

Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi (Growol)

Skripsi



Desy Iriani Putri Tampubolon

31210403

Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

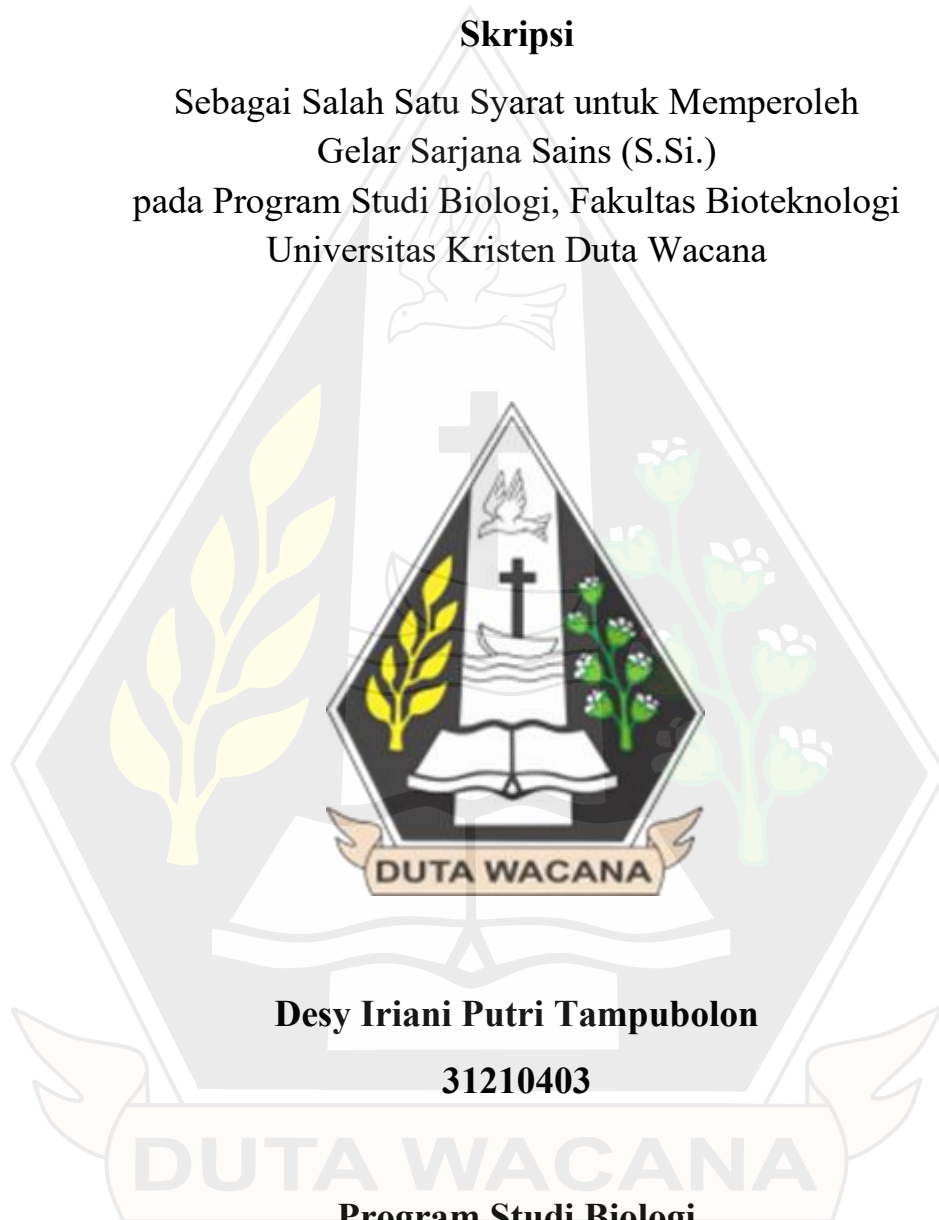
Yogyakarta

2025

Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi (Growol)

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si.)
pada Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana



Desy Iriani Putri Tampubolon

31210403

Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

Yogyakarta

2025

PERNYATAAN PENYERAHAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Desy Iriani Putri Tampubolon
NIM/NIP/NIDN : 31210403
Program Studi : Biologi
Judul Karya Ilmiah : Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi (Growol)

dengan ini menyatakan:

- a. bahwa karya yang saya serahkan ini merupakan revisi terakhir yang telah disetujui pembimbing/promotor/reviewer.
- b. bahwa karya saya dengan judul di atas adalah asli dan belum pernah diajukan oleh siapa pun untuk mendapatkan gelar akademik baik di Universitas Kristen Duta Wacana maupun di universitas/institusi lain.
- c. bahwa karya saya dengan judul di atas sepenuhnya adalah hasil karya tulis saya sendiri dan bebas dari plagiasi. Karya atau pendapat pihak lain yang digunakan sebagai rujukan dalam naskah ini telah dikutip sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.
- d. bahwa saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku berupa pencabutan gelar akademik jika di kemudian hari didapati bahwa saya melakukan tindakan plagiasi dalam karya saya ini.
- e. bahwa Universitas Kristen Duta Wacana tidak dapat diberi sanksi atau tuntutan hukum atas pelanggaran hak kekayaan intelektual atau jika terjadi pelanggaran lain dalam karya saya ini. Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran dalam karya saya ini akan menjadi tanggung jawab saya pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Kristen Duta Wacana.
- f. menyerahkan hak bebas royalti noneksklusif kepada Universitas Kristen Duta Wacana, untuk menyimpan, melestarikan, mengalihkan dalam media/format lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), dan mengunggahnya di Repositori UKDW tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta atas karya saya di atas, untuk kepentingan akademis dan pengembangan ilmu pengetahuan.
- g. bahwa saya bertanggung jawab menyampaikan secara tertulis kepada Universitas Kristen Duta Wacana jika di kemudian hari terdapat perubahan hak cipta atas karya saya ini.

h. bahwa meskipun telah dilakukan pelestarian sebaik-baiknya, Universitas Kristen Duta Wacana tidak bertanggung jawab atas kehilangan atau kerusakan karya atau metadata selama disimpan di Repositori UKDW.

i. mengajukan agar karya saya ini: *(pilih salah satu)*

- ☒ Dapat diakses tanpa embargo.
- ☐ Dapat diakses setelah 2 tahun.*
- ☐ Embargo permanen.*

Embargo: penutupan sementara akses karya ilmiah.

*Halaman judul, abstrak, dan daftar pustaka tetap wajib dibuka.

Alasan embargo *(bisa lebih dari satu)*:

- ☐ dalam proses pengajuan paten.
- ☐ akan dipresentasikan sebagai makalah dalam seminar nasional/internasional.**
- ☒ akan diterbitkan dalam jurnal nasional/internasional.**
- ☐ telah dipresentasikan sebagai makalah dalam seminar nasional/internasional ... dan diterbitkan dalam prosiding pada bulan ... tahun ... dengan DOI/URL ... ***
- ☐ telah diterbitkan dalam jurnal ... dengan DOI/URL artikel ... atau vol./no. ... ***
- ☐ berisi topik sensitif, data perusahaan/pribadi atau informasi yang membahayakan keamanan nasional.
- ☐ berisi materi yang mengandung hak cipta atau hak kekayaan intelektual pihak lain.
- ☐ terikat perjanjian kerahasiaan dengan perusahaan/organisasi lain di luar Universitas Kristen Duta Wacana selama periode tertentu.
- ☐ Lainnya (mohon dijelaskan)

**Setelah diterbitkan, mohon informasikan keterangan publikasinya ke repository@staff.ukdw.ac.id.

***Tuliskan informasi kegiatan atau publikasinya dengan lengkap.

Yogyakarta, 7 November 2025

Mengetahui,



Dr. Dhira Satwika, M.Sc.
NIDN 0514076601

Yang menyatakan,



Putri Tampubolon
NIM 31210403

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi dengan judul:

**Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi
(Growol)**

Telah diajukan dan dipertahankan oleh:

DESY IRIANI PUTRI TAMPUBOLON

31210403

dalam Ujian Skripsi Program Studi Biologi Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

dan dinyatakan DITERIMA untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains pada tanggal 5 November 2025

Nama Dosen

Tanda Tangan

1. Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

(Ketua Tim Penguji/Dosen Pembimbing I) :



2. Tri Yahya Budiarso, S.Si., MP.

(Anggota Tim Penguji/Dosen Pembimbing II) :



3. Isa Nuryana, S.Si., M. Biotech.

(Anggota Tim Penguji) :



Yogyakarta, 13 November 2025

Dekan,

Ketua Program Studi,




Dr. Charis Amarantini, M.Si.

NIK. 914 E 155



Dwi Aditiyarini, S.Si., M.Biotech., M.Sc.

NIK. 214 E 556

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada
Singkong Fermentasi (Growol)
Nama : Desy Iriani Putri Tampubolon
NIM : 31210403
Pembimbing I : Dr. Dhira Satwika, M.Sc.
Pembimbing II : Tri Yahya Budiarmo, S.Si., MP.
Hari/Tanggal Presentasi : Rabu, 5 November 2025

Yogyakarta, 27 Oktober 2025

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,



Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

NIK : 904 E 146

Pembimbing Pendamping,



Tri Yahya Budiarmo, S.Si., MP.

NIK : 934 E 209

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi,



Dwi Aditriyarni, S.Si., M.Biotech., M.Sc.

NIK : 214 E 556

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Desy Iriani Putri Tampubolon

NIM : 31210403

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi (Growol)

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan dari suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu di dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya secara sadar dan bertanggungjawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 27 Oktober 2025



Desy Iriani Putri Tampubolon)

NIM: 31210403

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi (Growol)**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Dhira Satwika, M.Sc., selaku dosen pembimbing utama yang telah menjadi teman seperjuangan yang senantiasa memberikan arahan, motivasi, dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini,
2. Bapak Tri Yahya Budiarmo, S.Si, MP., selaku dosen pembimbing pendamping atas bantuan dan saran yang sangat berharga dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas motivasi dan pembelajaran yang sangat bermakna bagi penulis,
3. Ibu Isa Nuryana, S.Si., M. Biotech., selaku dosen penguji atas saran dan masukan yang sangat berharga bagi penulis dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kebaikan hati dan kesediaan mengenal dan mendengarkan penulis,
4. Bapak & Ibu dosen Fakultas Bioteknologi UKDW. Terima kasih atas pengajaran dan ilmu pengetahuan yang diberikan dengan penuh kasih sayang kepada penulis selama masa studi di Fakultas Bioteknologi,
5. Tim Laboran Fakultas Bioteknologi UKDW: Kak Iga, Kak Ester, Mba Gemma, Mba Wida dan Kak Arga yang sangat baik hati, selalu hadir dan berkenan menolong serta membantu penulis selama proses penyelesaian skripsi,

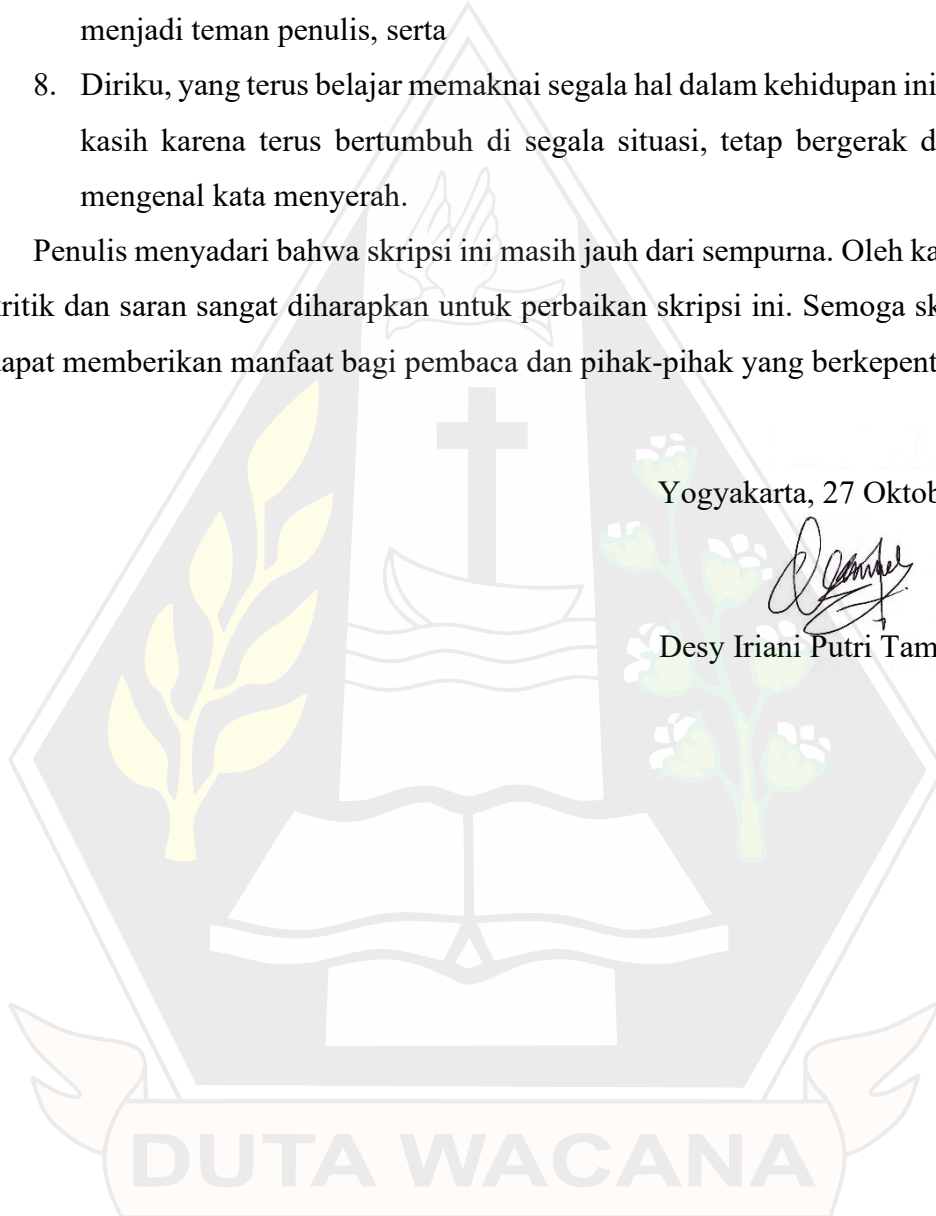
6. Keluarga tercinta, atas doa, kasih sayang, dan dukungannya yang tiada henti. Terima kasih atas kesabaran yang tiada batasnya, atas didikan dan pengertian yang baik kepada penulis,
7. Teman-teman biotek dari berbagai angkatan yang bersedia mengenal dan menjadi teman penulis, serta
8. Diriku, yang terus belajar memaknai segala hal dalam kehidupan ini. Terima kasih karena terus bertumbuh di segala situasi, tetap bergerak dan tidak mengenal kata menyerah.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Yogyakarta, 27 Oktober 2025



Desy Iriani Putri Tampubolon



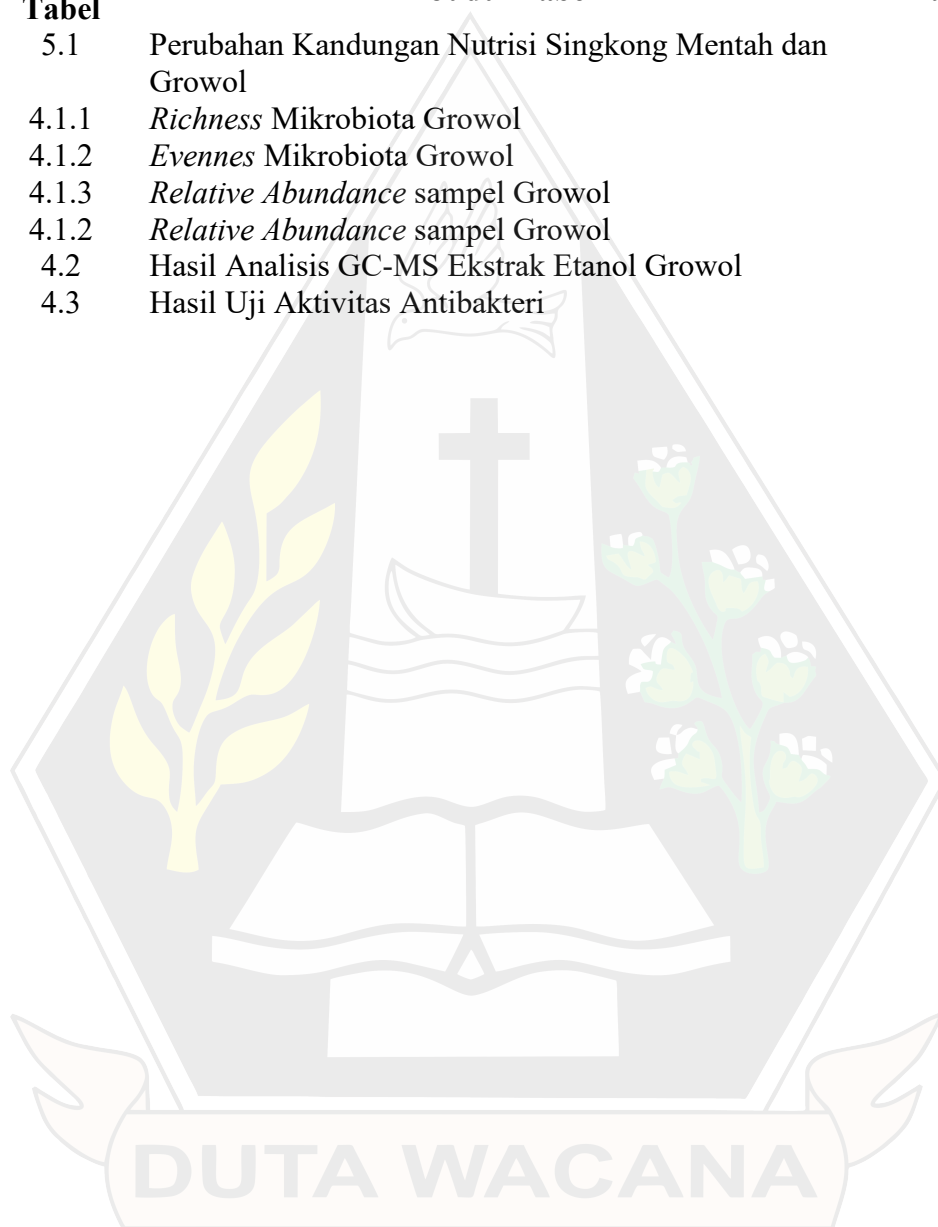
DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK.....	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Growol sebagai Produk Fermentasi Tradisional	4
1. Pengertian Growol	4
2. Bahan Baku Pembuatan Growol	5
3. Cara Pembuatan Growol	5
4. Proses Fermentasi dan Mikroorganisme yang Berperan.....	6
5. Kandungan Nutrisi Growol.....	8
6. Potensi Growol sebagai Pangan Fungsional	9
2.2 Analisis Keragaman Mikroba dengan <i>Next-Generation Sequencing</i> (NGS)	10

2.3 Uji Aktivitas Antibakteri	11
BAB III	12
METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	12
3.2 Bahan Penelitian.....	12
3.3 Alat Penelitian	12
3.4 Desain Penelitian	12
3.5 Cara Kerja.....	13
1. Sterilisasi Alat.....	13
2. Preparasi Sampel Growol.....	13
3. Pembuatan Ekstrak Growol.....	14
4. Analisis GC-MS.....	14
5. Analisis Keragaman Mikrobiota dengan <i>Next-Generation Sequencing</i> (NGS).....	14
6. Pembuatan Media MHA, BHIB dan NB.....	15
7. Pembuatan Suspensi Bakteri.....	15
8. Pengujian Aktivitas Antibakteri dengan Difusi Agar Sumuran.....	15
BAB IV	16
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Analisis <i>Alpha Diversity</i> Mikrobiota pada Growol.....	16
1. Kekayaan Spesies (Richness).....	16
2. Keseimbangan Spesies (<i>Evenness</i>)	17
4.2 Analisis <i>Relative Abundance</i> Mikrobiota pada Growol	20
4.3 Uji Aktivitas Antibakteri	30
BAB V.....	33
KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.1 Kesimpulan.....	33
Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:.....	33
5.2 Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	37

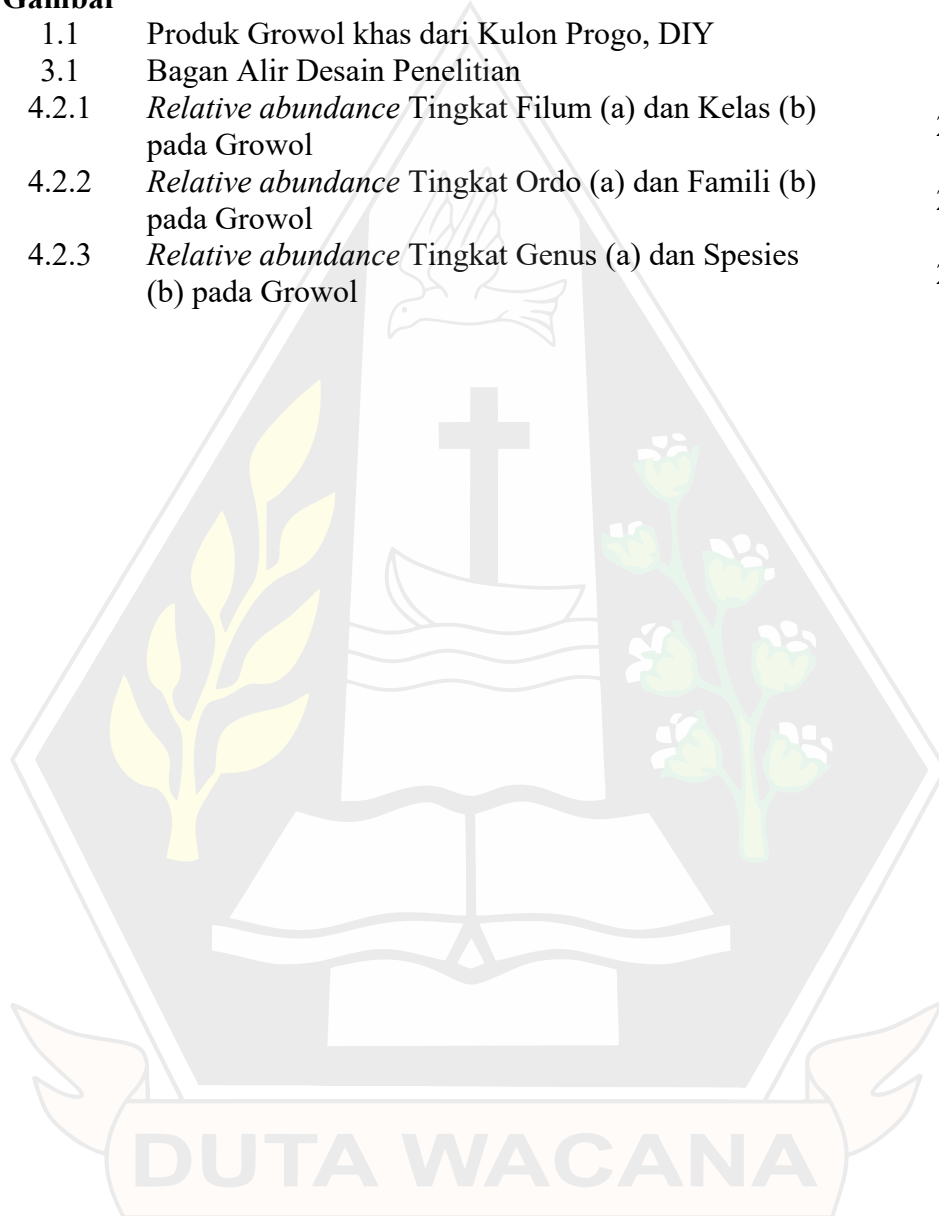
DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
5.1	Perubahan Kandungan Nutrisi Singkong Mentah dan Growol	8
4.1.1	<i>Richness</i> Mikrobiota Growol	16
4.1.2	<i>Evennes</i> Mikrobiota Growol	17
4.1.3	<i>Relative Abundance</i> sampel Growol	19
4.1.2	<i>Relative Abundance</i> sampel Growol	16
4.2	Hasil Analisis GC-MS Ekstrak Etanol Growol	26
4.3	Hasil Uji Aktivitas Antibakteri	30



DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
1.1	Produk Growol khas dari Kulon Progo, DIY	5
3.1	Bagan Alir Desain Penelitian	13
4.2.1	<i>Relative abundance</i> Tingkat Filum (a) dan Kelas (b) pada Growol	20
4.2.2	<i>Relative abundance</i> Tingkat Ordo (a) dan Famili (b) pada Growol	22
4.2.3	<i>Relative abundance</i> Tingkat Genus (a) dan Spesies (b) pada Growol	24



ABSTRAK

Analisis Metagenomik Komunitas Mikroba pada Singkong Fermentasi (Growol)

DESY IRIANI PUTRI TAMPUBOLON

Growol merupakan makanan fermentasi tradisional berbahan dasar singkong yang berasal dari Kulon Progo, Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keragaman mikroorganisme, senyawa bioaktif, serta aktivitas antibakteri dari ekstrak growol. Analisis metagenomik menggunakan metode *Next-Generation Sequencing* (NGS) menunjukkan bahwa komunitas mikroba pada growol didominasi oleh *Lactobacillus delbrueckii* dan *Bifidobacterium mongoliense*, yang termasuk dalam filum *Firmicutes* dan *Actinobacteria*. Kedua spesies tersebut berperan penting dalam proses fermentasi dan berpotensi menghasilkan metabolit bioaktif seperti asam organik dan peptida antimikroba. Hasil analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS) terhadap ekstrak etanol growol mengidentifikasi keberadaan beberapa asam lemak jenuh dan tak jenuh, antara lain asam palmitat, asam stearat, dan asam oleat, serta senyawa volatil seperti asam asetat dan asam laktat, yang diketahui memiliki potensi antibakteri dan antioksidan. Namun, uji aktivitas antibakteri terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* menunjukkan tidak adanya zona hambat. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun senyawa bioaktif terdeteksi secara kimiawi, konsentrasi atau stabilitasnya dalam ekstrak etanol kemungkinan tidak mencukupi untuk menimbulkan efek antibakteri *in vitro*. Temuan ini juga mengisyaratkan bahwa aktivitas biologis bakteri asam laktat pada growol lebih bersifat fungsional ketika mikroba hidup berinteraksi langsung di dalam ekosistem usus manusia. Dengan demikian, efektivitas growol sebagai pangan fungsional lebih optimal melalui konsumsi langsung yang mempertahankan viabilitas bakteri probiotik di dalamnya.

Kata kunci: aktivitas antibakteri, fermentasi singkong, *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS), growol, *Next-Generation Sequencing* (NGS).

ABSTRACT

Metagenomic Analysis of Microbial Community in Fermented Cassava (Growol)

DESY IRIANI PUTRI TAMPUBOLON

*Growol is a traditional fermented food made from cassava originating from Kulon Progo, Yogyakarta. This study aimed to analyze the microbial diversity, bioactive compounds, and antibacterial activity of growol extract. Metagenomic analysis using Next-Generation Sequencing (NGS) revealed that the microbial community of growol was dominated by *Lactobacillus delbrueckii* and *Bifidobacterium mongoliense*, belonging to the phyla Firmicutes and Actinobacteria. These species play important roles in the fermentation process and are known to produce bioactive metabolites such as organic acids and antimicrobial peptides. Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC–MS) analysis of the ethanol extract of growol identified several saturated and unsaturated fatty acids, including palmitic acid, stearic acid, and oleic acid, as well as volatile compounds such as acetic acid and lactic acid, which are known to possess antibacterial and antioxidant potential. However, antibacterial assays against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* showed no inhibition zones. This indicates that although bioactive compounds were chemically detected, their concentration or stability in the ethanol extract might not be sufficient to exert antibacterial effects in vitro. These findings also suggest that the biological activity of lactic acid bacteria in growol is more functional when live microbes directly interact within the human gut ecosystem. Therefore, the functional efficacy of growol is likely more pronounced through direct consumption that maintains the viability of its probiotic bacteria.*

Keywords: *antibacterial activity, cassava fermentation, Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC–MS), growol, Next-Generation Sequencing (NGS).*

BAB I

PENDAHULUAN

I.I Latar Belakang

Fermentasi merupakan salah satu teknik pengolahan pangan tertua yang digunakan untuk meningkatkan daya simpan, cita rasa, dan nilai gizi bahan pangan. Proses fermentasi melibatkan aktivitas mikroorganisme yang mengubah substrat organik menjadi berbagai metabolit seperti asam organik, alkohol, peptida, dan senyawa volatil yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan (Tamang *et al.*, 2020). Salah satu produk fermentasi tradisional Indonesia yang menarik untuk dikaji adalah growol, makanan khas dari Kulon Progo, Yogyakarta, yang berbahan dasar singkong.

Growol dibuat melalui proses fermentasi alami dengan bantuan mikroorganisme yang berasal dari lingkungan dan bahan baku. Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap makanan fermentasi lokal semakin meningkat karena potensi keberadaan bakteri asam laktat (BAL) dan mikroba probiotik lain yang dapat memberikan efek positif bagi kesehatan usus dan sistem imun (Tamang *et al.*, 2020). Selain itu, produk metabolit dari BAL seperti asam organik, peptida antimikroba, dan senyawa volatil juga diketahui memiliki aktivitas antibakteri, antioksidan, dan antiinflamasi (Baruzzi *et al.*, 2011).

Perkembangan teknologi analisis molekuler seperti Next-Generation Sequencing (NGS) telah memungkinkan karakterisasi komunitas mikroba pada produk fermentasi secara lebih mendalam dibandingkan metode konvensional. Melalui NGS, komposisi mikrobiota dapat diidentifikasi hingga tingkat spesies, sehingga memberikan gambaran lebih akurat tentang peran mikroorganisme dominan dalam fermentasi. Selain itu, analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS) berperan penting dalam mengidentifikasi senyawa kimia bioaktif hasil fermentasi, termasuk asam lemak dan metabolit volatil yang

berkontribusi terhadap aktivitas biologis produk tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keberadaan BAL pada growol seperti *Lactobacillus plantarum* dan *Lactobacillus rhamnosus* berpotensi menghasilkan senyawa antimikroba (Putri *et al.*, 2012). Namun, efektivitas senyawa bioaktif tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi fermentasi, metode ekstraksi, serta stabilitas kimianya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan pendekatan molekuler (NGS) dan kimiawi (GC–MS) untuk memahami keterkaitan antara komunitas mikroba, senyawa bioaktif, dan potensi aktivitas antibakteri pada growol. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi growol sebagai pangan fungsional berbasis fermentasi lokal, yang tidak hanya berperan dalam diversifikasi pangan, tetapi juga berpotensi memberikan manfaat kesehatan melalui aktivitas probiotik dan metabolit bioaktif yang dihasilkannya.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana keragaman mikroorganisme yang terdapat pada growol berdasarkan analisis *Next-Generation Sequencing* (NGS)?
2. Senyawa bioaktif apa saja yang teridentifikasi pada ekstrak etanol growol melalui analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS)?
3. Bagaimana aktivitas antibakteri ekstrak growol terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*?

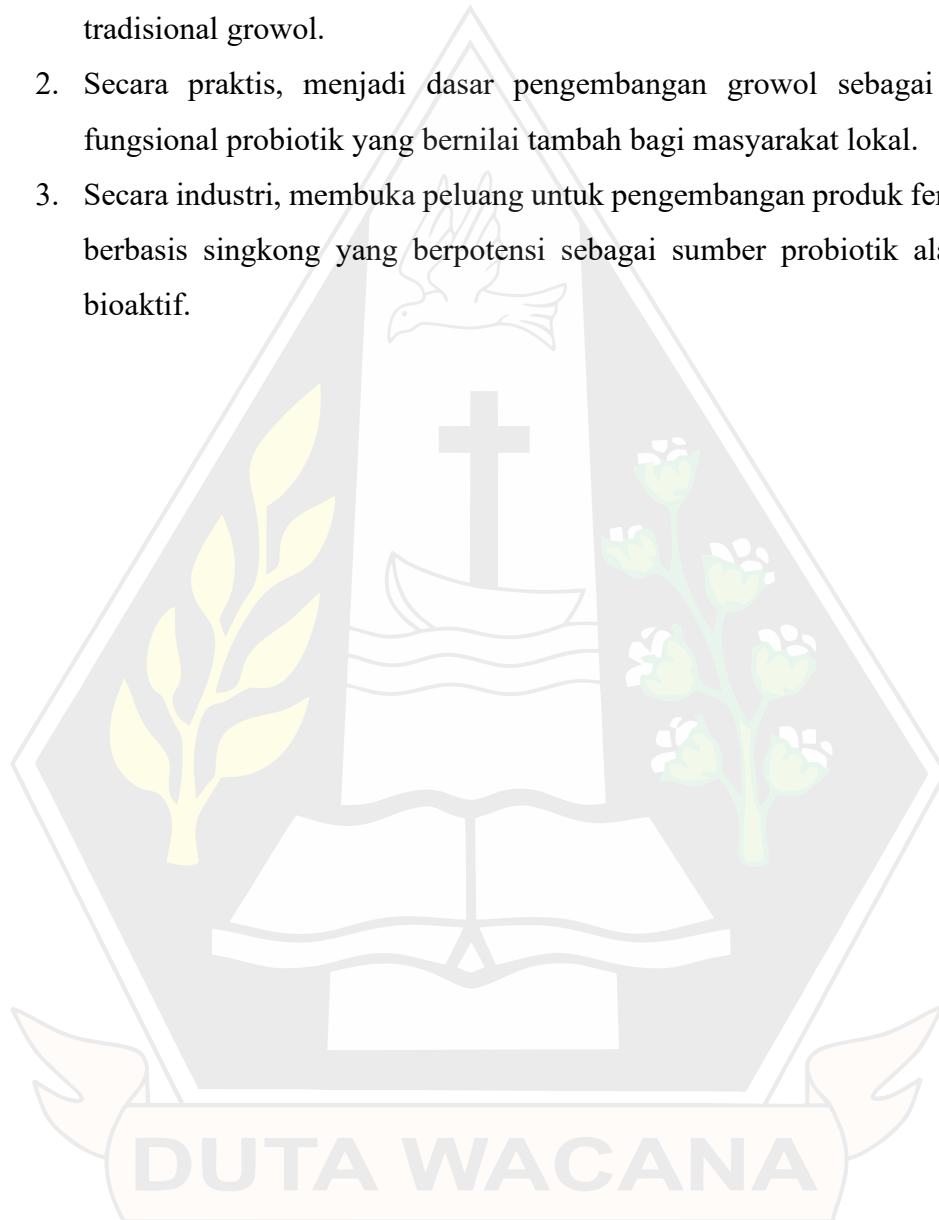
1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis keragaman mikroorganisme pada growol menggunakan metode NGS.
2. Mengidentifikasi senyawa bioaktif dalam ekstrak etanol growol melalui analisis GC–MS.
3. Mengetahui aktivitas antibakteri ekstrak growol terhadap *E. coli* dan *S. aureus*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Secara ilmiah, memberikan informasi mengenai hubungan antara komunitas mikroba, senyawa metabolit, dan aktivitas biologis pada produk fermentasi tradisional growol.
2. Secara praktis, menjadi dasar pengembangan growol sebagai pangan fungsional probiotik yang bernilai tambah bagi masyarakat lokal.
3. Secara industri, membuka peluang untuk pengembangan produk fermentasi berbasis singkong yang berpotensi sebagai sumber probiotik alami dan bioaktif.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

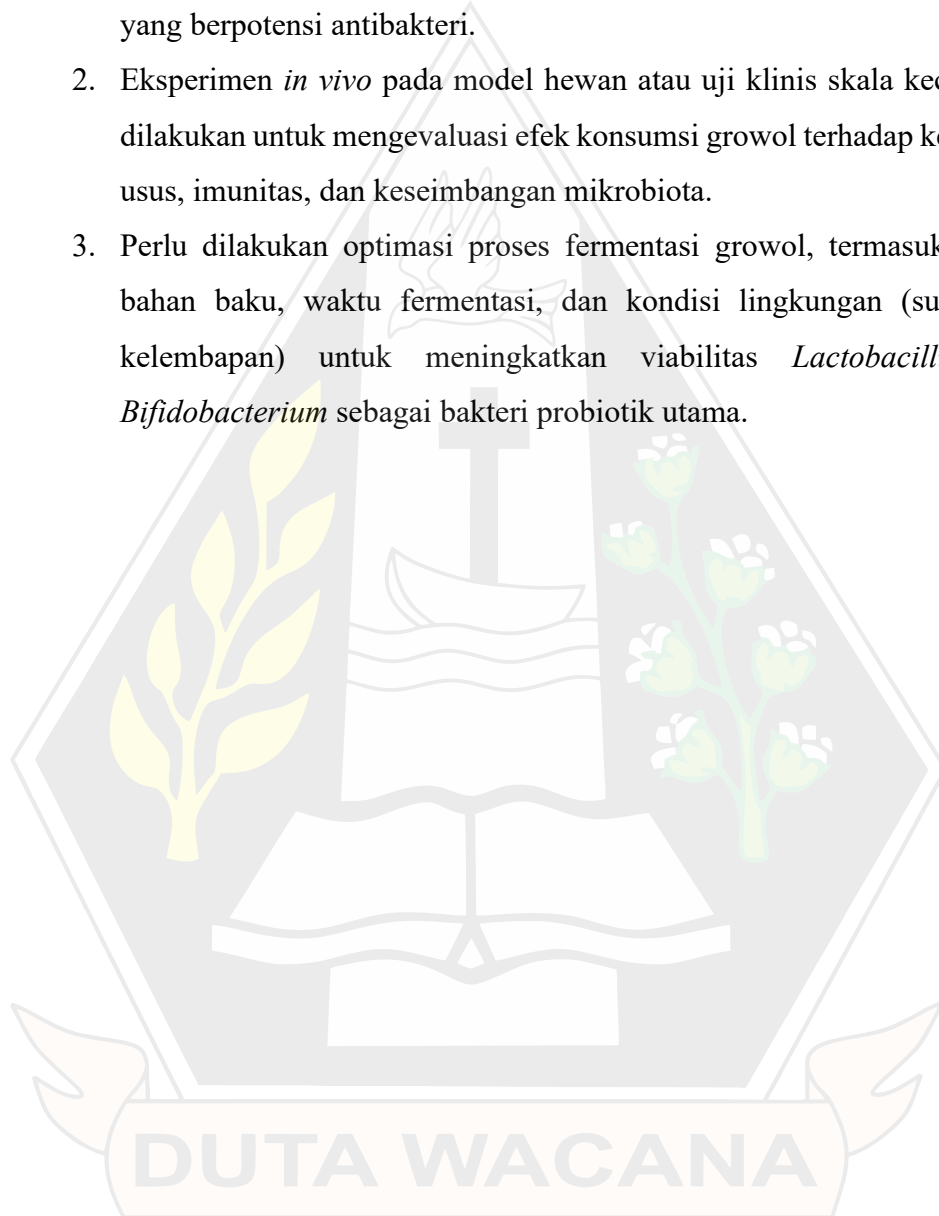
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Keragaman mikroorganisme pada growol menunjukkan dominasi spesies *Lactobacillus delbrueckii* dan *Bifidobacterium mongoliense*, yang termasuk dalam filum *Firmicutes* dan *Actinobacteria*. Kedua spesies ini berperan penting dalam proses fermentasi singkong melalui produksi asam organik dan peptida bioaktif yang mendukung cita rasa, aroma, serta potensi probiotik growol.
2. Analisis senyawa bioaktif dengan metode GC–MS terhadap ekstrak etanol growol mengidentifikasi keberadaan beberapa asam lemak jenuh dan tidak jenuh seperti asam palmitat, asam stearat, dan asam oleat, serta senyawa volatil seperti asam asetat dan asam laktat. Senyawa-senyawa ini diketahui memiliki aktivitas biologis seperti antioksidan dan antiinflamasi yang berpotensi meningkatkan nilai fungsional growol sebagai pangan fermentasi tradisional.
3. Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol growol terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* tidak menunjukkan adanya zona hambat. Hasil ini mengindikasikan bahwa konsentrasi, stabilitas, atau polaritas senyawa bioaktif dalam ekstrak etanol belum cukup untuk memberikan efek antibakteri *in vitro*. Hal ini juga menegaskan bahwa aktivitas biologis bakteri asam laktat dalam growol lebih nyata dalam kondisi *in vivo*, ketika mikroba hidup berinteraksi langsung dengan ekosistem usus manusia. Secara keseluruhan, growol memiliki potensi sebagai pangan fungsional probiotik alami karena mengandung komunitas mikroba menguntungkan dan senyawa bioaktif yang berperan dalam kesehatan pencernaan serta keseimbangan mikrobiota usus.

5.2 Saran

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan metode ekstraksi yang berbeda (misalnya ekstraksi fraksinasi polaritas atau metode superkritik) guna meningkatkan isolasi dan kestabilan senyawa bioaktif yang berpotensi antibakteri.
2. Eksperimen *in vivo* pada model hewan atau uji klinis skala kecil dapat dilakukan untuk mengevaluasi efek konsumsi growol terhadap kesehatan usus, imunitas, dan keseimbangan mikrobiota.
3. Perlu dilakukan optimasi proses fermentasi growol, termasuk variasi bahan baku, waktu fermentasi, dan kondisi lingkungan (suhu, pH, kelembapan) untuk meningkatkan viabilitas *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* sebagai bakteri probiotik utama.



DAFTAR PUSTAKA

- Abriouel, H., Ben Omar, N., Maqueda, M., Martínez-Bueno, M. J., & Gálvez, A. (2011). Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. *FEMS Microbiology Reviews*, 35(1), 201–232. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2010.00244>.
- Anderson, R. C., Cookson, A. L., McNabb, W. C., Park, Z., McCann, M. J., Kelly, W. J., & Roy, N. C. (2010). *Lactobacillus plantarum* MB452 enhances the function of the intestinal barrier by increasing the expression of genes involved in tight junction formation. *BMC Microbiology*, 10, 316.
- Baruzzi, F., Morea, M., Matarante, A., & Cocconcelli, P. S. (2011). Bacteriocin production and microbial diversity of lactobacilli isolated from dry fermented sausages. *Journal of Applied Microbiology*, 111(6), 1390–1401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05160.x>
- De Roos, Jan, & De Vuyst, Luc. (2018). Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages. *Current Opinion in Biotechnology*, 49, 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.007>
- Desbois, A. P., & Smith, V. J. (2010). Antibacterial free fatty acids: activities, mechanisms of action and biotechnological potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(6), 1629–1642.
- Kabara, J. J., Swieczkowski, D. M., Conley, A. J., & Truant, J. P. (1972). Fatty acids and derivatives as antimicrobial agents. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2(1), 23–28.
- Kaur, G., Kumar, S., & Rana, J. S. (2019). Antimicrobial and antioxidant activity of long-chain alkylphenols (cardols) isolated from cashew nut shell liquid. *Industrial Crops and Products*, 139, 111564. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111564>
- Lee, Ji-Young, Kim, Su-Jin, Kim, Hyeon-Cheol, & Park, Yong-Ha. (2019). Functional properties of *Bifidobacterium mongoliense* isolated from fermented dairy products. *Food Microbiology*, 78, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.09.002>
- Nuraida, Lilis. (2015). Health promoting lactic acid bacteria in traditional Indonesian fermented foods. *Food Science and Human Wellness*, 4(2), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.06.001>
- O’Callaghan, A., & van Sinderen, D. (2016). *Bifidobacteria* and their role as members of the human gut microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 7, 925.
- Putri, M. A., Widyastuti, Y., & Sari, D. P. (2012). Identifikasi bakteri asam laktat pada makanan fermentasi tradisional Growol asal Kulon Progo, Yogyakarta. *Jurnal Bioteknologi*, 9(1), 1–7.

- Putri, W.D.R., Haryadi, H., Marseno, D.W. (2012). Isolation and characterization of amylolytic lactic acid bacteria during growol fermentation, an Indonesian traditional food. *J. Teknol. Pert.* 13 (1):52–60.
- Putri, W.D.W., Mika, M., Nakagawa, Y. (2011). Differentiation studies of predominant lactic acid bacteria isolated during growol fermentation by using polyphasic taxonomic characterization, *Afr. J. Biotechnol.* 10 (42):8194–8204.
- Romero-Luna, H. E., Hernández-Sánchez, H., & Dávila-Ortiz, G. (2017). Traditional fermented beverages from Mexico as a potential probiotic source. *Annals of Microbiology*, 67, 577–586. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1290-2>
- Sari, A. D., & Puspaningtyas, D. E. (2019). Karakterisasi dan uji aktivitas antibakteri isolat bakteri asam laktat dari Growol terhadap patogen enterik. *Seminar Nasional Mikrobiologi Indonesia*, 8(1), 77–84.
- Stanbury PF, Whitaker A. (1984). *Principles of Fermentation Technology*. (ENG): Pergamon Pr
- Tamang, Jyoti P., Dong-Hwa Shin, Su-Jin Jung, Soo-Wan Chae (2016). Functional Properties of Microorganisms in Fermented Foods. *Frontiers in Microbiology*, 7:578. [Frontiers+2ICHGCP+2](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377)
- Tamang, Jyoti Prakash, Watanabe, Koichi, & Holzapfel, Wilhelm Heinrich. (2016). Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 7, 377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Utami, Tri, Rahayu, Endang S., Widyastuti, Yekti, & Cahyanto, M. N. (2020). Characterization of lactic acid bacteria from Indonesian traditional fermented cassava. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 25(1), 23–31. <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.56765>
- Wicaksono, M. S., Fathurrohman., Nastiti, E. N. S., Rahayuningsih, H., Pramusita, A., Nuryani, A., & Pradana, C. S. (2022). Pengembangan Growol Sebagai Oleh-Oleh Makanan Khas Tradisional Kulon Progo. *Jurnal Pengabdian dan Pengembangan Masyarakat*, 5(1): 11-21.
- Wuyts, Stijn, Van Beeck, Wim, Oerlemans, Els, Wittouck, Stijn, Claes, I. J., & Lebeer, Sarah. (2020). Lactic acid bacteria diversity in traditional fermented foods and beverages. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 188. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01436-6>
- Zheng, C. J., Yoo, J. S., Lee, T. G., Cho, H. Y., Kim, Y. H., & Kim, W. G. (2022). Fatty acid synthesis is a target for antibacterial activity of unsaturated fatty acids. *FEBS Letters*, 586(17), 2514–2518.
- Zheng, C., Chen, Z., Zhang, Y., & Zhao, X. (2022). Antibacterial activity and mechanism of unsaturated fatty acids against *Escherichia coli*. *Food Chemistry*, 383, 132609.