadap perubahan karakteristik fermentasi rumen dengan meningkatkan pH rumen, laju produksi gas, daya cerna BK dan BO, dan menurunkan produksi gas total secara signifikan, namun tidak memengaruhi konsentrasi amonia. Ransum dengan proporsi tinggi konsentrat menghasilkan pH yang jauh lebih rendah, namun laju produksi gas dan daya cerna lebih tinggi. Dosis BioNano-Se yang lebih tinggi secara signifikan menurunkan laju produksi gas, produksi amonia dan berdampak pada perubahan proses fermentasi rumen (Nurfitrani et al., 2023). Produksi BioNano-Se dapat dilakukan pada BAL yang sekaligus dapat berperan sebagai probiotik (Nurfitrani et al., 2020).

Suplemen lainnya yaitu asam amino merupakan salah satu sumber protein yang mudah terdegradasi di rumen. Salah satu upaya untuk meningkatkan utilisasi asam amino atau sumber

protein lainnya diperlukan metode proteksi (Adawiah et al., 2025; Irawan et al., 2023; Talapessy et al., 2024). Pengaruh penambahan metionin terproteksi (RPM) pada ransum ruminansia terhadap fermentasi rumen dan konsentrasi asam amino plasma melalui penelitian *in vivo* menggunakan pendekatan meta-analisis menghasilkan meningkatkan konsentrasi asam propionat dan asam valerat secara linier, menurunkan konsentrasi asam asetat, tidak berpengaruh terhadap total VFA, rasio A/P, dan konsentrasi amonia. Penambahan RPM meningkatkan konsentrasi metionin dalam plasma secara linier dan meningkatkan homosistein, dapat memodifikasi fermentasi rumen dan memengaruhi asam amino plasma sehingga dapat memberikan manfaat bagi produktivitas ruminansia (Fitri et al., 2023).

6. Aditif bahan kimia

Pengaruh penambahan pakan imbuhan berupa nitrat dengan menggunakan meta-analisis dari uji *in vivo* secara signifikan menurunkan kandungan protein susu, kandungan lemak susu, asupan BK, asupan energi bruto, proporsi asam propionat, produksi CH_4 , dan metabolisme vitamin A dalam pola linier. Interaksi yang signifikan antara jenis ternak dan nitrat (bentuk dan dosis) terhadap kandungan protein susu, konsumsi BK, nilai pH rumen, total VFA, proporsi molar asam propionat, konsentrasi NH_3 , molekul H_2 , sintesis protein mikroba, metabolisme vitamin A, dan methemoglobin darah. Suplementasi nitrat sebagai aditif pakan alternatif untuk mengurangi CH_4 enterik pada ruminansia tanpa efek negatif pada kesehatan atau kinerja ternak meskipun berdampak pada tingkat konsumsi pakan (Abdelbagi et al., 2021, 2023) dan dapat dikombinasikan dengan probiotik sebagai pakan imbuhan yang aman (Abdelbagi et al., 2024).

Penambahan gabungan probiotik terenkapsulasi dengan nitrat memberikan pengaruh nyata terhadap produksi gas, produksi gas maksimum, total VFA, dan proporsi asam propionat, dan menurunkan CH_4 enterik, asam asetat, konsentrasi amonia, pH, dan daya cerna pakan. Namun, tidak ada pengaruh signifikan akibat penggabungan probiotik dengan nitrat nonenkapsulasi. Didapatkan interaksi signifikan antara probiotik enkapsulasi dan nitrat pada konsentrasi amonia. Penggabungan enkapsulasi probiotik dengan nitrat merupakan metode alternatif untuk meningkatkan proses fermentasi rumen dan mengurangi emisi CH_4 enterik pada ruminansia (Abdelbagi et al., 2024).

IV. PENERAPAN PAKAN RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN

Pendekatan mitigasi CH_4 enterik di rumen dengan pemanfaatan mikroba BAL merupakan salah satu inovasi pakan yang efisien dan mudah untuk diaplikasikan ke berbagai daerah di Indonesia (Gambar 4.1). Permasalahan yang ada di masyarakat peternak di berbagai daerah adalah adanya fluktuasi ketersediaan pakan khususnya hijauan. Ketersediaan tersebut disebabkan oleh luas lahan untuk penanaman hijauan tidak mencukupi, terjadinya produksi yang tidak optimum, dan pada saat musim kemarau terjadi penurunan produksi. Terjadinya fluktuasi pakan tersebut dapat menyebabkan penurunan kesehatan dan produktivitas ternak (Ridwan et al., 2015).



Foto: Ridwan (2024)

Gambar 4.1 Aplikasi Inokulan BAL dan Probiotik di Berbagai Daerah dan Perusahaan Peternakan

Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memaksimalkan hasil panen yang melimpah dan berkualitas pada saat musim penghujan. Hasil panen yang berkualitas tinggi dapat disimpan menggunakan metode pengawetan melalui fermentasi menjadi silase. Pembuatan silase menggunakan inokulan BAL memberikan hasil dengan karakteristik yang sangat baik (Irawan et al., 2021; Ridwan et al., 2023). Produktivitas ternak ruminansia dapat ditingkatkan dengan menambahkan secara kontinu pakan imbuhan dan pakan suplemen yang dapat memberikan pengaruh terhadap mitigasi CH₄ enterik dan menstimulasi sistem imun.

A. Inovasi Teknologi Pakan

Inokulan BAL yang dijadikan sebagai aditif silase dan probiotik secara khusus dapat ditumbuhkan pada medium MRS komersial. Medium MRS ini sampai saat ini masih di impor dan memiliki harga yang cukup tinggi. Salah satu solusinya adalah dengan inovasi pembuatan medium produksi alternatif untuk pertumbuhan BAL menggunakan bahan baku yang tersedia mudah di lokal dan diformulasikan dengan metode RSM sebagai paten [P00201606546]. Komposisi formulasi medium pertumbuhan BAL terdiri dari campuran protein hasil ekstraksi menggunakan *hot water extraction* dari sumber protein bahan pakan, molases, glukosa/*dextrose*, mineral campuran, dan air. Bahan-bahan tersebut disterilisasi dan diinokulasikan dengan isolat BAL sebagai probiotik. Hasil pertumbuhan BAL pada medium optimasi tersebut tidak berbeda nyata dengan medium MRS sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu inovasi dalam menyediakan probiotik cair BAL/inokulan silase. Hasil inovasi ini sudah diaplikasikan ke masyarakat peternak dan perusahaan peternakan lebih dari 25 kabupaten/kota dan provinsi. Hasil inovasi ini (IDP000066683) sudah dilisensikan kepada PT

Mitrayasa Dairy Natural dalam pembuatan pakan silase dan probiotik untuk ternak ruminansia.

Probiotik cair yang dihasilkan masih memiliki keterbatasan dalam hal distribusi ke berbagai pelosok daerah. Salah satu solusinya dengan dikembangkannya inovasi probiotik bubuk dengan formulasi dan komposisi menggunakan *oven vacuum* sebagai paten [P00201707656], dan starternya dibuat dalam bentuk kering beku sebagai paten [P00201809255]. Hasil inovasi tersebut memberikan terobosan sebagai salah satu metode produksi probiotik bubuk dengan viabilitas probiotik cukup tinggi dipengaruhi secara signifikan oleh CaCO_3 , CGM, dan zeolit. Berdasarkan model yang dikembangkan, jumlah *L. plantarum* TSD-10 yang optimum mampu bertahan hidup mencapai 100,01%, dengan kandungan pati, CaCO_3 , CGM, zeolit masing-masing sebesar 30%, 45%, 30%, dan 60% ([P00201707656]; (Rohmatussolihat et al., 2020).

Probiotik dalam bentuk kering beku menggunakan metode *freeze drying* memberikan hasil yang signifikan terhadap viabilitas inokulan *L. plantarum* TSD-10 BTCC 531 sebesar $1,95 \times 10^{12}$ CFU/g dengan peningkatan sebesar 34,9%, yang dipengaruhi nyata oleh susu skim dan CaCO_3 . Hasil percobaan validasi menunjukkan jumlah sel probiotik mencapai $2,17 \times 10^{12}$ CFU/ atau 11,43% lebih banyak dari prediksi jumlah koloni *L. plantarum* TSD-10 BTCC 531 dari model regresi yang dihasilkan ([P00201809255]; (Rohmatussolihat et al., 2021).

Produk inovasi berikutnya adalah paten media aktivasi yang dikembangkan dengan tujuan untuk menyediakan produk berupa medium aktivasi BAL dan *Bacillus* untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan produksi enzim. Bakteri probiotik yang digunakan dalam paten ini, yaitu *L. plantarum* TSD-10 BTCC 531 (TSD-10) dan *Bacillus* sp. [P00201904962]. Inovasi ini

memberikan terobosan untuk mempermudah produksi probiotik sekaligus memiliki aktivitas enzim dalam bentuk bubuk yang terdiri dari beberapa komposisi formulasi dengan target enzim tertentu. Media aktivasi ini mudah didistribusikan ke berbagai tempat untuk diaplikasi dalam pembuatan probiotik. Pada saat aplikasi media aktivasi ini 1% (W/V) dicampurkan dengan inokulum probiotik cair 1% V/V yang sebelumnya sudah ditumbuhkan terlebih dahulu. Didapatkan 5 formulasi media aktivasi optimum untuk produksi populasi *L. plantarum* dan *Bacillus* sp. dengan target enzim amilase, mananase, cellulase, dan xylanase. Paten ini masih ada keterbatasan apabila akan diaplikasikan, yaitu masih tetap perlu menumbuhkan inokulan probiotik 1 hari sebelum produksi sebagai *preculture* secara terpisah. Kemudian baru bisa digabungkan dengan media aktivasi untuk proses produksi probiotik.

Pengembangan inovasi berikutnya adalah pembuatan KI paten terdaftar probiotik instan bubuk yang sudah mengandung media aktivasi dan inokulan probiotik dalam satu kemasan sebagai paten [P00202304822]. Aplikasinya adalah secara langsung dilokasi dengan menambahkan probiotik bubuk instan (1-2% W/V) dilokasi tertentu pada suatu tempat produksi probiotik yang higienis/bersih bisa berupa tong, *torn*, jerigen, dan difermentasi dengan mencampurkan air yang bersih standar baku air minum. Waktu yang dibutuhkan dalam masa produksi adalah 1 hari untuk memberikan waktu aktif probiotik dalam memanfaatkan media dalam proses fermentasi. Hasil populasi yang didapatkan dalam aplikasi probiotik bubuk instan untuk *L. plantarum* dan *Bacillus* sp. adalah minimal 10^8 CFU/mL.

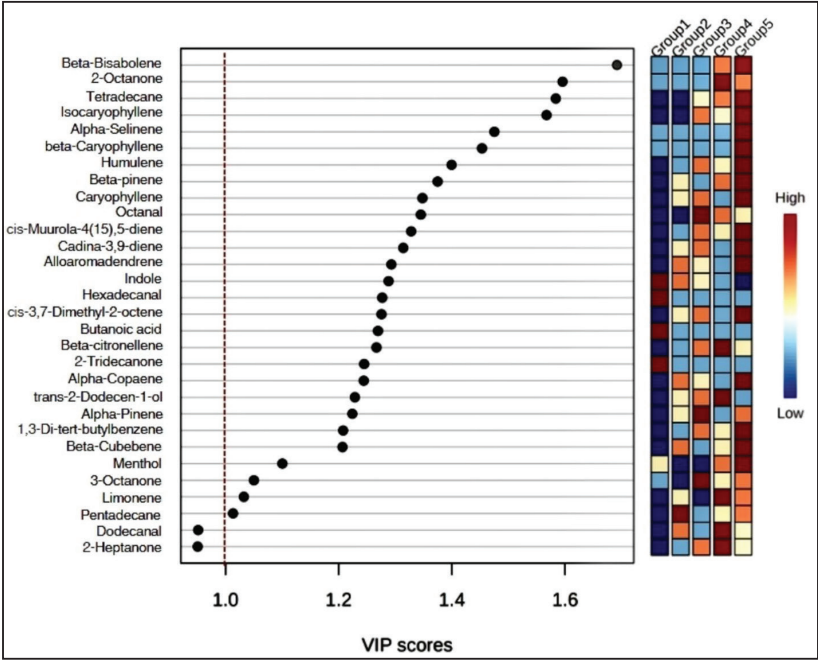
Selain produksi populasi bakteri probiotik dalam selnya, dilakukan inovasi pembuatan biomineral nano selenium (BioNano-Se) secara ekstraseluler dan intraseluler pada BAL

sebagai paten [P00201708606]. Inovasi BioNano-Se ini secara langsung terdapat di dalam sel bakteri probiotik bersamaan dengan proses produksi probiotik tersebut secara langsung.

Inovasi pembuatan inokulan untuk probiotik dan silase yang sudah dihasilkan memiliki kemampuan dalam hal penghambatan terhadap populasi *E. coli*, coliform, dan fungi. Perlakuan yang digunakan pada fermentasi jagung dengan *L. plantarum* DR-162 dan TSD-10 pada taraf 3% dan 5%. Alfatoxin AFB1 menurun secara signifikan sebesar 17,57% dan 22,60% pada perlakuan 5% *L. plantarum* DR-162 dan TSD-10 (Fidriyanto, et al., 2023). Modifikasi penggunaan probiotik lainnya, yaitu dengan metode enkapsulasi (Abdelbagi, et al., 2021), dikombinasikan dengan nitrat (Abdelbagi et al., 2024), dikombinasikan dengan enzim dan stimulasi enzim secara efektif mengurangi produksi CH₄ secara *in vitro* (Hartina et al., 2021; Islami et al., 2024).

Inovasi lainnya dengan dihasilkannya KI sebagai paten terdaftar [P00202405702] asam amino lisin terproteksi. Inovasi ini menggabungkan *protector* polifenol tanin, CaCO₃, *xanthan gum* dan matrik asam amino lisin dengan tujuan meningkatkan *bypass* rumen dan memberikan efek ganda terhadap anti metanogenesis dalam menurunkan produksi CH₄ enterik (Talapessy et al., 2024). Asam amino terproteksi pada KI ini dapat diaplikasikan pada penggabungan pakan imbuhan dalam formulasi kombinasi premik, dicampurkan dalam formulasi pakan konsentrat, pakan komplit dalam bentuk bubuk atau pelet sebagai pakan ramah lingkungan dan berkelanjutan. Temuan ini sudah diuji secara *in vivo* melalui analisis metagenomik (NGS) yang menunjukkan hasil kelimpahan relatif dari *Prevotella ruminicola* paling dominan dibandingkan kontrol dan menurunkan *B. fibrisolvens*. Pada analisis metabolomik terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada senyawa prenol lipid,

dan subkelas indol terdeteksi sangat rendah dan korelasi negatif terhadap metanogen dalam penurunan produksi CH₄ enterik (Gambar 4.2) (Adawiah et al., 2025).



Sumber: Adawiah et al. (2025)

Gambar 4.2 Hasil Analisis Metabolomik Senyawa *Volatile* di Rumen

B. Potensi, Peluang, Tantangan, dan Rekomendasi Dalam Penerapan Inovasi

Mitigasi CH₄ enterik pada ruminansia memiliki potensi yang sangat besar dalam mendukung tercapainya peternakan ramah lingkungan dan berkelanjutan. Gas CH₄ enterik yang dihasilkan selama proses metanogenesis di rumen pada ruminansia

berkontribusi signifikan terhadap GRK gas rumah kaca (Tapio et al., 2017). Hasil riset inovasi pakan secara langsung dapat diterapkan oleh peternakan rakyat atau perusahaan peternakan di antaranya inokulan silase dan probiotik. Aditif silase ini menjadi kunci dalam proses fermentasi silase menjadi optimum dan memberikan dampak tercapainya pakan hijauan awetan tersedia sepanjang tahun. Teknologi ini sudah dilisensikan pada PT Mitrayasa Dairy Natural dan disebarluaskan melalui pelatihan dan *workshop* ke berbagai daerah. Ketersediaan pakan awetan sepanjang tahun yang mengandung probiotik dapat berkontribusi secara langsung terhadap efisiensi pakan dan menurunkan energi terbuang, yang berdampak pada peningkatan produktivitas dan kesehatan ternak (FAO, 2023).

Inovasi pakan berperan dalam mitigasi dan mereduksi CH_4 enterik. Pendekatan ini mempunyai kesempatan yang sangat besar dalam sektor peternakan dengan memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan (Bahri dan Tiesnamurti, 2012). Produk inovasi pakan dalam mitigasi CH_4 enterik yang disampaikan mempunyai peluang besar dalam pengurangan emisi GRK, di mana sektor peternakan masih perlu untuk menurunkan emisi CH_4 enterik terhadap lingkungan. Penelitian yang sudah dilakukan tentang penggunaan pakan fermentasi silase (Ridwan et al., 2019), probiotik (Astuti et al., 2022), prebiotik (Hartina et al., 2021), enzim (Islami et al., 2024), pakan imbuhan, asam amino terproteksi (Talapessy et al., 2024), asam lemak (Jayanegara et al., 2020; Sagala et al., 2024), dan senyawa inhibitor metan berupa polifenol (Fidriyanto et al., 2024), serta kombinasi premik (premix combo) (Adawiah et al., 2025) mempunyai peluang besar dalam mitigasi dan mereduksi emisi CH_4 enterik pada ruminansia. Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap produk-produk berkelanjutan membuka peluang pasar baru dan kolaborasi riset dalam program mitigasi

CH₄ enterik dengan target capaian SDGs (1, 2, 10, 12, 13, dan 15) dari sektor peternakan (FAO, 2023).

Pada pelaksanaan riset inovasi pakan terdapat beberapa tantangan yang dihadapi. Salah satu tantangan utamanya adalah implementasi teknologi mitigasi CH₄ enterik, yang memerlukan investasi riset awal yang cukup besar. Implementasi inovasi pakan pada tingkat peternak tradisional masih banyak yang belum memahami pentingnya mitigasi CH₄ enterik dan cara penerapannya dalam produksi peternakan (Bahri dan Tiesnamurti, 2012; Widiawati et al., 2023). Tantangan lainnya, seperti resistensi terhadap perubahan, masih adanya keterbatasan akses secara luas, dan faktor eksternal dari harga pakan, produk kompetitor dari impor, serta kebijakan teknis yang dapat menjadi tantangan dalam penerapan mitigasi CH₄ enterik di sektor peternakan.

Solusi yang dapat disampaikan sebagai bahan rekomendasi dalam menyusun kebijakan dari pemanfaatan inovasi pakan adalah penggunaan probiotik *L. plantarum* pada sapi potong. Hasil penelitian secara *in vivo* pemberian probiotik *L. plantarum* 10 mL/ekor/hari berhasil menurunkan produksi gas CH₄ sebesar 2,23 % (berdasarkan perhitungan stoikiometri menurut Moss et al., (2000)) dibandingkan kontrol dengan total produksi sebesar 28% (Astuti et al., 2022). Apabila dihitung dari jumlah populasi sapi potong 17,6 Juta ekor pada tahun 2022 dan 42% populasi (7,4 juta ekor) sapi dewasa yang memberikan kontribusi berdasarkan Tier 2 menurut Widiawati et al., (2016) sebesar 33,14 kg/ekor/tahun. Penghematan energi dari perlakuan pemberian probiotik tersebut didapatkan sebesar 197,46 juta kalori dan apabila dikonversi ke dalam energi yang terdapat pada jagung pipilan didapatkan sebesar 56,416 kalori/hari atau 20,6 juta kal/kg/tahun setara dengan 20,6 ribu ton/tahun. Apabila diasumsikan

dengan harga jagung pipilan sebesar Rp4.000,-/kg maka energi yang dapat dihemat secara keseluruhan pada sapi potong dewasa pada tahun 2022 sebesar Rp82,37 miliar. Penghematan ini dapat memberikan kontribusi terhadap penghematan kebutuhan jagung impor tahun 2023 secara nasional sekitar 1,73%.

V. KESIMPULAN

Mitigasi CH_4 enterik pada ruminansia diterapkan melalui rekayasa efisiensi pakan yang memberikan penghambatan secara langsung dan tidak langsung dengan daya cerna pakan, aktivitas interaksi mikrobioma rumen, bakteri, protozoa dan metanogen, dan mengubah pola metabolisme rumen melalui evaluasi pendekatan omik. Dinamika struktur mikrobioma dan profil metabolit menunjukkan dampak positif terhadap produktivitas ruminansia. Hasil ini membuka peluang yang menjanjikan untuk masa depan dan aplikasi praktis dalam manajemen ternak untuk meningkatkan produktivitas yang berkelanjutan.

Pendekatan mitigasi CH_4 enterik diimplementasikan melalui rasio pemberian pakan, pakan berbasis mikroba berupa probiotik, inokulan silase dan pakan silase, dan penambahan pakan imbuhan lainnya, berupa polifenol tanin, prebiotik, enzim, asam amino terproteksi, asam lemak yang dikombinasikan dalam premix combo dengan dosis yang tepat dapat menjadi kunci keberhasilan dalam mewujudkan peternakan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan serta berdaya saing global.

Inovasi tersebut sangat layak digunakan oleh peternak dan perusahaan peternakan. Kelayakan tersebut didukung oleh ketersediaan bahan baku lokal, kekayaan sumber daya genetik, dan teknologi tepat guna dalam mewujudkan peternakan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di Indonesia.

VI. PENUTUP

Pendekatan mitigasi emisi CH_4 enterik pada ruminansia merupakan strategi untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan pakan, sekaligus mendukung kesehatan dan produktivitas ternak, melalui penurunan produksi CH_4 serta reduksi emisinya ke lingkungan. Perkembangan riset terkini mulai mengarahkan fokus pada keterkaitan kompleks antara mikrobioma rumen, profil metabolit, dan respons fisiologis ternak, dengan memanfaatkan pendekatan genomik, metagenomik, metabolomik, dan nutrigenomik. Ke depan, pengembangan integrasi pendekatan multi-omik dan penerapan sistem pakan presisi menjadi arah strategis dalam optimalisasi mitigasi berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi.

Pendekatan ini diharapkan dapat mendorong pemerintah dalam merumuskan kebijakan penerapan inovasi pakan secara luas dan berkelanjutan di seluruh wilayah. Keberhasilan penerapan tersebut memerlukan koordinasi yang erat dan berkelanjutan dengan berbagai pemangku kepentingan, termasuk akademisi nasional dan internasional, lembaga riset, industri peternakan, LSM, komunitas peternak, lembaga keuangan, serta instansi pemerintah, guna mendukung sinergi dalam pelaksanaan riset dan pengembangan teknologi pakan.

Kolaborasi riset dalam mitigasi emisi CH_4 enterik berpotensi memberikan dampak positif secara menyeluruh, sekaligus meningkatkan produktivitas ruminansia lokal untuk memenuhi kebutuhan protein hewani dan mengurangi ketergantungan terhadap impor. Sumber daya genetik ternak lokal yang melimpah di Indonesia dapat dimanfaatkan secara bijak untuk

mendukung swasembada pangan nasional yang berlandaskan kelestarian alam dan keberlanjutan, sejalan dengan pencapaian target SDGs.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya panjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua.

Terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia Bapak Jenderal TNI (Purn) H. Prabowo Subianto, Presiden Republik Indonesia ke-7, Ir. H. Joko Widodo, Kepala BRIN Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc., Wakil Kepala BRIN Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, ST., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng. Terima kasih kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset Prof. Dr. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D. dan Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc. Terima kasih kepada penelaah naskah orasi BRIN; Prof. Dr. Yantyati Widyastuti, Prof. Dr. Ir. Syahrudin Said, M.Agr. Sc, IPU, ASEAN Eng., dan Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, M.Sc serta Prof. Dr. Ir. Raden Garsetiasih MP. sebagai penelaah internal, Sekretaris Utama BRIN Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A., Kepala BOSDM-BRIN Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si, Kepala OR Hayati dan Lingkungan Dr. Andes Hamuraby Rozak, M.Sc, Kepala Pusat Riset Zoologi Terapan Dr. Delicia Yunita Rahman, M.Si., dan seluruh Panitia Orasi Pengukuhan Profesor Riset. Terima kasih kepada pembimbing di IPB Prof. Dr. Nahrowi, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Lily Amalia, M.Sc., (Almh), Prof. Dr. dr. Sri Budiarti (Almh), Prof. Dr. Ir. Komang G. Wiryawan, Prof. Dr. Iman Rusmana, M.Si. dan seluruh pembimbing di BRIN Prof. Dr. Yantyati Widyastuti, Prof. Dr. Ir. Bambang Prasetya, M.Sc, dan Dr. Achmad Dinoto, S.Si, M.Sc. Terima kasih kepada para Bapak/Ibu guru majlis,

sekolah SD, SMP, SMA dan dosen S-1, S-2, dan S-3 yang sudah menyampaikan ilmunya secara ikhlas.

Terima kasih kepada Prof. Dr. Puspita Lisdiyanti, Prof. Dr. Atit Kanti, Dr. Shanti Ratnakomala, Dr. Ki Ageng Sarwono, Dr. Wulansih Dwi Astuti, Rohmatussolihat, M.Si, Dr. Rusli Fidriyanto, Dr. Ainissya Fitri, Sukarman, M.Si, Nurul Fitri Sari, M.Si, Dr. Fahrurrozi, Akhirta Atikana, M.Sc, Prof. Dr. Ahmad Sofyan, Dr. Dwitami Ahzany dan civitas Pusris Zoologi Terapan dan exs Puslit Bioteknologi LIPI, Mahasiswa Bimbingan S-1, S-2, dan S-3, Prof. Dr. Anja Meriandini, Prof. Dr. Nampiah Sukarno, Prof. Dr. Dewi Apri Astuti, Prof. Dr. Ellin Harlia, Dr. Eulis Tanti, Prof. Dr. Rina Sriwati, Dr. Aman Yaman, Dr. Rizki Yanza, Dr. Agung Irawan, Andi Hiroyuki, M.Si, kolega prajab PNS 2001, SMAN 1 Cianjur, INMT33, IPB33, BTK2006, MIK2011, Dr. Mitsuo Sakamoto dan Dr. Moria Ohkuma, Prof. Dr. Yimin Cai, Dr. Zhumei Du, Prof. Dr. Gunjan Goel, Prof. Dr. Teck Chwen Loh, Prof. Dr. Anjas Asmara Samsuddin, Prof. Dr. Tomonori Nochi, dan mitra Perusahaan PT. Bright International, PT. Nutricell Pacific, PT. Chiel Jedang Bio, PT. UPBS, PT. Mitrayasa Dairy Natural, CV. Nuansa Baru dan Kelompok Peternak Mandiri Sejahtera.

Semoga Allah SWT selalu merahmati dan memberkahi kedua orang tua saya: Bapak Endang Suanda (Alm) dan Ibu Rohayati Fatimah, saudara beserta keluarganya: Kol. Deni Kusnadi, M.M, Neneng Yuningsih, Rina Mulyani, Dany Muhamad Ramdhan, S.T., dan Wini. Istri tercinta Tika Sundari, S.Pt., anak-anak tercinta: Kania Dewi Shiyam, S.Si., Muhamad Aqil Arrasyid, dan Aisha Dewi Humaira, keluarga besar Endang Suanda dan keluarga besar Atom Wijaya serta mertua saya Ibu Siti Aminah. Terakhir, terima kasih kepada panitia penyelenggara Orasi Pengukuhan Profesor Riset dan seluruh undangan yang

tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga acara ini dapat terselenggara dengan lancar dan khidmat. *Alhamdulillahirobil alamiin*, saya tutup orasi ilmiah ini. Mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam menyampaikan orasi ilmiah ini.

Akhirul kalam, Wabillahitaufig Walidayah, Wassalaamualaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Nayohan, S., & Nahrowi, N. (2024). Effects of encapsulation and combining probiotics with different nitrate forms on methane emission and in vitro rumen fermentation characteristics. *Open Agriculture*, 9(1):20220377. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0377>
- Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, Nahrowi, & Jayanegara, A. (2021). Effects of probiotics and encapsulated probiotics on enteric methane emission and nutrient digestibility in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012050>
- Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Fitri, A., Nahrowi, & Jayanegarac, A. (2023). Performance, Methane Emission, Nutrient Utilization, and the Nitrate Toxicity of Ruminants with Dietary Nitrate Addition: A Meta-analysis from In Vivo Trials. *Tropical Animal Science Journal*, 46(1), 74–84. <https://doi.org/10.5398/tasj.2023.46.1.74>
- Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Nahrowi, & Jayanegara, A. (2021). The potential of nitrate supplementation for modulating the fermentation pattern and mitigating methane emission in ruminants: A meta-analysis from in vitro experiments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 902(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/902/1/012023>
- Adawiah, A., Meryandini, A., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., & Ageng, K. (2025). The rumen microbiome and metabolome profile of Ongole crossbreed cattle fed probiotics and protected amino acids. *Tropical Animal Health and Production* 57(148). <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04400-z>

- Al-shawi, S. G., Dang, D. S., Yousif, A. Y., Al-younis, Z. K., Najm, T. A., & Matarneh, S. K. (2020). The potential use of probiotics to improve animal health, efficiency, and meat quality : a review. *Agriculture*, 10(10), 452. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100452>
- Anadón, A., Rosa Martínez-Larrañaga, M., & Aranzazu Martínez, M. (2006). Probiotics for animal nutrition in the European Union. Regulation and safety assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 45(1), 91–95. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.02.004>
- Arisya, W., **Ridwan, R.**, Ridla, M., & Jayanegara, A. (2019). Tannin treatment for protecting feed protein degradation in the rumen in vitro. *Journal of Physics: Conference Series*, 1360(1), 0–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1360/1/012022>
- Astuti, W. D., Wiryawan K. G., Wina, E., Widyastuti, Y., Suharti, S. & **Ridwan R.** (2018). Pakistan Journal of Nutrition. *Pakistan Journal of Nutrition*, 17(3), 131–139. <https://doi.org/10.3923/pjn.2018.131.139>
- Astuti, W. D., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., Sari, N. F., Sarwono, K. A., Fitri, A., & Widyastuti, Y. (2022). Changes in rumen fermentation and bacterial profiles after administering *Lactiplantibacillus plantarum* as a probiotic. *Veterinary World*, 15(8), 1969–1974. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1969-1974>
- Astuti, W. D., **Ridwan, R.**, & Tappa, B. (2007). Penggunaan Probiotik dan Kromium Organik terhadap Kondisi Lingkungan Rumen In Vitro. *JITV*, 12(4), 262–267.
- Astuti, W. D., Widyastuti, Y., Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, Sari, N. F., Firsoni, & Sugoro, I. (2020). In vitro gas production and digestibility of oil palm frond silage mixed with different levels of elephant grass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 439(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/439/1/012022>

- Astuti, W. D., Widyastuti, Y., **Ridwan, R.**, & Yetti, E. (2013). Quality of vegetable waste silages treated with various carbohydrate sources. *Media Peternakan*, 36(2), 120–125. <https://doi.org/10.5398/medpet.2013.36.2.120>
- Astuti, W. D., Widyastuti, Y., Wina, E., Suharti, S., **Ridwan, R.**, & Wiryawan, K. G. (2018). Survival of *Lactobacillus plantarum* U40 on the in vitro rumen fermentation quantified with real-time PCR. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 43(2), 184–192. <https://doi.org/10.14710/jitaa.43.2.184-192>
- Astuti, W., **Ridwan, R.**, & Widyastuti, Y. (2009). Microscopic Observation of Napier Grass (*Pennisetum purpureum*) Structure: Preliminary Study on the Effects of Rumen Microbial Degradation. *Biotechindonesia.Org*, 2(1), 1–5. <http://www.biotechindonesia.org/journal/jaib/jab-2009-01-02/jab-1-09-7.pdf>
- Azzahra, F.R, Susanto, I., **R. Ridwan**, & Jayanegara, A. (2025). Organoleptic and physical quality of silage as affected by the addition of lactic acid bacteria and acacia tannin extract. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1484 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1484/1/012006>
- Badan Pangan Nasional [BPN]. (2024). *Direktori Perkembangan Konsumsi Pangan Nasional dan Provinsi Tahun 2019-2023*.
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2024). Statistik Indonesia 2023. *Badan Pusat Statistik*, 52, 790. <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>
- Bahri dan Tiesnamurti. (2012). Strategi pembangunan peternakan berkelanjutan dengan memanfaatkan sumber daya lokal. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 31(4), 30919. <https://doi.org/10.21082/jp3.v31n4.2012.p%p>

- Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Abdalla, A. L., Alvarez, C., Arndt, C., Becquet, P., Benchaar, C., Berndt, A., Mauricio, R. M., McAllister, T. A., Oyhantçabal, W., Salami, S. A., Shalloo, L., Sun, Y., Tricarico, J., Uwizye, A., De Camillis, C., Bernoux, M., Robinson, T., & Kebreab, E. (2022). Invited review: Current enteric methane mitigation options. *Journal of Dairy Science*, *105*(12), 9297–9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
- Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., & Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal, The International Journal of Animal Biosciences*, *14*, s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., & López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, *176*(1–4), 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>
- Bustin, S. A., Benes, V., Garson, J. A., Helleman, J., Huggett, J., Kubista, M., Mueller, R., Nolan, T., Pfaffl, M. W., Shipley, G. L., Vandesompele, J., & Wittwer, C. T. (2009). The MIQE guidelines: Minimum information for publication of quantitative real-time PCR experiments. *Clinical Chemistry*, *55*(4), 611–622. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2008.112797>
- Capasso, V., Lotito, D., Pugliese, G., Ruocco, R. A., & Musco, N. (2017). Essential Oils and Methanogenesis. A Review. *Journal of Nutritional Ecology and Food Research* *4*:1–21. <https://doi.org/10.1166/jnef.2017.1162>
- Cholewińska, P., Czyz, K., Nowakowski, P., & Wyrstek, A. (2020). The microbiome of the digestive system of ruminants-a review. *Animal Health Research Reviews*, *21*(1), 3–14. <https://doi.org/10.1017/S1466252319000069>

- Demirel, B., & Scherer, P. (2008). The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: A review. *Environmental Science and Biotechnology*, 7(2), 173–190. <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9131-1>
- Ditjen PKH. (2023). Statistics of Food Consumption 2023. *Kementerian Pertanian*, 1–132. https://satudata.pertanian.go.id/assets/docs/publikasi/Buku_Statsitik_Konsumsi_Pangan_2023.pdf
- Doyle, N., Mbandlwa, P., Kelly, W. J., Attwood, G., Li, Y., Ross, R. P., Stanton, C., Leahy, S., Hebert, E. M., & Snelling, T. J. (2019). Use of lactic acid bacteria to reduce methane production in ruminants, a critical review general characteristics of lactic acid. *Frontiers in Microbiology* 10:2207. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02207>
- Du, Z., Nakagawa, A., Fang, J., **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Sarwono, K. A., Sofyan, A., Widyastuti, Y., & Cai, Y. (2024). Cleaner anaerobic fermentation and greenhouse gas reduction of crop straw. *Microbiology Spectrum* 12(7). <https://doi.org/10.1128/spectrum.00520-24>
- Ellis, J. L., Bannink, A., Hindrichsen, I. K., Kinley, R. D., Pellikaan, W. F., Milora, N., & Dijkstra, J. (2016). The effect of lactic acid bacteria included as a probiotic or silage inoculant on in vitro rumen digestibility, total gas and methane production. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.016>
- FAO. (2023). *Achieving SDG 2 without breaching the 1.5 °C threshold: A global roadmap*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc9113en>

- Fidriyanto, R., Juanssilfero, A. B., Sarwono, K. A., **Ridwan, R.**, Nahrowi, N., & Jayanegara, A. (2024). Enhancing physicochemical, rheological properties, and in vitro rumen fermentation of starch with *Melastoma candidum* D. Don fruit extract. *Animal Science Journal*, 95(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/asj.13950>
- Fidriyanto, R., Priadi, G., Berlinda Paradisa, Y., Dwi Astuti, W., **Ridwan, R.**, Ageng Sarwono, K., Whatman, M., & Widyastuti, Y. (2021). Pengaruh substitusi rumput gajah dengan limbah serai pada pakan ruminansia tinggi hijauan terhadap pencernaan dan produksi metan secara in vitro. *Agric*, 33(2), 103–114.
- Fidriyanto, R., Priadi, G., **Ridwan, R.**, Nahrowi, N., & Jayanegara, A. (2023). Physicochemical, thermal properties, and in vitro rumen fermentation of four different underutilized fruit by-products. *Biodiversitas*, 24(4), 2416–2425. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240457>
- Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Nahrowi, & Jayanegara, A. (2023). Utilization of fruits by product as ruminant feed: in vitro digestibility and methane production. *AIP Conference Proceedings*, 2606. <https://doi.org/10.1063/5.0118524>
- Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, R., Astuti, W. D., Paradisa, Y. B., Sarwono, K. A., Fitri, A., & Widyastuti, Y. (2023). The ability of *Lactiplantibacillus plantarum* TSD-10 and DR-162 to reduce aflatoxin and microbial contamination of corn. *Agric*, 35(1), 1–12. <https://doi.org/10.24246/agric.2023.v35.i1.p1-12>
- Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Watman, M., Adi, E. B. M., Mulyaningsih, E. S., Jayanegara, A., Astuti, W. D., Rohmatussolihat, Sari, N. F., & Widyastuti, Y. (2021). Evaluation of parboiled rice by-product as a ruminant feed: In vitro digestibility and methane production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 762(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/762/1/012045>

- Fitri, A., **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, Sarwono, K. A., Widyastuti, Y., Sofyan, A., Yanza, Y. R., Wardani, W. W., Sanoesi, T. B. T., Putra, A. A., & Jayanegara, A. (2023). Effect of rumen-protected methionine on rumen fermentation and plasma amino acid concentration on ruminants: A meta-analysis. *AIP Conf. Proc.* 2972, 020002-1–020002-5; 020002. <https://doi.org/10.1063/5.0183631>
- Fitri, A., Yanza, Y. R., Jayanegara, A., **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Sarwono, K. A., Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., Widyastuti, Y., & Obitsu, T. (2022). Divergence effects between dietary Acacia and Quebracho tannin extracts on nutrient utilization, performance, and methane emission of ruminants: A meta-analysis. *Animal Science Journal*, 93(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/asj.13765>
- Fuller. (1989). Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66, 365–378.
- Hartina, W. A., **Ridwan, R.**, Diapari, D., Fidriyanto, R., & Jayanegara, A. (2021). The addition of feed additive in beef cattle ration on in vitro fermentation characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 888(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/888/1/012074>
- Holtzapple, M. T., Wu, H., Weimer, P. J., Dalke, R., Granda, C. B., Mai, J., & Urgun-Demirtas, M. (2022). Microbial communities for valorizing biomass using the carboxylate platform to produce volatile fatty acids: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126253. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126253>
- Huang, Q., Liu, X., Zhao, G., Hu, T., & Wang, Y. (2018). Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, 4(2), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.004>

- Ikusika, O. O., Haruzivi, C., & Mpendulo, T. (2022). Alternatives to the use of antibiotics in animal production. *Intech Open*, 59(10), 118–131.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2023). Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Irawan, A., Sofyan, A., **Ridwan, R.**, Hassim, H. A., Respati, A. N., Wardani, W. W., Sadarman, Astuti, W. D., & Jayanegara, A. (2021). Effects of different lactic acid bacteria groups and fibrolytic enzymes as additives on silage quality: A meta-analysis. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100654. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100654>
- Irawan, A., Sofyan, A., Wahyono, T., Harahap, M. A., Febrisiantosa, A., Sakti, A. A., Herdian, H., & Jayanegara, A. (2023). Relationships between dietary rumen-protected lysine and methionine with the lactational performance of dairy cows — A meta-analysis. *Animal Bioscience*, 36(11), 1666–1684. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0084>
- Islami, I., Evvyernie, D., Rohmatussolihat, Astuti, W. D., Fitri, A., Fidriyanto, R., Sarwono, K. A., Widyastuti, Y., & **Ridwan, R.** (2024). The addition of probiotic in selected production media and enzymes on rumen fermentability characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1359(1), 2–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1359/1/012115>
- Jayanegara, A., Ardhisty, N. F., Dewi, S., Antonius, A., **Ridwan, R.**, Laconi, E. B., Nahrowi, N., & Ridla, M. (2019). Enhancing nutritional quality of oil palm empty fruit bunch for animal feed by using fiber cracking technology. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(3), 157–163. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.3.157.163>

- Jayanegara, A., Gustanti, R., **Ridwan, R.**, & Widyastuti, Y. (2020). Fatty acid profiles of some insect oils and their effects on in vitro bovine rumen fermentation and methanogenesis. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1311–1318. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1841571>
- Jayanegara, A., Sari, Y. C., **Ridwan, R.**, Diapari, D., & Laconi, E. B. (2017). Protein fractionation and utilization of soybean and redbean as affected by different drying temperature. *Buletin Peternakan*, 41(1), 37. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v41i1.13922>
- Jayanegara, A., Wina, E., Soliva, C. R., Marquardt, S., Kreuzer, M., & Leiber, F. (2011). Dependence of forage quality and methanogenic potential of tropical plants on their phenolic fractions as determined by principal component analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 163(2–4), 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.009>
- Jayanegara, A., Wina, E., & Takahashi, J. (2014). Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen : influence of addition levels and plant sources. 27(10), 1426–1435.
- Ji, E. S., & Park, K. H. (2012). Methane and nitrous oxide emissions from livestock agriculture in 16 local administrative districts of korea. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(12), 1768–1774. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12418>
- Jiang, B., Qin, C., Xu, Y., Song, X., Fu, Y., Li, R., Liu, Q., & Shi, D. (2024). Multi-omics reveals the mechanism of rumen microbiome and its metabolome together with host metabolome participating in the regulation of milk production traits in dairy buffaloes. *Front. Microbiol* 15:1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1301292>
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK]. (2021). Indonesia Third Biennial Update Report. *Republic of Indonesia*, 66.
- Khairunisa, B. H., Heryakusuma, C., Ike, K., Mukhopadhyay, B., & Susanti, D. (2023). Evolving understanding of rumen methanogen ecophysiology. *Frontiers in Microbiology*, 14(November). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1296008>
- Khan, F. A., Ali, A., Wu, D., Huang, C., Zulfiqar, H., Ali, M., Ahmed, B., Yousaf, M. R., Putri, E. M., Negara, W., Imran, M., & Pandupuspitasari, N. S. (2024). Editing microbes to mitigate enteric methane emissions in livestock. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(10), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-04103-x>
- Khan, F. A., Pandupuspitasari, N. S., Huang, C., Negara, W., Ahmed, B., Putri, E. M., Lestari, P., Priyatno, T. P., Prima, A., Restitrisnani, V., Surachman, M., Akhadiarto, S., Darmawan, I. W. A., Wahyuni, D. S., & Herdis, H. (2023). Unlocking gut microbiota potential of dairy cows in varied environmental conditions using shotgun metagenomic approach. *BMC Microbiology*, 23(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-03101-7>
- Komalasari, K., Astuti, D. A., Widyastuti, Y., Astuti, W. D., & **Ridwan, R.** (2014). Rumen fermentation and milk quality of dairy cows fed complete feed silages. *Media Peternakan*, 37(1), 38–42. <https://doi.org/10.5398/medpet.2014.37.1.38>
- Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E., & Bujok, J. (2023). Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: controversies and issues. *Agriculture (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>

- Ku-Vera, J. C., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Arango, J., Gómez-Bravo, C. A., Aguilar-Pérez, C. F., & Solorio-Sánchez, F. J. (2020). Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00584>
- Makmur, M., Yanza, Y. R., Fitri, A., Syarifuddin, **Ridwan, R.**, & Jayanegara, A. (2023). Effects of essential oils and their derivatives on rumen fermentation characteristics and pufa biohydrogenation: A Meta-Analysis of In Vitro Studies. *Veterinary Integrative Sciences*, 21(3), 925–944. <https://doi.org/10.12982/VIS.2023.067>
- Matthews, C., Crispie, F., Lewis, E., Reid, M., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2019). The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes*, 10(2), 115–132. <https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1505176>
- McAllister, T. A., Beauchemin, K. A., Alazze, A. Y., Baah, J., Teather, R. M., & Stanford, K. (2011). Review: The use of direct fed microbials to mitigate pathogens and enhance production in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(2), 193–211. <https://doi.org/10.4141/cjas10047>
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C., & Newbold, C. J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7), 1024–1036. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000546>
- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Animal Research*, 49(3), 231–253. <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Mulianda, R., Ridla, M., Laconi, E. B., **Ridwan, R.**, & Jayanegara, A. (2019). Comparison of nutritive value between intact and defatted black soldier fly larvae for animal feed. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/4/042024>

- Muthia, D. Ridlla, M. Laconi, E.B. **Ridwan, R.** Fidriyanto, R. Abdelbagi, M. Harahap, R. P. Jayanegara, A. (2021). Effects of Ensiling, Urea Treatment and Autoclaving on Nutritive Value and In-vitro Rumen Fermentation of Rice Straw. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 9(5). <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.5.655.661>
- Muthia, D., Laconi, E. B., Ridla, M., Jayanegara, A., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Abdelbagi, M., & Ramdani, H. (2021). Effect of combining autoclave and ammoniation on nutritional value and in vitro digestibility of rice straw. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012052>
- Negara, W., Roswanjaya, Y. P., Parastiwi, H. A., Purba, R. D., Martono, S., Maulana, S., Gopar, R. A., Negoro, P. S., Wahyuni, D. S., Surachman, M., Darmawan, W. A., Rofiq, N., Akhadiarto, S., Widiawati, Y., & **Ridwan, R.** (2024). The development of probiotics for reducing methane gas emission in indonesian local beef cattle: in vitro assays. *AIP Conference Proceedings*, 2957(1). <https://doi.org/10.1063/5.0184285>
- Niehaus, A. J. (2008). Rumenotomy. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 24(2), 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2008.02.011>
- Nurfitriani, R. A., Jayanegara, A., Kumalasari, N. R., Ratnakomala, S., Rohmatussolihat, Sari, N. F., Fidriyanto, R., Sarwono, K. A., Astuti, W. D., Fitri, A., Widyastuti, Y., & **Ridwan, R.** (2023). Effects of bionanomineral selenium (BioNano-Se) and probiotics inclusion to ration on in vitro rumen fermentation characteristics. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 33(1), 67–74. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2023.1.0595>

- Nurfitriani, R. A., **Ridwan, R.**, Jayanegara, A., Kumalasari, N. R., Ratnakomala, S., & Widyastuti, Y. (2020). Produksi bionanomineral selenium dari berbagai jenis strain bakteri asam laktat (BAL) sebagai aditif pada ransum ternak ruminansia. *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan*, 4(1), 20–26. <https://doi.org/10.25047/jipt.v4i1.2340>
- Parastiwi, H. A., Lestari, N. S. H., Yanza, Y. R., Niderkorn, V., **Ridwan, R.**, & Jayanegara, A. (2023). Estimating nutrient composition and polyphenol concentration using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in tropical forages. *Biodiversitas*, 24(12), 6652–6660. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241227>
- Patra, A. K. (2014). Trends and projected estimates of GHG emissions from indian livestock in comparisons with GHG emissions from world and developing countries. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(4), 592–599. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13342>
- Patra, A. K., & Yu, Z. (2012). Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Appl Environ Microbiol.* 78(12), 4271–4280. <https://doi.org/10.1128/AEM.00309-12>
- Patra, A., Park, T., Kim, M., & Yu, Z. (2017). Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0145-9>
- Peraturan Presiden [PP-RI]. (2025). Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2025-2029. *Peraturan Presiden [PP-RI]*.

- Putra, L. O., Suharti, S., Sarwono, K. A., Sutikno, S., Fitri, A., Astuti, W. D., Rohmatussolihat, R., Widyastuti, Y., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., & Wiryawanv, K. G. (2023). The effects of heat-moisture treatment on resistant starch levels in cassava and on fermentation, methanogenesis, and microbial populations in ruminants. *Veterinary World*, 16, 811–819. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.811-819>
- Putri, F.J., Sidiq, F., **Ridwan, R.**, dan Widyastuti, Y. (2013). Kecernaan bahan kering dan bahan organik silase campuran pennisetum purpureum dan acacia villosa secara in vitro. *Prosiding Seminar Nasional Dan Forum Komunikasi Industri Peternakan*, 62, 400–408.
- Rabetafika, H. N., Razafindralambo, A., Ebenso, B., & Razafindralambo, H. L. (2023). Probiotics as antibiotic alternatives for human and animal applications. *Encyclopedia*, 3(2), 561–581. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020040>
- Ratnakomala, S., **Ridwan, R.**, Kartina, G., & Widyastuti, Y. (2006). The effect of *Lactobacillus plantarum* 1A-2 and 1BL-2 inoculant on the quality of napier grass silage. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 7(2), 131–134. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d070208>
- Ridwan, R.**, Abdelbagi, M., Sofyan, A., Fidriyanto, R., Astuti, W. D., Fitri, A., Sholikin, M. M., Rohmatussolihat, Sarwono, K. A., Jayanegara, A., & Widyastuti, Y. (2023). A meta-analysis to observe silage microbiome differentiated by the use of inoculant and type of raw material. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1063333>
- Ridwan, R.**, Bungsu, A. A. W. A., Astuti, W. D., Rohmatussolihat, R., Sari, N. F., Fidriyanto, R., Jayanegara, A., Wijayanti, I., & Widyastuti, Y. (2018). The use of lactic acid bacteria as ruminant probiotic candidates based on in vitro rumen fermentation characteristics. *Buletin Peternakan*, 42(1), 31–36. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v42i1.23317>

- Ridwan, R.,** Ratnakomala, S., Kartina, G., & Widyastuti, Y. (2005). Pengaruh penambahan dedak padi dan *Lactobacillus plantarum* 1BL-2 dalam pembuatan silase rumput gajah (*Pennisetum purpureum*). *Media Peternakan*, 28(3).
- Ridwan, R.,** Rusmana, I., Widyastuti, Y., Wiryawan, K. G., Prasetya, B., Sakamoto, M., & Ohkuma, M. (2014). Methane mitigation and microbial diversity of silage diets containing *Calliandra calothyrsus* in a rumen in Vitro fermentation system. *Media Peternakan*, 37(2), 121–128. <https://doi.org/10.5398/medpet.2014.37.2.121>
- Ridwan, R.,** Rusmana, I., Widyastuti, Y., Wiryawan, K. G., Prasetya, B., Sakamoto, M., & Ohkuma, M. (2015). Fermentation characteristics and microbial diversity of tropical grass-legumes silages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 511–518. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0622>
- Ridwan, R.,** Rusmana, I., Widyastuti, Y., Wiryawan, K. G., Prasetya, B., Sakamoto, M., & Ohkuma, M. (2019). Bacteria and methanogen community in the rumen fed different levels of grass-legume silages. *Biodiversitas*, 20(4), 1055–1062. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200417>
- Ridwan, R.,** Widyastuti, Y., Budiarti, S., & Dinoto, A. (2009). Analysis of rumen microbial population of cattle given silage and probiotics using terminal restriction fragment length polymorphism. *Microbiology Indonesia*, 3(3), 126–132. <https://doi.org/10.5454/mi.3.3.2>
- Rira, M., Morgavi, D. P., Popova, M., Maxin, G., & Doreau, M. (2022). Microbial colonisation of tannin-rich tropical plants: Interplay between degradability, methane production and tannin disappearance in the rumen. *Animal*, 16(8), 100589. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100589>

- Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Fidriyanto, R., Meliah, S., Sarwono, K. A., Fitri, A., Sopiani, P., Ragamustari, S. K., Ilyas, M., Widyastuti, Y., Ridla, M., Mubarik, N. R., & Jayanegara, A. (2024). Screening of lactic acid bacteria for silage inoculant candidate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1377(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1377/1/012082>
- Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Sari, N. F., Fidriyanto, R., Astuti, W. D., & Widyastuti, Y. (2020). Probiotic powder production for cattle by using response surface methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 591(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/591/1/012028>
- Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Widyastuti, Y., Sari, N. F., Fidriyanto, R., & Astuti, W. D. (2021). Optimization of medium composition for probiotic powder inoculum using the response surface methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012038>
- Roques, S., Martinez-Fernandez, G., Ramayo-Caldas, Y., Popova, M., Denman, S., Meale, S. J., & Morgavi, D. P. (2024). Annual review of animal biosciences recent advances in enteric methane mitigation and the long road to sustainable ruminant production. *Annual Review of Animal Biosciences*, 12, 321–343. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021022-024931>
- Sadarman, Irawan, A., Ridla, M., Jayanegara, A., Nahrowi, **Ridwan, R.**, Sofyan, A., Herdian, H., darma, I. N. G., wahyono, T., Febrina, D., Harahap, R. P., Nurfitriani, R. A., & Adli, D. N. (2021). Influence of ensiling and tannins addition on rumen degradation kinetics of soy sauce residues. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(2), 270–276. <https://doi.org/10.17582/JOURNAL.AAVS/2022/10.2.270.276>

- Sadarman, S., Ridla, M., Nahrowi, N., **Ridwan, R.**, Harahap, R. P., Nurfitriani, R. A., & Jayanegara, A. (2019). Kualitas fisik silase ampas kecap dengan aditif tanin akasia (*Acacia mangium* Wild.) dan aditif lainnya. *Jurnal Peternakan*, 16(2), 66. <https://doi.org/10.24014/jupet.v16i2.7418>
- Sadarman, S., Ridla, M., Nahrowi, N., **Ridwan, R.**, & Jayanegara, A. (2020). Evaluation of ensiled soy sauce by-product combined with several additives as an animal feed. *Veterinary World*, 13(5), 940–946. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.940-946>
- Sagala, Y. G., Andadari, L., Handayani, T. H., Sholikin, M. M., Fitri, A., Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Widyastuti, Y., Fassah, D. M., Wijayanti, I., & Sarwono, K. A. (2024). The effect of silkworms (*Bombyx mori*) chitosan on rumen fermentation, methanogenesis, and microbial population in vitro. *Veterinary World*, 17(6), 1216–1226. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1216-1226>
- Saini, P., Ayyanna, R., Kumar, R., Bhowmick, S. K., Bhaskar, V., & Dey, B. (2024). Restriction of growth and biofilm formation of ESKAPE pathogens by caprine gut-derived probiotic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1428808>
- Sari, N. F., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, Fidriyanto, R., Astuti, W. D., & Widyastuti, Y. (2019). The effect of probiotics on high fiber diet in rumen fermentation characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012057>
- Sari, N. F., **Ridwan, R.**, & Widyastuti, Y. (2017). The quality of corn silage product from technopark of Banyumulek Lombok, West Nusa Tenggara. *Buletin Peternakan*, 41(2), 156. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v41i2.15513>

- Sarwono, K. A., Rohmatussolihat, R., Watman, M., Ratnakomala, S., Astuti, W. D., Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, & Widyastuti, Y. (2022). Characteristics of fresh rice straw silage quality prepared with addition of lactic acid bacteria and crude cellulase. *AIMS Agriculture and Food*, 7(3), 481–499. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2022030>
- Sato, Y., Sato, R., Fukui, E., & Yoshizawa, F. (2024). Impact of rumen microbiome on cattle carcass traits. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56603-3>
- Sidiq, F., Widyastuti, Y., Putri, F. J. & **Ridwan R.** (2013). Pengaruh taraf inklusi legum acacia villosa terhadap kualitas silase gabungan rumput legum yang diberi aditif berupa *Lactobacillus plantarum* 1A-2 dan dedak padi. *Prosiding Seminar Nasional Dan Forum Komunikasi Industri Peternakan*, 450–468.
- Stewart, C.S., Flint, H. J. & Bryant, M. P. (1997). The rumen bacteria. In Hobson P. N. & Stewart C. S. (Eds.), *The Rumen Microbial Ecosystem*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7>
- Sujarnoko, T. U. P., Jayanegara, A., **Ridwan, R.**, & Nahrowi. (2020). Tannin characteristic from *Hevea brasiliensis* and *Durio zibethinus* with pressure and hot water extraction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012010>
- Sujarnoko, T. U. P., **Ridwan, R.**, Nahrowi, & Jayanegara, A. (2020). Extraction of tannin from acacia (*Acacia mangium*) bark and its use as a feed additive for protecting in vitro ruminal degradation of tofu dregs. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 8(7), 761–765. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.7.761.765>
- Susanto, I., Mahendra, F. R., Rahmadani, M., **Ridwan, R** & Jayanegara, A. (2025). Potential of cumin essential oil as inhibitor of deamination during ensiling process : A meta- analysis and in-silico approach. *BIO Web of Conferences* 155(10008). <https://doi.org/10.1051/bioconf/202515510008>

- Tajima, K., Aminov, R. I., Nagamine, T., Matsui, H., Nakamura, M., & Benno, Y. (2001). Diet-dependent shifts in the bacterial population of the rumen revealed with real-time PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(6), 2766–2774. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.6.2766-2774.2001>
- Talapessy, C. D., Rahayuningsih, M., Fidriyanto, R., Fitri, A., & **Ridwan, R.** (2024). Daya cerna dan karakteristik fermentasi rumen dengan penambahan asam amino terenkapsulasi secara in vitro. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*, 22(2), 85–90. <https://doi.org/10.29244/jintp.22.2.85-90>
- Tapio, I., Snelling, T. J., Strozzi, F., & Wallace, R. J. (2017). The ruminal microbiome associated with methane emissions from ruminant livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0141-0>
- Tseten, T., Sanjorjo, R. A., Kwon, M., & Kim, S. W. (2022). Strategies to mitigate enteric methane emissions from ruminant animals. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(3), 269–277. <https://doi.org/10.4014/jmb.2202.02019>
- Wafiyatunnufus, Rahayuningsih, M., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, Sarwono, K. A., Astuti, W. D., Ratnakomala, S., Goel, G., & Widyastuti, Y. (2023). Characteristics of chemical hydrolysis pretreatment and cellulolytic enzymes in the processing of oil palm frond waste as a source of fiber for ruminant feed. *AIP Conference Proceedings*, 2628. <https://doi.org/10.1063/5.0154001>
- Wahyuni, D. S., Jayanegara, A., Wiryawan, K. G., **Ridwan, R.**, Kusumaningrum, S., Akhadiarto, S., Fidriyanto, R., Fitri, A., Darmawan, W. A., Surachman, M., Herdis, H., Gazali, M., Mawarni, G. K., Khan, F. A., & Lideman. (2023). Evaluation of several macroalgae species on methane emission and antioxidant activity based on in vitro rumen fermentation characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1266/1/012072>

- Wang, G. Y., Qin, S. L., Zheng, Y. N., Geng, H. J., Chen, L., Yao, J. H., & Deng, L. (2023). Propionate promotes gluconeogenesis by regulating mechanistic target of rapamycin (mTOR) pathway in calf hepatocytes. *Animal Nutrition*, 15, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.07.001>
- Wang, M., Zhang, L., Jiang, X., Wu, S., Yao, J., & Liu, H. (2024). Multiomics analysis revealed that the metabolite profile of raw milk is associated with the lactation stage of dairy cows and could be affected by variations in the ruminal microbiota. *Journal of Dairy Science*, 107(10), 8709–8721. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24753>
- Waters, S. M., Roskam, E., Smith, P. E., Kenny, D. A., Popova, M., & Eugène, M. (2024). The role of rumen microbiome in the development of methane mitigation strategies for ruminant livestock. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25778>
- Widiawati, Y., Tiesnamurti, B., Hidayat, C., Nurhayati, I. S., Wahyono, T., Krisnan, R., Rofiq, M. N., Shiddique, M. I., Ramadhan, B. A., Krishna, N. H., Anggraeny, Y. N., Ginting, S. P., & Munawaroh, I. S. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca dari Peternakan di Indonesia dengan TIER 2 IPCC. *LIPI Press*. <https://doi.org/10.55981/brin.461>
- Widiawati, Y., Shiddieq M. I., Rohaeni, E. S., Anggraeny, Y. N., Firsoni, Sasongko, W. T., Setiasih, Antonius, Hadiatry, M. C., Wardi, Herliatika, A. Widodo, S., Asmairicen, S., Bansi, H., Puspito, S., Riyanti, S., Andreas, E. M. W., Widaringsih, W., & Miraya, N. (2023). Sistem pemeliharaan ternak ruminansia yang adaptif terhadap perubahan iklim. *Teknologi Dan Kearifan Lokal Untuk Adaptasi Perubahan Iklim*, 203–231. <https://doi.org/10.55981/brin.901.c723>

- Widiawati, Y., Rofiq, M. N., & Tiesnamurti, B. (2016). Methane emission factors for enteric fermentation in beef cattle using IPCC Tier-2 method in Indonesia. *Jurnal Ilmu Ternak Dan Veteriner*, 21(2), 101. <https://doi.org/10.14334/jitv.v21i2.1358>
- Zaenal, Zulkharnaim, **Ridwan, R.**, Widyastuti, Y., & Syamsu, J. A. (2023). Organoleptic and pH characteristics of corn straw silage with addition of lactic acid bacteria inoculants as beef cattle feed. *AIP Conference Proceedings*, 2628. <https://doi.org/10.1063/5.0144023>
- Zhao, Y., Tan, J., Fang, L., & Jiang, L. (2024). Science of the Total Environment Harnessing meta-omics to unveil and mitigate methane emissions in ruminants: Integrative approaches and future directions. *Science of The Total Environment* 951. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175732>
- Zoetendal, E. G., Collier, C. T., Koike, S., Mackie, R. I., & Gaskins, H. R. (2004). Molecular ecological analysis of the gastrointestinal microbiota: a review. *Journal of Nutrition*, 134(2), 465–472. <https://doi.org/10.1093/jn/134.2.465>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku Nasional

1. Widyastuti Y, Sari NF, Fidriyanto R, Astuti WD, Rohmatussolihat, & **Ridwan R.** (2020). Teknologi Pengolahan Pakan Sapi Potong di Technopark Banyumulek Nusa Tenggara Barat. Jakarta, LIPI Press.
2. Rachmat A, **Ridwan, R.**,... et al., (2019). Pupuk Organik Hayati: Aplikasi untuk Budi Daya Hijauan Pakan Ternak, Padi Gogo, dan Sayuran. Jakarta, LIPI Press.

Jurnal Internasional

3. Adawiah, A., Meryandini, A., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Sarwono, K. A., & Wiryawan, K. G. (2025). The rumen microbiome and metabolome profile of Ongole crossbreed cattle fed probiotics and protected amino acids. *Tropical Animal Health and Production*. 57(148):1–19.
4. Diana, M. S., Fitri A, Meryandini A, & **Ridwan, R.** (2025). Dynamic changes of gut microbiome in Borneo earless monitor Lizard Across different diets. *Hayati Journal of Biosciences*, 32 (1):80–88.
5. Abdelbagi, M, **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R, Nayohan, S, Nahrowi, N & Jayanegara, A. (2024) Effects of encapsulation and combining probiotics with different nitrate forms on methane emission and in vitro rumen fermentation characteristics. *Open Agriculture*, 9(1). pp. 20220377.

6. Sagala, Y. G., Andadari, L., Handayani, T. H., Sholikin, M. M., Fitri, A., Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Widyastuti, Y., Fassah, D. M., Wijayanti, I., & Sarwono, K. A. (2024). The effect of silkworms (*Bombyx mori*) chitosan on rumen fermentation, methanogenesis, and microbial population in vitro. *Veterinary World*, 17(6), 1216–1226.
7. Fidriyanto, R., Juanssilfero, A. B., Sarwono, K. A., **Ridwan, R.**, Nahrowi, N., & Jayanegara, A. (2024). Enhancing physicochemical, rheological properties, and in vitro rumen fermentation of starch with *Melastoma candidum* D. Don fruit extract. *Animal Science Journal*, 95(1), 1–15.
8. Du, Z., Nakagawa, A., Fang, J., **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Sarwono, K. A., Sofyan, A., Widyastuti, Y., Cai, Y. (2024). Cleaner anaerobic fermentation and greenhouse gas reduction of crop straw. *Microbiol Spectr*, e00520-24.
9. Makmur, M., Yanza, Y. R., Fitri, A., Syarifuddin, **Ridwan, R.** & Jayanegara, A. (2023). Effects of essential oils and their derivatives on rumen fermentation characteristics and PUFA biohydrogenation: a meta-analysis of in vitro studies. *Veterinary Integrative Sciences*, 21(3), pp.925–944.
10. Fidriyanto, R., Priadi, G., **Ridwan, R.**, Nahrowi, N. & Jayanegara, A. (2023). Physicochemical, thermal properties, and in vitro rumen fermentation of four different underutilized fruit by-products. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(4).
11. Putra, L.O., Suharti, S., Sarwono, K.A., Sutikno, S., Fitri, A., Astuti, W.D., Rohmatussolihat, R., Widyastuti, Y., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R. & Wiryawan, K.G. (2023). The effects of heat-moisture treatment on resistant starch levels in cassava and on fermentation, methanogenesis, and microbial populations in ruminants. *Veterinary World*, 16(4).

12. Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Fitri, A. Nahrowi & Jayanegara, A. (2023). Performance, methane emission, nutrient utilization, and the nitrate toxicity of ruminants with dietary nitrate addition: a meta-analysis from in vivo trials. *Tropical Animal Science Journal*, 46(1), pp.74–84.
13. Nurfitriani, R.A., Jayanegara, A., Kumalasari, N.R., Ratnakomala, S., Sari, N.F., Fidriyanto, R., Sarwono, K.A., Astuti, W.D., Fitri, A., Widyastuti, Y. & **Ridwan, R.** (2023). Effects of bionanomineral selenium (BioNano-Se) and probiotics inclusion to ration on in vitro rumen fermentation characteristics. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 33(1).
14. **Ridwan, R.**, Abdelbagi, M., Sofyan, A., Fidriyanto, R., Astuti, W.D., Fitri, A., Sholikin, M.M., Sarwono, K.A., Jayanegara, A. & Widyastuti, Y. (2023). A meta-analysis to observe silage microbiome differentiated by the use of inoculant and type of raw material. *Frontiers in Microbiology*, 14, p.1063333.
15. Parastiwi, H.A., Lestari, N.S.H., Yanza, Y.R., Niderkorn, V., **Ridwan, R.** & Jayanegara, A. (2023). Estimating nutrient composition and polyphenol concentration using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in tropical forages. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(12).
16. Maulana, T., **Ridwan, R.**, Gunawan, M., Agung, P.P., Afiati, F., Kaiin, E.M. & Said, S. (2022). Successful separation of x-and y-spermatozoa Ongole crossbreed using a nano-albumen gradient column. *Tropical Animal Science Journal*, 45(4), pp.397–404.
17. Astuti, W.D., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., Sari, N.F., Sarwono, K.A., Fitri, A. & Widyastuti, Y. (2022). Changes in rumen fermentation and bacterial profiles after administering *Lactiplantibacillus plantarum* as a probiotic. *Veterinary World*, 15(8), p.1969.
18. Fauzan, I.A., Meryandini, A., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Agustini, N.W.S. & Santosa, D.A. (2022). Coupling Indonesian indigenous *Citrobacter freundii* and *Chlorella pyrenoidosa* strain on the anode of microbial fuel cell with various substrates. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(5).

19. Fitri, A., Yanza, Y.R., Jayanegara, A., **Ridwan, R.**, Astuti, W.D., Sarwono, K.A., Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., Widyastuti, Y. & Obitsu, T. (2022). Divergence effects between dietary Acacia and Quebracho tannin extracts on nutrient utilization, performance, and methane emission of ruminants: A meta-analysis. *Animal Science Journal*, 93(1), p.e13765.
20. Sadarman, I.A., Ridla, M., Jayanegara, A., Nahrowi, **Ridwan, R.**, Sofyan, A., Herdian, H., Darma, I.N.G., Wahyono, T., Febrina, D., Harahap, R.P. & Nurfitriani, R.A. (2022). Influence of ensiling and tannins addition on rumen degradation kinetics of soy sauce residues. *Advances Animal Veterinary Science*, 10(2), pp.270–276.
21. Sarwono, K.A., Rohmatussolihat, R., Watman, M., Ratnakomala, S., Astuti, W.D., Fidriyanto, R., **Ridwan, R.** & Widyastuti, Y. (2022). Characteristics of fresh rice straw silage quality prepared with addition of lactic acid bacteria and crude cellulase. *AIMS Agriculture and Food*, 7(3), pp.481–499.
22. Irawan, A., Sofyan, A., **Ridwan, R.**, Hassim, H.A., Respati, A.N., Wardani, W.W., Astuti, W.D. & Jayanegara, A. (2021). Effects of different lactic acid bacteria groups and fibrolytic enzymes as additives on silage quality: A meta-analysis. *Bioresource Technology Reports*, 14, p.100654.
23. Muthia, D., Ridla, M., Laconi, E.B., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Abdelbagi, M., Harahap, R.P. & Jayanegara, A. (2021). Effects of ensiling, urea treatment and autoclaving on nutritive value and in-vitro rumen fermentation of rice straw. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 9(5), pp.655–661.
24. Jayanegara, A., Gustanti, R., **Ridwan, R.** & Widyastuti, Y. (2020). Fatty acid profiles of some insect oils and their effects on in vitro bovine rumen fermentation and methanogenesis. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), pp.1310–1317.

25. Puteri, G.C.K., **Ridwan, R.** & Harlia, E. (2020). Ecological diversity of microbial consortium feces of beef cattle and lignite coal. *HAYATI Journal of Biosciences*, 27(3), pp.180–180.
26. Marlina, E.T., Hamdani, H., **Ridwan, R.**, Ikhsani, L., Hidayati, Y.A., Rahmah, K.N. & Harlia, E. (2020). Potential of microbial inoculum from buffalo feces in activating lignite coal bed methane. *J. Environ. Biol*, 41, pp.650–657.
27. Sadarman, S., Ridla, M., Nahrowi, N., **Ridwan, R.** & Jayanegara, A. (2020). Evaluation of ensiled soy sauce by-product combined with several additives as an animal feed. *Veterinary World*, 13(5), p.940.
28. Sujarnoko, T.U.P., **Ridwan, R.** Nahrowi, & Jayanegara, A. (2020). Extraction of tannin from acacia (*Acacia mangium*) bark and its use as a feed additive for protecting in vitro ruminal degradation of tofu dregs. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 8(7), pp.761–765.
29. **Ridwan, R.**, Rusmana, I., Widyastuti, Y., Wiryawan, K.G., Prasetya, B., Sakamoto, M. & Ohkuma, M. (2019). Bacteria and methanogen community in the rumen fed different levels of grass-legume silages. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(4), pp.1055–1062.
30. Jayanegara, A., Ardhisty, N.F., Dewi, S.P., Antonius, **Ridwan, R.**, Laconi, E.B. Nahrowi, & Ridla, M. (2019). Enhancing nutritional quality of oil palm empty fruit bunch for animal feed by using fiber cracking technology. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 7(3), pp.157–163.
31. Sari, N.F., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, R., Fidiryanto, R., Astuti, W.D. & Widyastuti, Y. (2018). Characteristic of different level of fermented concentrate in the rumen metabolism based on in vitro. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 43(3), pp.296–305.
32. Astuti, W. D., Wiryawan, K. G., Wina, E., Widyastuti, Y., Suharti, S., & **Ridwan, R.** (2018). Effects of selected *Lactobacillus plantarum* as probiotic on in vitro ruminal fermentation and microbial population. *Pak. J. Nutr*, 17(3), 131–139.

33. Astuti, W.D., Widyastuti, Y., Wina, E., Suharti, S., **Ridwan, R.** & Wiryawan, K.G. (2018). Survival of *Lactobacillus plantarum* U40 on the in vitro rumen fermentation quantified with real-time PCR. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 43(2).
34. Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, R., Astuti, W.D., Sari, N.F., Adi, E.B.M., Mulyaningsih, E.S. & Widyastuti, Y. (2018). In vitro rumen fermentability kinetics of parboiled rice bran. *J. Ind. Trop. Anim. Agri.*, 44, pp.96–104.
35. Astuti, W.D., Wiryawan, K.G., Wina, E., Widyastuti, Y., Suharti, S. & **Ridwan, R.** (2018). Effects of selected *Lactobacillus plantarum* as probiotic on in vitro ruminal fermentation and microbial population. *Pak. J. Nutr.*, 17(3), pp.131–139.
36. **Ridwan, R.**, Rusmana, I., Widyastuti, Y., Wiryawan, K. G., Prasetya, B., Sakamoto, M., & Ohkuma, M. (2015). Fermentation characteristics and microbial diversity of tropical grass-legumes silages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 511–518.
37. Otoguro, M., Yamamura, H., Tamura, T., Irzaldi, R., Ratnakomala, S., **Ridwan, R.**, Kartina, G., Triana, E., Nurkanto, A., Lestari, Y. & Lisdiyanti, P. (2011). *Actinophytocola timorensis* sp. nov. and *Actinophytocola corallina* sp. nov., isolated from soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61, pp.834–838.
38. Yamamura, H., Lisdiyanti, P., **Ridwan, R.**, Ratnakomala, S., Sarawati, R., Lestari, Y., Triana, E., Kartina, G., Widyastuti, Y. & Ando, K. (2010). *Dietzia timorensis* sp. nov., isolated from soil. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 60(2), pp.451–454.

Jurnal Nasional (Bahasa Inggris)

39. Fidriyanto, **R.**, **Ridwan**, R., Rohmatussolihat, R., Astuti, W.D., Paradisa, Y.B., Sarwono, K.A., Fitri, A. & Widyastuti, Y. (2023). The ability of *Lactiplantibacillus plantarum* TSD-10 and DR-162 to reduce aflatoxin and microbial contamination of corn. *Agric*, 35(1), pp.1–12.
40. Fidriyanto, R., Priadi, G., Paradisa, Y.B., Astuti, W.D., **Ridwan**, **R.**, Rohmatussolihat, R., Sarwono, K.A., Whatman, M. & Widyastuti, Y. (2021). The use of lemongrass waste as elephant grass substitute in high forage feed on in vitro rumen fermentation: Methane production and digestibility. *Agric*, 33(2), pp.103–114.
41. Fidriyanto, R., **Ridwan**, **R.**, Astuti, W. D., Rohmatussolihat, Sari, N. F., Watman, M., & Widyastuti, Y. (2020). In vitro ruminal fermentation and degradability of rice husk on rice bran substitution. *Annales Bogorienses*, 24;1.50–58
42. **Ridwan**, **R.**, Bungsu, A.A.W.A., Astuti, W.D., Rohmatussolihat, R., Sari, N.F., Fidriyanto, R., Jayanegara, A., Wijayanti, I. & Widyastuti, Y. (2018). The use of lactic acid bacteria as ruminant probiotic candidates based on in vitro rumen fermentation characteristics. *Buletin Peternakan*, 42(1), pp.31–36.
43. Jayanegara, A., Sari, Y.C., **Ridwan**, **R.**, Diapari, D. & Laconi, E.B. (2017). Protein fractionation and utilization of soybean and redbean as affected by different drying temperature. *Buletin Peternakan*, 41(1), pp.37–47.
44. Sari, N.F., **Ridwan**, **R.** & Widyastuti, Y. (2017). The quality of corn silage product from Technopark of Banyumulek Lombok, West Nusa Tenggara. *Buletin Peternakan*, 41(2), pp.156–162.
45. Farida, W.R. & **Ridwan**, **R.** (2017). Giving of formulated pellet on Javan Porcupine (*Hystrix javanica* F. Cuvier, 1823): Effects on feed intake, feed conversion, and digestibility in pre-domestication condition. *Jurnal Biologi Indonesia*, 7(1).

46. Komalasari, K., Astuti, D.A., Widyastuti, Y. & **Ridwan, R.** (2014). Rumen fermentation and milk quality of dairy cows fed complete feed silages. *Media Peternakan*, 37(1), pp.38–38.
47. **Ridwan, R.**, Rusmana, I., Widyastuti, Y., Wiryawan, K.G., Prasetya, B., Sakamoto, M. & Ohkuma, M. (2014). Methane mitigation and microbial diversity of silage diets containing *Calliandra calothyrsus* in a rumen in vitro fermentation system. *Media Peternakan*, 37(2), pp.121–121.
48. Astuti, W.D., Widyastuti, Y., **Ridwan, R.** & Yetti, E. (2013). Quality of vegetable waste silages treated with various carbohydrate sources. *Media Peternakan*, 36(2), pp.120–120.
49. Widyastuti, Y., Lisdiyanti, P., Ratnakomala, S., Kartina, G., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, R., Prayitno, N.R., Triana, E., Widhyastuti, N., Saraswati, R. & Hastuti, R.D. (2012). Genus diversity of Actinomycetes in Cibinong Science Center, West Java, Indonesia. *Microbiology Indonesia*, 6(4), pp.4–4.
50. Lisdiyanti, P., Tamura, T., Ratnakomala, S., **Ridwan, R.**, Kartina, G., Lestari, Y., Katsuhiko, A. & Widyastuti, Y. (2012). Diversity of Actinomycetes from soil samples collected from Lombok island, Indonesia. *Annales Bogorienses* (Vol. 16, No. 1, pp. 35–40).
51. Ratnakomala, S., **Ridwan, R.**, Lisdiyanti, P. & Andi, U. (2011). Screening of actinomycetes producing an ATPase inhibitor of japanese encephalitis virus RNA helicase from soil and leaf litter samples. *Microbiology Indonesia*, 5(1), pp.3–3.
52. Lisdiyanti, P., Ratnakomala, S., **Ridwan, R.**, Widyastuti, Y., Ootoguro, M. & Katsuhiko, A. (2011). Ecological study of rare-Actinomycetes in soils and leaf-litters. *Annales Bogorienses* (Vol. 15, No. 2, pp. 31–36).
53. Astuti, W. D., **Ridwan, R.**, & Widyastuti, Y. (2009). Microscopic observation of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) structure: Preliminary study on the effects of rumen microbial degradation. *Journal of Applied and Industrial Biotechnology in Tropical Region*, 2(1), 1979–9748.

54. **Ridwan, R.**, Widyastuti, Y., Budiarti, S., & Dinoto, A. (2009). Analysis of rumen microbial population of cattle given silage and probiotics using terminal restriction fragment length polymorphism. *Microbiology Indonesia*, 3(3), 2.

Jurnal Nasional (Bahasa Indonesia)

55. Talapessy, C. D., Rahayuningsih, M., Fidriyanto, R., Fitri, A., & **Ridwan, R.** (2024). Daya cerna dan karakteristik fermentasi rumen dengan penambahan asam amino terenkapsulasi secara in vitro. *JINTP* 22(2):85–90
56. Nurfitriani, R.A., **Ridwan, R.**, Jayanegara, A., Kumalasari, N.R., Ratnakomala, S. & Widyastuti, Y. (2020). Produksi bionanomineral selenium dari berbagai jenis strain bakteri asam laktat (BAL) sebagai aditif pada ransum ternak ruminansia. *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan*, 4(1):20–26.
57. Sadarman, S., Ridla, M., Nahrowi, N., **Ridwan, R.**, Harahap, R.P., Nurfitriani, R.A. & Jayanegara, A. (2019). Kualitas fisik silase ampas kecap dengan aditif tanin akasia (*Acacia mangium* Wild.) dan aditif lainnya. *Jurnal Peternakan*, 16(2):66–75.
58. Hafizh, E.A., **Ridwan, R.** & Ermayanti, T.M. (2019). Model pengembangan kebun produksi dan kebun koleksi hijauan pakan ternak secara terpadu di Technopark Banyumulek, Nusa Tenggara Barat. *Pastura: Journal of Tropical Forage Science*. pastura 7(1): 27–31
59. Allaily, A., Ramli, N. & **Ridwan, R.**, 2011. Kualitas silase ransum komplit berbahan baku pakan lokal. *Jurnal Agripet*, 11(2):35–40.
60. Astuti, W. D., **Ridwan, R.** & Tappa, B. (2007). Penggunaan probiotik dan kromium organik terhadap kondisi lingkungan rumen in vitro. *JITV*, 12(4), 262–267.

61. Ratnakomala, S., **Ridwan, R.**, Kartina, G., & Widyastuti, Y. (2006). Pengaruh inokulum *Lactobacillus plantarum* 1A-2 dan IBL-2 terhadap kualitas silase rumput gajah (*Pennisetum purpureum*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 7(2):131–134.
62. **Ridwan, R.**, Ratnakomala, S., Kartina, G. & Widyastuti, Y. (2005). Pengaruh penambahan dedak padi dan *Lactobacillus plantarum* IBL-2 dalam pembuatan silase rumput gajah (*Pennisetum purpureum*). *Media Peternakan*, 28(3):117–123.

Prosiding Internasional

63. Azzahra, F. R., Susanto, I., **Ridwan, R.**, & Jayanegara, A. (2025). Organoleptic and physical quality of silage as affected by the addition of lactic acid bacteria and acacia tannin extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1484(1):012006.
64. Susanto, I., Mahendra, F. R., Rahmadani, M., & **Ridwan, R** & Jayanegara, A. (2025). Potential of cumin essential oil as inhibitor of deamination during ensiling process : A meta- analysis and in-silico approach. *BIO Web of Conferences* 155(10008).
65. Negara, W., Roswanjaya, Y.P., Parastiwi, H.A., Purba, R.D., Martono, S., Maulana, S., Gopar, R.A., Negoro, P.S., Wahyuni, D.S., Surachman, M. Darmawan, W.A., Rofiq, N., Akhadiarto, S., Widiawati, Y. & **R, Ridwan**. (2024). The development of probiotics for reducing methane gas emission in Indonesian local beef cattle: In vitro assays. *AIP Conference Proceedings* 2957(1). AIP Publishing.
66. Islami, I., Evvyernie, D., Rohmatussolihat, Astuti, W. D., Fitri, A., Fidriyanto, R., Sarwono, K. A., Widyastuti, Y., & **Ridwan, R.** (2024). The addition of probiotic in selected production media and enzymes on rumen fermentability characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1359(1), 2–7.

67. Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Astuti, W. D., Fidriyanto, R., Meliah, S., Sarwono, K. A., Fitri, A., Sopiani, P., Ragamustari, S. K., Ilyas, M., Widyastuti, Y., Ridla, M., Mubarik, N. R., & Jayanegara, A. (2024). Screening of Lactic Acid Bacteria for Silage Inoculant Candidate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1377(1).
68. Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Nahrowi, N. & Jayanegara, A. (2023). Utilization of fruits by product as ruminant feed: In vitro digestibility and methane production. *AIP Conference Proceedings*, 2606(1). AIP Publishing.
69. Wafiyatunnufus, W., Rahayuningsih, M., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., Sarwono, K.A., Astuti, W.D., Ratnakomala, S., Goel, G. & Widyastuti, Y. (2023). Characteristics of chemical hydrolysis pretreatment and cellulolytic enzymes in the processing of oil palm frond waste as a source of fiber for ruminant feed. *AIP Conference Proceedings* 2628(1). AIP Publishing.
70. Zaenal, Z., Zulkharnaim, Z., **Ridwan, R.**, Widyastuti, Y. & Syamsu, J.A. (2023). Organoleptic and pH characteristics of corn straw silage with addition of lactic acid bacteria inoculants as beef cattle feed. *AIP Conference Proceedings* 2628(1). AIP Publishing.
71. Wahyuni, D.S., Jayanegara, A., Wiryawan, K.G., **Ridwan, R.**, Kusumaningrum, S., Akhadiarto, S., Fidriyanto, R., Fitri, A., Darmawan, W.A., Surachman, M. & Herdis, H. (2023). Evaluation of several macroalgae species on methane emission and antioxidant activity based on in vitro rumen fermentation characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266(1):012072. IOP Publishing.
72. Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Fitri, A., Fidriyanto, R., Astuti, W.D., Rohmatussolihat, R., Sarwono, K.A., Triratna, L., Widyastuti, Y., Nahrowi, N. & Jayanegara, A. (2023). The potential of baobab fruit pulp (*Adansonia digitata*) addition on the lipid profile of rat fed high fat diet: A meta-analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2972(1). AIP Publishing.

73. Fitri, A., **Ridwan, R.**, Astuti, W.D., Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, R., Sarwono, K.A., Widyastuti, Y., Sofyan, A., Yanza, Y.R., Wardani, W.W. & Sanoesi, T.B.T. (2023). Effect of rumen-protected methionine on rumen fermentation and plasma amino acid concentration on ruminants: A meta-analysis. *AIP Conference Proceedings*, 2972(1). AIP Publishing.
74. Dewi, M., Laconi, E.B., Ridla, M., Anuraga, J., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Mohammed, A. & Ramdani, H. (2021). Effect of combining autoclave and ammoniation on nutritional value and in vitro digestibility of rice straw. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 788 (2021) 012052
75. Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Watman, M., Adi, E.B.M., Mulyaningsih, E.S., Jayanegara, A., Astuti, W.D., Sari, N.F. & Widyastuti, Y. (2021). Evaluation of parboiled rice by-product as a ruminant feed: in vitro digestibility and methane production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 762(1):012045. IOP Publishing.
76. Harlia, E., Rahmah, K.N., Nora, L., Nababan, J.A., Hidayati, Y.A., Marlina, E.T. & **Ridwan, R.** (2021). Microbial bioaugmentation from feces of laying hens in biogas formation on anaerobic coal media. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 753, (1):012007. IOP Publishing.
77. Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Rohmatussolihat, Nahrowi & Jayanegara, A. (2021). Effects of probiotics and encapsulated probiotics on enteric methane emission and nutrient digestibility in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788(1):012050. IOP Publishing.
78. Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Widyastuti, Y., Sari, N.F., Fidriyanto, R. & Astuti, W.D. (2021). Optimization of medium composition for probiotic powder inoculum using the response surface methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 788(1):012038. IOP Publishing.

79. Abdelbagi, M., **Ridwan, R.**, Nahrowi & Jayanegara, A. (2021). The potential of nitrate supplementation for modulating the fermentation pattern and mitigating methane emission in ruminants: A meta-analysis from in vitro experiments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 902(1):012023. IOP Publishing.
80. Hartina, W.A., **Ridwan, R.**, Diapari, D., Fidriyanto, R. & Jayanegara, A., (2021). The addition of feed additive in beef cattle ration on in vitro fermentation characteristics. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 888(1):012074. IOP Publishing.
81. Astuti, W.D., Widyastuti, Y., Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Sari, N.F. & Sugoro, I. (2020). In vitro gas production and digestibility of oil palm frond silage mixed with different levels of elephant grass. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 439(1):012022. IOP Publishing.
82. Sujarnoko, T.U.P., Jayanegara, A. **Ridwan, R.** & Nahrowi. (2020). Tannin characteristic from Hevea brasiliensis and Durio zibethinus with pressure and hot water extraction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1):012010. IOP Publishing.
83. Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Sari, N.F., Fidriyanto, R., Astuti, W.D. & Widyastuti, Y. (2020). Probiotic powder production for cattle by using response surface methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 591(1):012028. IOP Publishing.
84. Harlia, E., Priambudi, T.L., Marlina, E.T., Rahmah, K.N., Hidayati, Y.A. & **Ridwan, R.** (2019). Production of volatile fatty acid in biogas digester with coal media. *Walailak Procedia*, 2019(1), pp.IC4IR-98.
85. Sari, N.F., **Ridwan, R.**, Rohmatussolihat, Fidriyanto, R., Astuti, W.D. & Widyastuti, Y. (2019). The effect of probiotics on high fiber diet in rumen fermentation characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251:012057. IOP Publishing.

86. Sadarman, M Ridla, Nahrowi, Sujarnoko, T.U., **Ridwan, R.** & Jayanegara, A. (2019). Evaluation of ration based on soy sauce by-product on addition of acacia and chestnut tannin: an in vitro study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(2):022020. IOP Publishing.
87. Mulianda, R., Ridla, M., Laconi, E.B., **Ridwan, R.** & Jayanegara, A. (2019). Comparison of nutritive value between intact and defatted black soldier fly larvae for animal feed. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(4):042024. IOP Publishing.
88. Arisya, W., **Ridwan, R.**, Ridla, M. & Jayanegara, A. (2019). Tannin treatment for protecting feed protein degradation in the rumen in vitro. *Journal of Physics: Conference Series*, 1360(1):012022. IOP Publishing.
89. Harlia, E., Marlina, E.T., Hidayati, Y.A., Kurnani, T.B.A., Rahmah, K.N., Joni, I.M. & **Ridwan, R.** (2019). Coal utilization as a growth medium of microbial consortium from dairy cow feces. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 334(1):012028. IOP Publishing.
90. Astuti, W.D., Fidriyanto, R., **Ridwan, R.**, Sari, N.F. & Widyastuti, Y. (2019). In vitro rumen fermentation of oil palm frond with addition of *Lactobacillus plantarum* as probiotic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 387(1):012093. IOP Publishing.
91. Ayuningtyas, W.D., **Ridwan, R.**, Joni, I.M., Marlina, E.T. & Harlia, E. (2018). Activation of inoculum microorganism from dairy cattle feces. *AIP Conference Proceedings*, 1927(1). AIP Publishing.
92. Harlia, E., Hamdani, H., Winantris, W., Kurnani, T., Hidayati, Y.A., Marlina, E.T., Rahmah, K.N., Arief, H., **Ridwan, R.** & Joni, I.M. (2018). The impact of anaerobic microorganism activities in ruminant waste and coal. *AIP Conference Proceedings*, 1927(1). AIP Publishing.

93. Harlia, E., Lubis, M.A., Danaparamita, W., Rahmah, K.N., Hidayati, Y.A., Marlina, E.T. & **Ridwan, R.** (2018). Enhancement of biogas production from dairy cow feces through purification technique. *3rd International Conference of Integrated Intellectual Community (ICONIC)*.
94. Rohmatussolihat, **Ridwan, R.**, Fidriyanto, R., Astuti, W. D. Sari N. F., & Widyastuti Y. (2017). Theutilization of sago pulp as feed alternative for cattle. *Proceedings of The 5th International Seminar of Animal Nutrition and Feed Sciences-Indonesian Association of Nutrition and Feed Scientists*.
95. Sari Y. C., Laconi, E. B., Diapari, D., Jayanegara, A., **Ridwan, R.** & Widyastuti, Y. (2016). Increase of insoluble nitrogen fractions in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and redbean (*Phaseolus vulgaris* L.) due to higher drying temperatures. *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*.
96. Bungsu, A.A.W.A., Jayanegara, A., Wijayanti, I., **Ridwan, R.** & Widyastuti, Y. (2016). Screening of probiotic candidates from rumen bacteria isolates for improving rumen fermentation and feed digestibility. *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*.
97. Simanjuntak, S., Jayanegara, A., Suryahadi, **Ridwan, R.** & Widyastuti, Y. (2016). Cell wall nitrogen content, degradability and gas production kinetics of *Calliandra* and *Leucaena* leaves as influenced by different drying temperatures, *Proceeding of The 6th Annual Basic Science International Conference*.

Prosiding Nasional

98. Gunawan, M., Kaiin, E.M. & **Ridwan, R.** (2017). Peningkatan produktivitas sapi Bali melalui inseminasi buatan dengan sperma sexing di Techno Park Banyumulek, Nusa Tenggara Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* 3(2):216–219.

99. Rachmat, A., Sri Mulyaningsih, E., Muji Ermayanti, T., **Ridwan, R.** & Nugroho, S. (2017). Diseminasi padi gogo INPAGO LIPI dengan aplikasi pupuk organik hayati di TP Banyumulek NTB. *Prosiding Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi)*.
100. **Ridwan, R.**, (2015). Mengenal alat analisa molekuler DNA sequencing. *Biotrends*, 3(1):22-25.
101. Sidiq, F., Widyastuti, Y., Putri, F.J. & **Ridwan, R.** (2013). Pengaruh taraf inklusi legum *Acacia villosa* terhadap kualitas silase gabungan rumput–legum yang diberi aditif berupa *Lactobacillus plantarum* 1A-2 dan dedak padi. *Prosiding Seminar Nasional dan Forum Komunikasi Industri Peternakan* (p. 450).
102. Putri, F.J., Sidiq, F., **Ridwan, R.** & Widyastuti, Y. (2013). Kecernaan bahan kering dan bahan organik silase campuran *Pennisetum purpureum* dan *Acacia villosa* secara *in vitro*. *Prosiding Seminar Nasional dan Forum Komunikasi Industri Peternakan* (p. 400).
103. **Ridwan, R.**, & Y. Widyastuti. (2001). Membuat Silase Upaya Mengawetkan dan Mempertahankan Nilai Nutrisi Hijauan Pakan Ternak. *Warta Biotek LIPI* 15(1): 9-14
104. Tappa, B., Harahap, R., Said, S., **Ridwan, R.**, Yanwar, H. & Sophion, E. (2012). Upaya perbaikan mutu genetik sapi potong dan usaha tani hijauan makanan ternak di Kabupaten Belu, NTT. *Prosiding Seminar Pengembangan Wilayah Perbatasan NTT Melalui Penerapan Teknologi*.

Kekayaan Intelektual (Paten)

105. Rohmatussolihat, **Roni Ridwan**, Shanti Ratnakomala, Rusli Fidriyanto, Wulansih Dwi Astuti, Ki Ageng Sarwono, Yantyati Widyastuti (2025). *Produksi enzim selulase menggunakan Streptomyces Sp. dengan substrat jerami padi*. (No Granted IDP000100006). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

106. Sukarman, **Roni Ridwan**, Rusli Fidriyanto, Ki Ageng Sarwono, Yantyati Widyastuti, Wulansih Dwi Astuti, Ainissya Fitri, Rohmatussolihat, R. Lia Rahadian Amalia, dan Delicia Yunita Rahman. (2024). *Metode ekstraksi kitosan dari undur-undur laut (Emerita Sp) sebagai protektan asam amino*. 2024. (No Pendaftaran P00202414809). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
107. Dimar Sari Wahyuni; Anuraga Jayanegara, Komang G. Wiryawan; **Roni Ridwan**, Gunawan, Nurjanah, Maman Surachman, Dedi Noviendri, Susi Kusumaningrum, Wisri Puastuti, I Wayan Angga Darmawan; Tri Puji Priyatno, Windu Negara, Gresy Eva Tresia, Arnold Parlindungan Sinurat. (2024). *Proses pembuatan ekstrak Halymenia durvillei dan Caulerpa racemosa sebagai pakan imbuhan untuk ternak ruminansia*. (No Pendaftaran P00202415423). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
108. Wartika Rosa Farida, **Roni Ridwan**, Pamungkas Rizki Ferdian, R. Lia Rahadian Amalia, Eko Sulistyadi, Aji Wibawa Terta. (2024). *Formulasi dan proses pembuatan pakan buatan berbentuk pelet untuk binturong*. (No Pendaftaran P00202415541). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
109. Ainissya Fitri, **Roni Ridwan**, Rusli Fidriyanto, Rohmatussolihat, Wulansih Dwi Astuti, Ki Ageng Sarwono dan Yantyati Widyastuti. (2024). *Formulasi dan proses pembuatan pakan aditif asam amino lisin terproteksi*. (No Pendaftaran P00202405702). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
110. Ellin Harlia, Eulis Tanti Marlina, Yuli Astuti Hidayati, Oki Imanudin, **Roni Ridwan**. (2024). *Metode pembuatan starter gas metan batubara lignit menggunakan feses kerbau*. (No Granted IDS000008714). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
111. **Roni Ridwan**, Rohmatussolihat, Rusli Fidriyanto, Wulansih Dwi Astuti; Yantyati Widyastuti, Nurul Fitri Sari. (2024). *Komposisi medium pertumbuhan untuk produksi Bacillus licheniformis sebagai probiotik*. (No Granted IDP000092601). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

112. Wartika Rosa Farida, **Roni Ridwan**, Pamungkas Rizki Ferdian, Andri Permata Sari, Hadi Handayani, R. Lia Rahadian Amalia. (2023). *Formulasi dan proses pembuatan pakan buatan berbentuk biskuit untuk landak Jawa*. (No Pendaftaran P00202314765). Direktorat Jendral Kekayaan Intelektual.
113. Sukarman, Siti Murniasih, Lili Sholichah, **Roni Ridwan (2023)**. *Proses pembuatan sediaan astaxantin dari undur-undur laut Emerita sp sebagai suplemen pakan*. (No Pendaftaran P00202314643). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
114. Ellin Harlia, Eulis Tanti Marlina, Yuli Astuti Hidayati, Khairunnisa Nur Rahmah, **Roni Ridwan**. (2023). *Proses pembuatan substrat biogas dari tandan kosong kelapa sawit (TTKS) dengan isolat bakteri feses sapi perah*. (No Granted IDS000006158). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
115. **Roni Ridwan**, Ki Ageng Sarwono, Rohmatussolihat, Rusli Fidriyanto, Wulansih Dwi Astuti, Ainissya Fitri, Yantyati Widyastuti (2023). *Formulasi probiotik instan bubuk dan proses pembuatannya*. (No Pendaftaran P00202304822). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
116. Nurul Fitri Sari, Shanti Ratnakomala, Yantyati Widyastuti; **Roni Ridwan**, Rohmatussolihat, Wulansih Dwi Astuti, Rusli Fidriyanto. (2022). *Biosintesis nanomineral selenium dari bakteri asam laktat*. (No Granted IDP000083985). Direktorat Jendral Kekayaan Intelektual.
117. Ellin Harlia, Eulis Tanti Marlina, Yuli Astuti Hidayati, Oki Imanudin, **Roni Ridwan** (2022). *Metode pembuatan starter gas metan batubara lignit menggunakan feses kerbau*. (No Pendaftaran S000008714). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
118. Ellin Harlia, Eulis Tanti Marlina, Yuli Astuti Hidayati, Khairunnisa Nur Rahmah, **Roni Ridwan**. (2022). *Proses pembuatan substrat biogas dari tandan kosong kelapa sawit (TTKS) dengan isolat bakteri feses sapi perah*. (No Pendaftaran S00202208532). Direktorat Jendral Kekayaan Intelektual.

119. Rohmatussolihat, **Roni Ridwan**, Shanti Ratnakomala, Rusli Fidriyanto, Wulansih Dwi Astuti, Ki Ageng Sarwono, Yantyati Widyastuti (2022). *Produksi enzim selulase menggunakan Streptomyces Sp. dengan substrat jerami padi*. (No Pendaftaran P00202205969). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
120. Angela Mariana Lusiastuti, Desy Sugiani, Hessy Novita, Anang Hari Kristanto, Arif Wibowo, Rohmatussolihat, **Roni Ridwan**, Rusli Fidriyanto, Puspita Lisdiyanti, Yantyati Widyastuti. (2021). *Vaksin kering beku Aeromonas hydrophila berpenyalut kitosan dan proses pembuatannya*. (No Pendaftaran P00202111298). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
121. Rusli Fidriyanto, **Roni Ridwan**, Yantyati Widyastuti, Wulansih Dwi Astuti, Rohmatussolihat, Nurul Fitri Sari. (2021). *Komposisi medium aktivasi bakteri probiotik dan proses pembuatannya*. (No Granted IDP000077873). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
122. **Roni Ridwan**, Rohmatussolihat, Yantyati Widyastuti, Shanti Ratnakomala, Wulansih Dwi Astuti, Rusli Fidriyanto, Nurul Fitri Sari (2020). *Komposisi medium pertumbuhan bakteri asam laktat untuk probiotik ternak*. (No Granted IDP000066683). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
123. **Roni Ridwan**, Rohmatussolihat, Rusli Fidriyanto, Wulansih Dwi Astuti, Yantyati Widyastuti, Nurul Fitri Sari. (2020). *Komposisi medium pertumbuhan untuk produksi Bacillus licheniformis sebagai probiotik*. (No Pendaftaran P00202010048). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
124. Rusli Fidriyanto, **Roni Ridwan**, Yantyati Widyastuti, Wulansih Dwi Astuti, Rohmatussolihat, Nurul Fitri Sari. (2019). *Komposisi medium aktivasi bakteri probiotik dan proses pembuatannya*. (No Pendaftaran P00201904962). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

125. Yantyati Widyastuti, Rohmatussolihat, Rusli Fidriyanto, **Roni Ridwan**, Wulansih Dwi Astuti, Nurul Fitri Sari. (2018). *Formulasi inokulum probiotik serbuk dengan metode kering beku untuk ternak ruminansia*. (No Pendaftaran P00201809255). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
126. Nurul Fitri Sari, Shanti Ratnakomala, Yantyati Widyastuti, **Roni Ridwan**, Rohmatussolihat, Wulansih Dwi Astuti, Rusli Fidriyanto. (2017). *Biosintesis nanomineral selenium dari bakteri asam laktat*. (No Pendaftaran P00201708606). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
127. Rohmatussolihat, **Roni Ridwan**, Yantyati Widyastuti, Rusli Fidriyanto, Wulansih Dwi Astuti, Nurul Fitri Sari (2017). *Formulasi probiotik serbuk untuk ternak ruminansia*. (No Pendaftaran P00201707656). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
128. **Roni Ridwan**, Rohmatussolihat, Yantyati Widyastuti, Shanti Ratnakomala, Wulansih Dwi Astuti, Rusli Fidriyanto, Nurul Fitri Sari. (2016). *Komposisi medium pertumbuhan bakteri asam laktat untuk probiotik ternak ruminansia*. (No Pendaftaran P00201606546). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

Lisensi

129. PT. Mitrayasa Dairy Natural Tahun 2022-2027 pada Paten *Granted* IDP000066683. *Komposisi medium pertumbuhan bakteri asam laktat untuk probiotik ternak*.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Roni Ridwan, S.Pt., M.Si.
Tempat/Tanggal Lahir	: Cianjur, 16 Juli 1975
Anak ke	: Tiga (3) dari lima (5) bersaudara
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Nama Bapak Kandung	: Endang Suanda (Alm)
Nama Ibu Kandung	: Rohayati Fatimah
Nama Isteri	: Tika Sundari, S.Pt.
Jumlah Anak	: Tiga (3) orang
Nama Anak	: 1. Kania Dewi Shiyam, S.Si. 2. Muhamad Aqil Arrasyid 3. Aisha Dewi Humaira
Nama Instansi	: Pusat Riset Zoologi Terapan, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Judul Orasi	: Mitigasi Metan Enterik Pada Ruminansia Untuk Mewujudkan Pernakan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan
Ilmu	: Hewan
Bidang	: Bioteknologi Hewan
Kepakaran	: Bioteknologi Pakan dan Sistem Pencernaan
No. SK Pangkat Terakhir	: Keputusan Kepala BRIN Nomor 3433/I/KP/2023, tanggal 30 Maret 2023
No. Keppres Peneliti Utama	: Keputusan Presiden Republik Indonesia 2/M Tahun 2023, tanggal 9 Januari 2023

B. Pendidikan Formal

No	Jenjang	Nama Sekolah/PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	SDN Cibogo 1	Ciranjang- Cianjur	1988
2	SLTP	SMPN 1 Ciranjang	Ciranjang- Cianjur	1991
3	SLTA	SMAN 1 Cianjur	Cianjur	1994
4	S-1	Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak, IPB	Bogor	2000
5	S-2	Bioteknologi, IPB	Bogor	2009
6	S-3	Mikrobiologi, IPB	Bogor	2014

C. Pendidikan Nonformal

No	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1	Ecology and Taxonomy of Actinomycetes	NBRC-NITE- Kisarazu-Japan	Januari– Maret 2006
2	Identification and Study Ecology of Rumen Microbes	Microbe Devision BRC RIKEN- Tsukuba Japan	September– November 2013
3	Ecology Rumen Microbes	Microbe Devision BRC RIKEN- Tsukuba Japan	Agustus 2015
4	Feed Product Management	COVAP Cordoba- Spain	14 Nov 2016
5	Study of Prebiotic	Central University of Haryana-India	21 May 2023
6	Study Analysis of Feed Fermentation	JIRCAS-Tsukuba Japan	5 Nov 2023

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Kepala Sub Bagian Sarana dan Prasarana Biologi Sel dan Jaringan	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	2011

E. Jabatan Fungsional

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Peneliti Ahli Utama – IV/d	25 Januari 2023
2	Peneliti Ahli Madya – IV/a	1 Agustus 2016
3	Peneliti Ahli Muda – III/d	1 Juni 2015
4	Peneliti Ahli Muda – III/c	1 Agustus 2009
5	Peneliti Ahli Pertama – III/b	1 Januari 2007
6	Peneliti Ahli Pertama – III/a	1 November 2002

F. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1	Berita Biologi-LIPI	Pusat Penelitian Biologi LIPI	Reviewer	2019–sekarang
2	Jurnal Biologi Indonesia	Pusat Penelitian Biologi LIPI	Reviewer	2019–sekarang
3	Annales Bogoriensis	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	Reviewer	2020
4	Buletin Peternakan	FAPET UGM	Reviewer	2020
5	Jurnal Veteriner Universitas Udayana	FAPET Udayana	Reviewer	2020
6	Advances in Animal and Veterinary Sciences	Nexus Academic Publisher-Pakistan	Reviewer	2020
7	Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan	FAPET IPB	Reviewer	2021–sekarang

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
8	Tropical Animal Science Journal	FAPET IPB	Reviewer	2021–sekarang
9	Current Research in Biotechnology	Elsevier-Netherlands	Reviewer	2024–sekarang
10	Tropical Animal Health and Production	Springer -Netherlands	Reviewer	2024–sekarang
11	Italian Journal of Animal Science	Taylor & Francis Group-United Kingdom	Reviewer	2024–sekarang

G. Karya Tulis Ilmiah dan Kekayaan Intelektual

Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	1
2.	Bersama Penulis Lainnya	103
	Total	104

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	17
2.	Bahasa Inggris	87
3	Bahasa Lainnya	0
	Total	104

Kekayaan Intelektual

No.	Kekayaan Intelektual	Jumlah
1.	Paten Terdaftar	17
2.	Paten <i>Granted</i>	7
	Total	24

No.	Lisensi	Jumlah
1.	Paten <i>Granted</i>	1
	Total	1

H. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Siti Eka Yulianti	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	Mentor	2019
2.	Nunik Gustini	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	Mentor	2019
3.	Rike Rachmayati	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	Mentor	2020

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
4.	Eva Agustriana	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	Mentor	2020
5.	Ainissya Fitri	Pusat Riset Zoologi Terapan	Mentor	2021

Mahasiswa

No	Nama	Instansi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1	Hesti	Universitas Pancasila	Pembimbing S-1	2010
2	Aditiya	Universitas Negeri Jakarta	Pembimbing S-1	2015
3	Agustina	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2015
4	A.A. Win Ariga Bungsu	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2015
5	Servis Simanjuntak	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2015
6	Wayu Arisya	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2017
7	Rizki Amalia Nurfitriani	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2017
8	Tomi Lilo Pambudi	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-1	2017
9	Luthfi Ikhsani	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-1	2017
10	Muhammad Ashari Lubis	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-1	2017
11	Widya Danaparamita Ayuningtyas	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-3	2017

No	Nama	Instansi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
12	Wiwin Arpi Hartina	Universitas Teknologi Sumbawa	Pembimbing S-1	2018
13	M. Luthfi Salam	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2018
14	Pinandhita Putri	Universitas Negeri Semarang	Pembimbing S-1	2018
15	Rinda Gustanti	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2018
16	Desnidar Harefa	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2018
17	Neng Sri Haryanti Lestari	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2018
18	Hikmah Agustina P	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2018
19	Ai Samrotul Hasanah	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2018
20	Gina Cynthia Kamarudin Puteri	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-2	2018
21	Sadarman	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2018
22	Tekad Urip Pambudi Sujanarko	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2018
23	Kairunnisa Nur Rahmah	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-3	2019
24	Mohammad Abdelbagi Ahmed Elsharef	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2020
25	Cornelia Ch D Talapessy	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2020
26	Wafiyatunnufus	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2020

No	Nama	Instansi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
27	Wiwin Apri Hartina	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2020
28	Irfan Anwar Fauzan	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2020
29	Muthia Dewi	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2020
30	Rusli Fidriyanto	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2021
31	Sipah Rahayu	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2022
32	Sarah Wafa Monita Pasaribu	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2022
33	Dimar Sri Wahyuni	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2022
34	Rohmatussolihat	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2022
35	Arfiani	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2022
36	Lintang Dewi Kinanthi	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2023
37	Jylan Azizah Nurul Mumtazah	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2023
38	Ilma Islami	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2023
39	Adilah Adawiah	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2023
40	Agus Musta Rindi	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2023
41	Rifki Ramadan	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2023
42	Alkautsar	Universitas Syahkuala	Pembimbing S-3	2023

No	Nama	Instansi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
43	Laily Rinda Ardani	Universitas Andalas	Pembimbing S-3	2023
44	Farisha Rachma Azzahra	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-1	2024
45	Farisha Rachma Azzahra	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2024
46	Ilma Islami	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2024
47	Anissa Fadhilatul Ummah	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-2	2024
48	Rania Zabania Safitry	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-2	2024
49	Kirana Fairuza Riyanto	Universitas Padjadjaran	Pembimbing S-2	2024
50	Sukarman	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2024
51	Irwan Susanto	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2024
52	Lilis Riyanti	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S-3	2025

I. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2019–Sekarang
2.	Anggota	Asosiasi Ilmuan Nutrisi Indonesia (AINI)	2019–Sekarang
3.	Anggota	Himpunan Ilmuan Pernakan Indonesia (HILPI)	2019–Sekarang

J. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya X tahun	Presiden RI	19 Juni 2015
2.	Satyalancana Karya Satya XX tahun	Presiden RI	29 Juli 2021

Arah kebijakan pemerintah sesuai dengan RPJMN 2025-2029 dibidang pertanian-peternakan adalah meningkatkan produktivitas ternak dan memperkuat ketahanan pangan menuju swasembada pangan hewani nasional (Peraturan Presiden [PP-RI], 2025). Sejalan dengan arah kebijakan tersebut BRIN berkontribusi melalui riset dasar, terapan, dan aplikasi yang lebih memfokuskan pada pemanfaatan sumber daya genetik lokal dengan tool bioteknologi modern secara komprehensif untuk menjawab permasalahan saat ini dan tantangan masa depan.

Pada orasi ini disampaikan kebaruan mitigasi metan (CH₄) enterik pada ruminansia melalui implementasi hasil riset dari rekayasa pakan, pemberian pakan berbasis mikroba berupa probiotik dan pakan fermentasi silase, dan penambahan pakan imbuhan lainnya berupa polifenol tanin, prebiotik, enzim, asam amino terproteksi, dan asam lemak dengan dosis yang tepat menjadi kunci keberhasilan dalam mewujudkan peternakan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Mitigasi CH₄ enterik pada ruminansia diterapkan melalui rekayasa efisiensi pakan yang memberikan penghambatan secara langsung dan tidak langsung dengan daya cerna pakan, aktivitas interaksi mikrobioma rumen; bakteri, protozoa dan metanogen, dan mengubah pola metabolisme rumen melalui evaluasi pendekatan omik. Dinamika struktur mikrobioma dan profil metabolit menunjukkan dampak positif terhadap produktivitas ruminansia. Hasil ini membuka peluang yang menjanjikan untuk masa depan dan aplikasi praktis dalam manajemen ternak untuk meningkatkan produktivitas yang berkelanjutan.

