

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023, produksi susu segar di Indonesia sepanjang tahun 2023 hanya bertumbuh sekitar 1% menjadi 837.223 ton dari tahun sebelumnya sebesar 824.273 ton (BPS, 2023). Angka ini masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan kebutuhan konsumsi susu segar yang mencapai 4.3 juta ton. Dengan demikian, produksi susu dalam negeri hanya mampu memenuhi 20% kebutuhan susu nasional dan 80% sisanya diperoleh secara impor (Ditjen PKH, 2024). Rendahnya produktivitas susu segar dalam negeri dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk efisiensi produksi yang belum optimal serta faktor biologis seperti intoleransi laktosa yang banyak dialami oleh masyarakat Indonesia (Anggraini 2012). Di sisi lain, studi melaporkan bahwa susu kambing memiliki beberapa keunggulan dibandingkan susu sapi, diantaranya berpotensi sebagai agen terapeutik, mampu memelihara proses fisiologis, bersifat *non-allergenic* (Tripathi 2015; Nayik *et al.*, 2021), lebih mudah dicerna serta kandungan laktosa lebih rendah sehingga baik dikonsumsi bagi orang yang mengalami *lactose-intolerant* (Hardiansyah 2020). Paparan diatas memberi gambaran bahwa upaya peningkatan produksi susu kambing perah menjadi strategi yang relevan dan potensial. Selain untuk mendukung swasembada produksi susu nasional, pengembangan ini juga menawarkan nilai tambah dalam penyediaan produk susu yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis sebagian masyarakat Indonesia.

Produksi ternak di wilayah tropis, termasuk Indonesia, sangat dipengaruhi oleh variasi musiman pada kuantitas dan kualitas hijauan, yang secara langsung berdampak pada performa ternak. Hijauan lokal, seperti rumput lapangan dan limbah pertanian, umumnya memiliki kandungan serat kasar yang tinggi, kadar protein yang rendah, serta tingkat lignifikasi yang tinggi, sehingga membatasi pencernaan dan ketersediaan nutrisi bagi ternak ruminansia (Marlida *et al.*, 2023). Kondisi ini diperparah oleh fluktuasi musim yang memengaruhi ketersediaan hijauan berkualitas, di mana pada musim kemarau ternak cenderung mengonsumsi hijauan tua dengan nilai nutrisi yang rendah (Asminaya *et al.*, 2021). Rendahnya asupan protein yang dapat dicerna dan terbatasnya energi yang tersedia untuk sintesis susu dapat menyebabkan penurunan performa ternak, termasuk

produktivitas susu. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang mampu mengoptimalkan pemanfaatan pakan berserat rendah kualitas. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan melalui penambahan *direct-fed microbials* (DFM), yaitu pakan tambahan yang mengandung mikroorganisme hidup yang secara alami mendukung aktivitas mikroba rumen dan meningkatkan efisiensi fermentasi (Abdelrahman *et al.*, 2022). Istilah DFM memiliki makna yang bersepadanan dengan probiotik, sehingga kedua istilah ini sering digunakan secara bergantian.

Menurut *US Food and Drug Administration* (FDA), DFM merupakan produk pakan yang hanya mengandung sumber mikroorganisme hidup secara alami, sedangkan probiotik juga dapat mengandung enzim atau ekstrak kasar (Ban dan Guan 2021). Callaway and Ricke (2015) menambahkan bahwa kategori DFM meliputi, kultur bakteri, jamur atau ragi hidup (*viable*), kultur bakteri, jamur atau ragi yang mati (*non-viable*), atau produk akhir dari fermentasi bakteri, jamur atau ragi. Pemanfaatan DFM baik dalam bentuk tunggal (*single strain*) maupun kombinasi beberapa spesies (*multi strain/konsorsium*) pada ternak ruminansia berfungsi untuk memodulasi fermentasi rumen, memperbaiki keseimbangan mikroflora rumen, meningkatkan efisiensi pencernaan, meningkatkan performa ternak, serta mendukung kesehatan tubuh secara keseluruhan (Seo *et al.*, 2010; Suryani *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2016).

Mikroorganisme yang umum digunakan sebagai DFM untuk ternak ruminansia berasal dari berbagai genus bakteri maupun jamur. Genus bakteri yang paling sering diaplikasikan meliputi, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* dan *Propionibacterium*, sedangkan dari kelompok jamur, produk yang umum digunakan mengandung *Saccharomyces*, *Aspergillus*, dan *Pichia* (Seo *et al.*, 2010). Bakteri asam laktat (BAL) yang termasuk dalam kelompok DFM telah banyak diberikan pada ternak ruminansia dengan tujuan meningkatkan fermentasi rumen untuk efisiensi pakan dan merangsang aktivitas mikroba rumen (Ridwan *et al.*, 2018). Selain itu, di dalam lingkungan rumen, BAL berperan penting dalam menjaga kestabilan produksi dan suplai asam laktat, membantu adaptasi mikroflora rumen terhadap akumulasi asam laktat, menstimulasi pertumbuhan bakteri pengguna asam laktat yang berperan dalam menghindari kondisi asidosis (Seo *et al.*, 2010). BAL bersifat antagonistik terhadap bakteri patogen (Fassah *et al.*, 2024)

serta memproduksi zat antimikroba seperti bakteriosin dan asam organik yang mampu bersaing dengan patogen untuk mendapatkan nutrisi dan tempat pelekatan serta imunomodulasi (Villena *et al.*, 2018; Kraimi *et al.*, 2019).

Sementara itu, suplementasi yeast pada ransum ternak mampu meningkatkan produktivitas, perbaikan status kesehatan dan efisiensi pemanfaatan bahan berserat seperti selulosa (Harikrishna *et al.*, 2012; Adeyemi *et al.*, 2019). *Yeast culture* menggunakan oksigen untuk metabolisme partikel pakan menjadi gula dan oligosakarida yang kemudian diubah menjadi peptida dan asam amino sebagai produk akhir. Selain itu, yeast juga menghasilkan vitamin dan mineral yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri rumen (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008; Seo *et al.*, 2010; Suryani *et al.*, 2015). Sebagian besar mikroorganisme rumen bersifat anaerob, sehingga pemanfaatan oksigen oleh *yeast culture* akan membantu menciptakan lingkungan rumen yang lebih stabil dan mendukung kehidupan mikroba anaerob. Dengan demikian, aktivitas yeast akan melindungi bakteri rumen dari kerusakan akibat paparan oksigen (Adeyemi *et al.*, 2019). Lingkungan rumen yang lebih kondusif ini akan mendorong pertumbuhan bakteri selulolitik, yang akan berperan dalam meningkatnya degradasi serat dan efisiensi pencernaan (Suryani *et al.*, 2015). Yeast juga mampu merangsang aktivitas *acetogens* untuk bersaing dengan methanogen dalam memanfaatkan hidrogen. Kompetisi ini menekan produksi gas metan, yang berarti mengurangi kehilangan energi pakan dalam bentuk gas dan pada akhirnya meningkatkan efisiensi energi ternak (Mwenya *et al.*, 2004). Penelitian oleh Kembabazi *et al.* (2021) menunjukkan bahwa penggunaan BAL dan yeast secara tunggal maupun kombinasi mampu meningkatkan fermentasi rumen, mengurangi gas metana serta meningkatkan rasio propionat:asetat pada ternak.

Penelitian ini menggunakan isolat mikroba yang diambil dari ikan fermentasi tradisional (Budus), khas Sumatera Barat, Indonesia, sebagai kandidat potensial DFM untuk ternak ruminansia. Budus merupakan produk fermentasi ikan yang diolah melalui proses penggaraman dan penjemuran, umumnya menggunakan ikan tenggiri (*Scomberomorus guttatus*) dan ikan talang-talang (*Chorinemus tala*). Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengungkapkan keberagaman mikroba pada Budus, termasuk keberadaan BAL dan yeast yang berpotensi meningkatkan performa ternak. Marlida *et al.* (2023) melaporkan adanya keragaman mikroba

dalam Budu, sementara studi lain menemukan BAL penghasil asam glutamat yang dapat memperbaiki kualitas karkas ayam broiler (Maslami *et al.*, 2019), serta BAL penghasil asam gamma-aminobutirat (GABA) yang terbukti menurunkan stres pada ayam broiler dengan kepadatan kandang tinggi (Anggraini *et al.*, 2018). Meskipun demikian, hingga saat ini belum terdapat kajian yang secara khusus mengeksplorasi potensi mikroba dari Budu sebagai DFM untuk mendukung fermentasi rumen pada ternak ruminansia.

Pemberian DFM diduga mampu meningkatkan produktivitas ternak melalui beberapa mekanisme fisiologis yang saling berinteraksi. Pertama, mekanisme modulasi metabolisme pencernaan. Suplementasi DFM memungkinkan terjadinya kestabilan pH rumen dan merangsang mikroba selulolitik sehingga mampu meningkatkan fermentasi karbohidrat dari pakan (Stella *et al.*, 2007). Proses fermentasi yang lebih optimal ini akan menghasilkan senyawa metabolit penting berupa glukosa, asetat, asam β -hidroksibutirat serta senyawa-senyawa prekursor lain yang dapat menjadi prekursor utama dalam biosintesis susu (Strucken *et al.*, 2015). Selain itu, DFM juga berperan dalam meningkatkan efisiensi metabolisme nutrisi, ketersediaan zat gizi serta penyerapan di saluran pencernaan yang semuanya berdampak positif terhadap produksi susu (Nalla *et al.*, 2022). Beberapa penelitian mengeksplorasi penggunaan DFM terhadap fermentasi rumen dan produktivitas, seperti penggunaan suplementasi *Saccharomyces cerevisiae* 10^9 - 10^{10} CFU/d dapat meningkatkan produksi susu, lemak susu, protein susu, konsumsi pakan dan VFA total (Stella *et al.*, 2007; AlZahal *et al.*, 2014; Mavrommatis *et al.*, 2020). Lebih lanjut, penelitian oleh So *et al.*, (2021) melaporkan bahwa pemberian *Lactobacillus casei* TH14 10^8 CFU/d pada sapi FH mampu meningkatkan produksi susu. Sementara itu, studi *in-vitro* oleh Suryani *et al.*, (2016) menyatakan bahwa suplementasi *Saccharomyces cerevisiae* (0.5% DM) dan *Bacillus amyloliquefaciens* (0.5% DM) mengandung 14×10^8 CFU/g dapat meningkatkan pencernaan bahan kering dan bahan organik serta konsentrasi VFA dan NH_3 .

Kedua, mekanisme molekuler. Pemberian DFM diduga tidak hanya berdampak pada aspek pencernaan dan metabolisme, namun juga menjadi agen bioaktif yang dapat memengaruhi regulasi ekspresi gen melalui jalur molekuler tertentu. Aldelrahman *et al.* (2020) menyatakan bahwa pengaruh pakan dapat memicu perubahan molekuler secara *indirect* atau tidak langsung. Yeast dan BAL yang

diberikan secara oral berinteraksi dengan mukosa gastrointestinal dan menghasilkan berbagai berbagai senyawa metabolit intermediet, seperti asam lemak rantai pendek (*short-chain fatty acid/SCFA*) (Woo and Alenghat, 2022) serta senyawa metabolit aktif bagian dari tubuh mikroba tersebut seperti β -glukan, peptidoglikan, *lipoteichoic acid* (LTA) (Matsuzaki *et al.*, 2022; Thomas *et al.*, 2022).

Senyawa metabolit ini yang nantinya berfungsi sebagai ligan alami bagi reseptor imun dan metabolik, seperti *Toll-like Receptors* (TLR) serta nuclear receptors seperti LXR (*Liver X Receptor*) dan PPAR (*Peroxisome Proliferator-Activated Receptor*) (Osorio dan Moisa, 2019). Stimulasi TLR oleh produk mikroba dapat mengarah pada jalur persinyalan yang menghasilkan induksi gen antimikroba (Franchi *et al.*, 2008) dan penghambatan parasit (Worku *et al.*, 2016). Metabolit lain seperti SCFA terbukti mampu memodulasi sistem imun, mengurangi inflamasi dan meningkatkan fungsi penghalang usus (Prajapati *et al.*, 2023). Rangsangan yang diberikan oleh strain DFM tertentu pada umumnya menginduksi ekspresi mRNA sitokin dalam leukosit (Shida *et al.*, 2009). Senyawa-senyawa ini memiliki kemampuan secara langsung atau tidak langsung untuk mengaktifkan faktor transkripsi (TF), dan setelah diaktivasi, TF akan mentranslokasi dari sitoplasma menuju nukleus untuk mengubah transkripsi gen target spesifik (Osorio *et al.*, 2017). Penelitian oleh Adjei-Fremah *et al.* (2018) menyatakan bahwa pemberian probiotik komersial mengandung yeast dan bakteri secara oral selama 60 hari memiliki efek pada ekspresi gen yang terlibat dalam imunitas dan homeostasis. Lebih lanjut, Ajiboye *et al.* (2025) melaporkan penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* dan berbagai strain bakteri pada sapi potong selama 56 hari mampu meningkatkan ekspresi gen jalur regulasi respon inflamasi, regulasi sekresi sitokin dan respon defensif. Meskipun begitu, menurut Ekwemalor *et al.* (2017), ekspresi gen yang berbeda tergantung pada jenis strain mikroorganisme yang digunakan.

Berdasarkan uraian diatas, optimalisasi peran DFM pada ternak ruminansia dengan pemberian DFM dalam bentuk spesies tunggal (*single strain*) maupun kombinasi beberapa spesies (*multi strain*) untuk mendapatkan efek sinergisme antar mikroba di dalam rumen. Pemberian DFM diyakini mampu memberikan dampak yang lebih optimal pada produktivitas pada ternak ruminansia khususnya kambing perah. Selain itu, modulasi ekspresi gen akibat pengaruh DFM menunjukkan bahwa

nutrisi dapat bertindak sebagai pengatur molekuler yang memengaruhi profil ekspresi gen. Pengkajian efek DFM pada ekspresi gen fungsional masih sangat terbatas dan tidak hanya memberikan wawasan baru tentang mekanisme molekuler pada ternak ruminansia, namun juga memperkuat dasar ilmiah dalam penerapan konsep nutrigenomik pada kambing perah yang efisien dan berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh pemberian DFM dalam mengoptimalkan fermentasi rumen, produktivitas dan memodulasi profil ekspresi gen sistem imun pada kambing perah merupakan topik yang perlu dan layak untuk dikaji secara mendalam.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana potensi berbagai isolat BAL dan yeast hasil isolasi dari ikan fermentasi (Budu) sebagai kandidat DFM terhadap fermentasi rumen dan degradabilitas pakan secara *in-vitro*?
2. Bagaimana pengaruh kombinasi dan dosis dari BAL dan yeast sebagai DFM terhadap aktivitas fermentasi rumen dan populasi mikroba rumen secara *in-vitro*?
3. Bagaimana aplikasi DFM (BAL dan yeast) pada kambing perah secara *in-vivo* terhadap produktivitas dan profil ekspresi gen sistem imun?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan potensi BAL dan yeast yang sudah didapatkan sebelumnya dari ikan fermentasi (Budu), khas Sumatera Barat sebagai kandidat unggul DFM untuk ternak ruminansia. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

1. Seleksi isolat BAL dan yeast sebagai kandidat unggul DFM untuk ternak ruminansia secara *in-vitro*.
2. Penentuan kombinasi dan dosis optimal BAL dan yeast sebagai DFM secara *in-vitro*.
3. Aplikasi DFM (BAL dan yeast) pada kambing perah secara *in-vivo* terhadap produktivitas dan profil ekspresi gen sistem imun.

D. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi :

1. Isolat BAL dan yeast dari ikan fermentasi (Budu) sebagai kandidat unggul DFM untuk ternak ruminansia.
2. Kombinasi dan dosis optimal BAL dan yeast sebagai DFM dalam mengoptimalkan fermentasi rumen dan profil komunitas mikroba rumen.
3. Produktivitas serta profil ekspresi gen yang terlibat pada sistem imun kambing perah yang disuplementasi DFM.

E. Hipotesis Penelitian

1. Berbagai isolat BAL dan yeast dari ikan fermentasi (Budu) memiliki potensi sebagai DFM yang mampu mengoptimalkan fermentasi rumen dan degradabilitas pakan secara *in-vitro*.
2. Kombinasi dan dosis optimal dari isolat BAL dan yeast sebagai DFM mampu meningkatkan aktivitas fermentasi rumen serta memengaruhi populasi mikroba rumen secara *in-vitro*.
3. Pemberian BAL dan yeast sebagai DFM pada kambing perah dapat meningkatkan produktivitas dan memodulasi profil ekspresi gen terkait dengan sistem imun.

F. Novelty (kebaharuan) Penelitian

1. Ditemukan isolat BAL dan yeast dari ikan fermentasi (Budu) sebagai kandidat unggul DFM untuk ternak ruminansia.
2. Ditemukan kombinasi dan dosis DFM terbaik untuk mengoptimalkan fermentasi rumen dan mikrobiota rumen.
3. Eksplorasi profil transkriptomik terhadap efek imunomodulator DFM dari ikan fermentasi (Budu) pada kambing perah.