

PROFIL FISIKOKIMIA, MIKROBIOLOGI, METABOLOMIK METAGENOMIK, DAN ISOLASI BAKTERI ASAM LAKTAT DANGKE SUSU KERBAU DI KABUPATEN ENREKANG, SULAWESI SELATAN

ANDI MUTMAINNA



**ILMU PRODUKSI DAN TEKNOLOGI PETERNAKAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Profil Fisikokimia, Mikrobiologi, Metabolomik, Metagenomik dan Isolasi Bakteri Asam Laktat Dangke Susu Kerbau di Kabupaten Enrekang, Sulawesi Selatan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Andi Mutmainna
D1601231002



RINGKASAN

ANDI MUTMAINNA. Profil Fisikokimia, Mikrobiologi, Metabolomik, Metagenomik dan Isolasi Bakteri Asam Laktat Dangke Susu Kerbau di Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan. Dibimbing oleh IRMA ISNAFIA ARIEF, CAHYO BUDIMAN, ZAENAL ABIDIN dan ZAKIAH WULANDARI.

@Hak cipta milik IPB University

Susu salah satu bahan pangan yang secara alami mengandung BAL dan umumnya digunakan untuk pembuatan kultur starter pada berbagai produk olahan pangan. Bakteri asam laktat pada susu kerbau teridentifikasi antara lain sebagai *L. brevis*, *L. acidophilus*, *L. lactis* (Singh dan Sharma 2009), *L. bulgaricus*, *L. plantarum*, *L. lactis*, *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. rhamnosus* (Tambekar *et al.* 2009). BAL susu kerbau di Islamabad teridentifikasi sebagai *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *L. cremoris*, *L. lactis* dan *S. thermophilus* (Azis *et al.* 2009). Salah satu produk turunan susu kerbau khas Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan adalah Dangke yang pengembangannya masih sangat minim, dikarenakan proses pembuatannya masih tradisional menggunakan getah pepaya. Produk ini dihasilkan melalui pemanasan susu segar yang ditambahkan larutan getah pepaya sehingga susu membentuk gumpalan (*curd*) dan cairan (*whey*). *Curd* dan *whey* kemudian dipisahkan dengan tempurung kelapa sebagai alat penyaring sekaligus pencetak dangke, setelah memadat dangke lalu dibungkus dengan daun pisang dan siap dikonsumsi. Pendekatan metagenomik untuk mengeksplorasi keragaman mikroba dan mikrobiota yang terlibat dalam proses fermentasi dan olahan susu, serta peranannya dalam pembentukan karakteristik akhir dari produk susu kerbau. Pendekatan metagenomik yang memiliki prospek untuk untuk menyelidiki komunitas mikroba dari sampel yang diambil secara langsung dari lingkungan tanpa perlu dikulturkan. Selain itu mengisolasi Bakteri Asam Laktat Dangke. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil fisikokimia, mikrobiologi, metabolomik, metagenomik, dan isolasi bakteri asam laktat dangke susu kerbau.

Sampel dangke dikumpulkan dari berbagai usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Dangke dikumpulkan dari tiga desa (P1: Desa Rogo, P2: Desa Rogo2, dan P3: Desa Sumbang) di Enrekang, Sulawesi Selatan. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga ulangan pada waktu dan tempat yang berbeda. Data uji kualitas fisikokimia dan mikrobiologis dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) dan uji Duncan. Data senyawa volatil di analisis dengan GC-MS diproses melalui tahap pra- pemrosesan data menggunakan penskalaan varians unit (UV) untuk analisis multivariat. Pendekatan metagenomik 16S rRNA dengan primer universal yaitu 9F dan 1541R melalui reaksi berantai polimerase (PCR) yang telah dioptimalkan. Konsentrasi DNA diukur menggunakan spektrofotometri NanoDrop dan fluorometri Qubit. DNA disiapkan menggunakan kit Oxford Nanopore Technology, dan proses sekuensing dilakukan dengan perangkat lunak MinKNOW (v23.04.5). Urutan nukleotida gen 16S rRNA dari semua isolat BAL dianalisis dan diidentifikasi menggunakan pustaka data GenBank dan program BLAST di situs web NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/18>).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Dangke susu kerbau dari Kabupaten Enrekang memiliki karakteristik fisikokimia yang memenuhi standar SNI, keamanan mikrobiologis memenuhi standar, serta aktivitas antioksidan tertinggi dengan nilai IC_{50} P1(Desa Rogo1) sebesar 63,88 $\mu\text{g/mL}$ yang termasuk kategori sangat kuat karena komposisi asam amino penyusunnya (Serum albumin, peptida kasein, dan β -lg) dan adanya senyawa antioksidan (Senyawa fenolik). Beberapa luarannya menunjukkan adanya proses proteolisis dengan pita protein pada dangke (26.5 kDa, 17.1 kDa) dan susu kerbau (71,9 kDa). Analisis metabolomik mengidentifikasi berbagai senyawa volatil yang berkontribusi terhadap karakteristik sensori seperti pentadecanoic acid, hexadecanoic acid, heptadecanoic acid, dan octadecanoic acid yang memberikan karakteristik asam lemak dan rasa khas pada produk susu fermentasi, sementara alkohol, keton, aldehid, dan ester menambah kompleksitas aroma yang lebih lembut, manis, dan harum. Analisis metagenomik menunjukkan keanekaragaman mikroba yang tinggi dengan dominasi genus *Enterococcus* pada sampel dangke, yang berpotensi meningkatkan kualitas dan sifat fungsional produk. Identifikasi bakteri asam laktat melalui analisis biokimia dan molekuler berbasis gen 16S rRNA berhasil mengidentifikasi tiga isolat yaitu *Lactobacillus plantarum*, *Enterococcus faecalis*, dan *Vagococcus fluvialis*. Kesamaan sekuens 16S rRNA yang tinggi (umumnya > 98,7%) untuk mengkonfirmasi identitas spesies tetapi tidak cukup untuk menentukan kesamaan tingkat strain. Ketiga isolat tersebut menunjukkan aktivitas antimikroba yang signifikan terutama terhadap *Staphylococcus aureus*, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai antimikroba alami maupun kandidat kultur starter dalam pengembangan produk susu fermentasi tradisional.

Kata kunci: Dangke, Susu, Kerbau, Metabolomik, Fisikokimia, Mikrobiologi, Metagenomik, Bakteri Asam Laktat

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

ANDI MUTMAINNA. Physicochemical, Microbiological, Metabolomic, Metagenomic and Isolation Profile of Lactic Acid Bacteria from Dangke Buffalo Milk in Enrekang Regency, South Sulawesi. Supervised by IRMA ISNAFIA ARIEF, CAHYO BUDIMAN, ZAENAL ABIDIN, and ZAKIAH WULANDARI.

Milk is a food ingredient that naturally contains LAB (Lactic Acid Bacteria) and is commonly used to produce starter cultures for various processed foods. Lactic acid bacteria in buffalo milk have been identified as *L. brevis*, *L. acidophilus*, *L. lactis* (Singh and Sharma, 2009), *L. bulgaricus*, *L. plantarum*, *L. lactis*, *L. acidophilus*, *L. brevis*, and *L. rhamnosus* (Tambekar *et al.* 2009). LAB in buffalo milk in Islamabad were identified as *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *L. cremoris*, *L. lactis*, and *S. thermophilus* (Azis *et al.* 2009). One of the typical buffalo milk derivative products from the Enrekang Regency, South Sulawesi, is dangke, the development of which remains limited because the manufacturing process is traditional and uses papaya latex. This product is produced by heating fresh milk added with papaya latex solution, which causes the milk to form curds and liquid (whey). The curds and whey are then separated using a coconut shell as a filter and a dangke mold. After solidification, the dangke is wrapped in banana leaves and is ready for consumption. A metagenomic approach explores the diversity of microbes and microbiota involved in fermentation and milk processing, and their roles in shaping the final characteristics of buffalo milk products. This metagenomic approach has the potential to investigate microbial communities from samples taken directly from the environment without the need for culturing. Furthermore, it isolates Dangke Lactic Acid Bacteria. This study aimed to analyze the physicochemical, microbiological, metabolomic, metagenomic, and lactic acid bacteria profiles of buffalo milk dangke.

Dangke samples were collected from various micro, small, and medium enterprises (MSMEs). Dangke was collected from three villages (P1: Rogo Village, P2: Rogo2 Village, and P3: Sumbang Village) in Enrekang, South Sulawesi. Sampling was conducted in three replicates at different times and locations. Physicochemical and microbiological quality test data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Duncan's test. Volatile compound data analyzed by GC-MS were processed through a data-preprocessing stage using unit-variance (UV) scaling for multivariate analysis. A 16S rRNA metagenomic approach was used using the universal primers 9F and 1541R through an optimized polymerase chain reaction (PCR). DNA concentration was measured using NanoDrop spectrophotometry and Qubit fluorometry. DNA was prepared using the Oxford Nanopore Technology kit, and sequencing was performed using MinKNOW software (v23.04.5). The nucleotide sequences of the 16S rRNA genes of all LAB isolates were analyzed and identified using the GenBank data library and the BLAST program on the NCBI website (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/18>).

Dangke buffalo milk from Enrekang Regency has physicochemical characteristics that meet SNI standards, microbiological safety meets standards, and the highest antioxidant activity with an IC₅₀ P1 value (Rogo1 Village) of 63.88 µg/mL which is included in the very strong category due to the presence of antioxidant compounds (phenolic compounds, casein peptides, and β-Ig). Some of the outputs indicated a proteolysis process with protein bands in dangke (26.5 kDa, 17.1 kDa) and buffalo milk (71.9 kDa).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.



Metabolomic analysis identified various volatile compounds that contribute to sensory characteristics such as pentadecanoic acid, hexadecanoic acid, heptadecanoic acid, and octadecanoic acid, which provide characteristic fatty acids and distinctive flavors in fermented milk products, while alcohols, ketones, aldehydes, and esters add complexity to the aroma that is softer, sweeter, and fragrant. Metagenomic analysis showed high microbial diversity with the dominance of the *Enterococcus* genus in dangke samples, which has the potential to improve the quality and functional properties of the product. Identification of lactic acid bacteria through 16S rRNA gene-based molecular analysis successfully identified three isolates: *Lactobacillus plantarum*, *Enterococcus faecalis*, and *Vagococcus fluvialis*. High 16S rRNA sequence similarity (generally > 98.7%) confirmed species identity, but was insufficient to determine strain-level similarity. The three isolates showed significant antimicrobial activity, especially against *Staphylococcus aureus*; therefore, they have the potential to be used as natural antimicrobials or starter culture candidates in the development of traditional fermented milk products.

Keywords: Dangke, Milk, Buffalo, Metabolomics, Physicochemistry, Microbiology, Metagenomics, Lactic Acid Bacteria



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**PROFIL FISIKOKIMIA, MIKROBIOLOGI, METABOLOMIK
METAGENOMIK, DAN ISOLASI BAKTERI ASAM LAKTAT
DANGKE SUSU KERBAU DI KABUPATEN
ENREKANG, SULAWESI SELATAN**

ANDI MUTMAINNA

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada
Program Studi Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan

**ILMU PRODUKSI DAN TEKNOLOGI PETERNAKAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Lilis Suryaningsih, M.Si
- 2 Prof. Dr. Ir. Cece Sumantri, M.Sc

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Lilis Suryaningsih, M.Si
- 2 Prof. Dr. Ir. Cece Sumantri, M.Sc



Judul Disertasi : Profil Fisikokimia, Mikrobiologi, Metabolomik, Metabolomik dan Isolasi Bakteri Asam Laktat Dangke Susu Kerbau di Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan

Nama : Andi Mutmainna
NIM : D1601231002

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Irma Isnafia Arief, S.Pt., M.Si

Pembimbing 2:
Dr. Cahyo Budiman, S.Pt., M.Eng

Pembimbing 3:
Dr. Zaenal Abidin, S.Si., M.Agr

Pembimbing 3:
Dr. Zakiah Wulandari, S.T.P., M.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Cece Sumantri, M.Sc.
NIP 19591212 198603 1 004

Dekan Fakultas Peternakan:
Prof. Dr. Ir. Idat Galih Permana, M.ScAgr.
NIP 19670506 199103 1 001

Tanggal Lulus:

Tanggal Ujian Tertutup : 17 Juni 2026
Tanggal Sidang Promosi: 09 Juli 2026

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2024 sampai bulan April 2025 ini ialah profil fisikokimia, mikrobiologi, metablomik, metagenomik, dan isolasi bakteri asam laktat dangke susu kerbau di kabupaten E nrekang Sulawesi Selatan”.

Terima kasih penulis sampaikan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Irma Isnafia Arief, S.Pt, M.Si, Dr. Cahyo Budiman, S.Pt., M.Eng, Dr. Zaenal Abidin, S.Si, Agr, Dr. Zakiah Wulandari, S.T.P., M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi masukan pada penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Orang tua, serta seluruh keluarga dan suami saya, yang telah memberikan ridho, dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Andi Mutmainna



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Kebaruan (<i>novelty</i>)	3
II KAJIAN PROFIL FISIKOKIMIA, MIKROBIOLOGI, METABOLOMIK, DAN METAGENOMIK DANGKE SUSU KERBAU	5
2.1 Abstrak	5
2.2 Pendahuluan	5
2.3 Materi dan Metode	6
2.4 Hasil Pembahasan	11
2.5 Simpulan	29
III KAJIAN PROFIL METAGENOMIK BAKTERI DOMINAN DANGKE BERDASARKAN SEQUENCING 16S rRNA	30
3.1 Abstrak	30
3.2 Pendahuluan	30
3.3 Materi dan Metode	32
3.4 Hasil Pembahasan	35
3.5 Simpulan	53
IV KAJIAN KARAKTERISASI BAKTERI ASAM LAKTAT INDIGENIUS DANGKE SUSU KERBAU	54
4.1 Abstrak	54
4.2 Pendahuluan	54
4.3 Materi dan Metode	55
4.4 Hasil Pembahasan	58
4.5 Simpulan	70
V PEMBAHASAN UMUM	71
VI SIMPULAN SECARA UMUM DAN SARAN	
5.1 Simpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
RIWAYAT HIDUP	88

@ Hak cipta milik IPB University

DAFTAR TABEL

1.1	Rancangan Penelitian	3
2.1	Kandungan Nutrisi Dangke	13
2.2	Profil Asam Lemak	19
2.3	Profil Asam Amino	21
2.4	Skor Asam Amino FAO/WHO	24
2.5	Komponen Volatil GC-MS	27
2.6	Komponen Volatil Susu Kerbau	28
3.1	Hasil Pengukuran Konsentrasi DNA	36
4.1	Profil Biokimia Dangke	59
4.2	Aktivitas Antimikroba	68

DAFTAR GAMBAR

1.1	Diagram alir tahapan penelitian	4
2.3	Peta Enrekang Sulawesi Selatan	6
2.4	Profil UMKM dangke	12
2.3	Mekanisme aktivitas asam lemak	20
2.4	Mekanisme hubungan peptida	22
2.5	Profil protein SDS-Page	24
2.5	Mekanisme asam amino	24
2.6	Score PCA dangke	25
2.7	Biplot PCA dangke	26
2.8	Mekanisme hubungan komponen volatil dangke	28
3.1	Visualisasi elektroforesis gel	36
3.2	Taxonomic profiling	38
3.3	Diagram Venn keragaman mikroba	45
3.4	Diagram krona	48
4.1	Hasil pewarnaan isolat	60
4.2	Uji produksi CO ₂	61
4.3	Uji ketahanan pH	62
4.4	16S rRNA amplikasi PCR	63
4.5	Alignmen urutan basa ke 1 sampai ke-1450	67
4.6	Pohon filogenetik BAL dangke	67
4.7	Zona hambat aktivitas antimikroba	69
5.1	Ringkasan profil dangke	76