

Identifikasi Mikroflora Indigenous pada Hasil Samping Fermentasi Sopi (*Arenga pinnata*) dan Potensinya sebagai Sumber Mikroba Lokal untuk Aplikasi Bioteknologi

Roselin Gultom*, Yohana Maria Febrizki Bollyn, Maria Tarsisia Luju

Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Katolik Indonesia
Santu Paulus Ruteng

*Email Korespondensi: gultomroselin95@gmail.com

Abstrak

Sopi merupakan minuman fermentasi tradisional berbahan nira aren (*Arenga pinnata*) yang menghasilkan hasil samping berpotensi sebagai sumber mikroflora indigenous. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi mikroflora indigenous pada hasil samping fermentasi sopi melalui karakterisasi morfologis, fisiologis, dan biokimia. Identifikasi dilakukan menggunakan pewarnaan Gram, pewarnaan endospora, pengujian pertumbuhan, serta karakterisasi metabolik pada beberapa media selektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroorganisme dominan yang ditemukan adalah *Lactobacillus plantarum* ($9,3 \times 10^7$ CFU/mL), *Acetobacter aceti* ($2,1 \times 10^6$ CFU/mL), dan *Bacillus subtilis* ($1,8 \times 10^6$ CFU/mL). Keberadaan ketiga mikroorganisme tersebut menunjukkan potensi hasil samping fermentasi sopi sebagai sumber mikroba lokal yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan bioteknologi, fermentasi, dan biokonversi berbasis sumber daya lokal.

Kata kunci: *Arenga pinnata*, Fermentasi Sopi, Mikroflora Indigenous, Bioteknologi Lokal

Abstract

Sopi is a traditional fermented beverage made from sugar palm sap (Arenga pinnata) that produces by-products with potential as a source of indigenous microflora. This study aimed to identify the indigenous microflora present in the by-products of sopi fermentation through morphological, physiological, and biochemical characterization. Identification was carried out using Gram staining, endospore staining, growth tests, and metabolic characterization on selective media. The results revealed that the dominant microorganisms were Lactobacillus plantarum (9.3×10^7 CFU/mL), Acetobacter aceti (2.1×10^6 CFU/mL), and Bacillus subtilis (1.8×10^6 CFU/mL). These findings indicate that sopi fermentation by-products have strong potential as a source of indigenous microorganisms for biotechnology, fermentation, and bioconversion applications based on local resources.

Keywords: *Arenga pinnata*, Indigenous Microflora, Fermentation By-Products, Sopi Fermentation, Local Biotechnology

PENDAHULUAN

Sopi merupakan minuman fermentasi tradisional yang berasal dari nira pohon aren (*Arenga pinnata*) dan telah lama menjadi bagian dari kehidupan sosial, budaya, serta ekonomi masyarakat di berbagai wilayah Indonesia Timur, khususnya Nusa Tenggara Timur. Produksi sopi dilakukan secara turun-temurun melalui proses fermentasi spontan yang memanfaatkan mikroorganisme alami yang terdapat pada bahan baku, peralatan, dan lingkungan fermentasi. Selain menghasilkan produk utama berupa minuman destilat, proses tersebut juga menghasilkan berbagai hasil samping berupa residu fermentasi dan limbah cair yang hingga saat ini sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, hasil samping fermentasi berpotensi menjadi sumber daya hayati yang bernilai dan dapat dikembangkan menjadi produk berbasis bioteknologi.

Fermentasi spontan merupakan suatu proses biologis yang melibatkan interaksi berbagai kelompok mikroorganisme yang tumbuh secara alami tanpa penambahan kultur starter komersial. Pada fermentasi nira aren, komunitas mikroba berkembang secara dinamis mengikuti perubahan kondisi lingkungan dan ketersediaan substrat selama fermentasi berlangsung. Berbagai penelitian pada produk fermentasi berbasis nira menunjukkan bahwa kelompok bakteri asam laktat, bakteri asam asetat, bakteri pembentuk spora, serta khamir merupakan mikroorganisme yang umum ditemukan dan berperan dalam transformasi senyawa organik selama proses fermentasi (Djeni et al., 2020, 2022; Oluwole et al., 2023).

Mikroorganisme yang secara alami berkembang dan beradaptasi pada suatu lingkungan tertentu dikenal sebagai mikroflora indigenous. Mikroflora indigenous memiliki karakteristik unik karena terbentuk melalui proses adaptasi ekologis jangka panjang terhadap kondisi lingkungan, substrat, serta praktik fermentasi yang khas pada suatu daerah. Adaptasi tersebut memungkinkan mikroorganisme memiliki kemampuan fisiologis dan metabolik yang sesuai dengan sumber daya lokal tempat mereka berkembang. Oleh karena itu, mikroflora indigenous semakin mendapat perhatian sebagai sumber daya genetik mikroba yang berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai bidang bioteknologi, termasuk fermentasi pangan, pengolahan limbah organik, produksi metabolit bernilai tambah, pengembangan inokulan fermentasi, serta aplikasi pada bidang peternakan dan pertanian.

Dalam sistem peternakan, mikroorganisme lokal memiliki prospek yang menarik karena berpotensi dimanfaatkan sebagai kultur starter fermentasi bahan pakan, agen

biokonversi limbah pertanian, maupun sumber mikroba fungsional yang mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat. Penggunaan mikroba yang berasal dari lingkungan lokal juga dinilai memiliki peluang lebih besar untuk berinteraksi secara efektif dengan substrat yang tersedia di wilayah yang sama. Namun demikian, pengembangan aplikasi bioteknologi berbasis mikroba lokal memerlukan informasi dasar mengenai identitas dan karakteristik mikroorganisme yang tersedia pada sumber daya lokal tersebut.

Meskipun sopi merupakan produk fermentasi tradisional yang telah lama dikenal masyarakat, kajian mengenai mikroflora yang terdapat pada hasil samping fermentasinya masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada aspek sosial ekonomi, proses produksi, dan karakteristik produk utama, sementara informasi mengenai komunitas mikroba yang terkandung dalam hasil samping fermentasi masih belum banyak dilaporkan. Padahal, hasil samping fermentasi berpotensi menjadi reservoir mikroflora indigenous yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber mikroba lokal untuk berbagai aplikasi bioteknologi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi mikroflora indigenous yang terdapat pada hasil samping fermentasi sopi (*Arenga pinnata*) melalui karakterisasi morfologis, fisiologis, dan biokimia. Informasi yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pemetaan sumber daya mikroba lokal serta membuka peluang penelitian lanjutan terkait pemanfaatan mikroflora indigenous hasil samping fermentasi sopi untuk berbagai aplikasi bioteknologi berbasis kearifan lokal.

METODE

Identifikasi mikroflora dari hasil samping fermentasi sopi (*Arenga pinnata*) dilakukan melalui serangkaian uji fisiologis, morfologis, dan biokimia untuk mengarakterisasi isolat bakteri yang diperoleh. Pengamatan awal dilakukan melalui pewarnaan Gram untuk membedakan bakteri Gram positif dan Gram negatif, serta pewarnaan endospora (endospore staining) untuk mendeteksi pembentukan endospora pada sel bakteri. Selain itu, dilakukan pengamatan pertumbuhan di kondisi anaerob (*anaerobic growth test*) untuk mengetahui kemampuan toleransi oksigen, serta pengujian pertumbuhan pada suhu 35 °C guna mengevaluasi karakteristik suhu optimum isolat.

Karakter morfologi koloni diamati melalui media khusus seperti YDC agar untuk mendeteksi koloni berwarna kuning, serta media King's B untuk mengamati produksi pigmen fluoresen di bawah cahaya UV. Pengamatan aerial mycelium dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan karakteristik seperti aktinomisetes. Uji pertumbuhan pada

media selektif D1M agar dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan tumbuh pada substrat tertentu. Selain itu, dilakukan juga uji metabolisme arginin dan betaine untuk melihat aktivitas metabolik spesifik yang berguna dalam identifikasi genus atau spesies tertentu. Seluruh uji dilakukan dengan prosedur aseptik di bawah *laminar air flow*, dan hasil identifikasi dibandingkan dengan karakteristik referensi dari literatur mikrobiologi sebagai dasar klasifikasi awal mikroflora hasil fermentasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi mikroflora indigenous

Identifikasi mikroorganisme pada hasil samping pembuatan sopi dilakukan untuk menentukan spesies dominan yang berperan selama proses fermentasi. Analisis yang dilakukan melalui karakterisasi mikroskopis, fisiologis, dan biokimia menunjukkan bahwa sampel mengandung tiga kelompok mikroorganisme utama. Ketiga mikroba tersebut merupakan kelompok yang umum ditemukan pada proses fermentasi alami berbasis nira, di mana dinamika pertumbuhannya dipengaruhi oleh kandungan gula, kondisi oksigen, serta aktivitas kompetitif antar spesies. Informasi mengenai karakteristik dan jumlah masing-masing mikroorganisme disajikan pada Tabel 1, yang menggambarkan kontribusi potensialnya terhadap proses fermentasi dan dinamika komunitas mikroba pada hasil samping sopi.

Tabel 1. Identifikasi Mikroorganisme Dominan pada Hasil Samping Pembuatan Sopi

No. Mikroorganisme	Jenis Mikroba	Ciri Mikroskopis	Sifat Biokimia & Fisiologi	Jumlah Koloni (CFU/mL)
1 <i>Lactobacillus plantarum</i>	Bakteri Asam Laktat (BAL)	Gram positif, batang	Tidak membentuk endospora, anaerob fakultatif, fermentatif, mampu memanfaatkan arginin dan betain	$9,3 \times 10^7$
2 <i>Acetobacter aceti</i>	Bakteri Asam Asetat	Gram negatif, batang	Tidak membentuk endospora, aerob obligat, dapat memanfaatkan betain sebagai donor osmoregulasi	$2,1 \times 10^6$
3 <i>Bacillus subtilis</i>	Bakteri Proteolitik	Gram positif, batang	Membentuk endospora, aerob/anaerob fakultatif, mampu memetabolisme arginin dan betain	$1,8 \times 10^6$

Hasil identifikasi mikroorganisme dari sampel hasil samping pembuatan sopi menunjukkan keberadaan tiga jenis mikroba dominan, yaitu *Lactobacillus plantarum*, *Acetobacter aceti*, dan *Bacillus subtilis*. Ketiga mikroorganisme ini merupakan kelompok yang umum ditemukan pada sistem fermentasi spontan yang berbasis substrat kaya gula, seperti nira aren. Dominasi mikroorganisme ini diduga berkontribusi terhadap proses fermentasi serta pembentukan senyawa bioaktif pada hasil samping sopi.

Lactobacillus plantarum merupakan bakteri asam laktat (BAL) Gram positif berbentuk batang yang bersifat anaerob fakultatif dan tidak membentuk endospora. Mikroba ini memiliki metabolisme fermentatif yang efisien, terutama dalam memfermentasi gula menjadi asam laktat, serta mampu memanfaatkan senyawa seperti arginin dan betaine. Betaine, sebagai senyawa osmolit organik, membantu *L. plantarum* menjaga keseimbangan osmotik sel, melindungi protein dari denaturasi, serta mempertahankan aktivitas metabolik dalam kondisi lingkungan ekstrem seperti tekanan osmotik tinggi atau suhu yang berfluktuasi (Dobrijević et al., 2023). Dengan jumlah koloni yang sangat tinggi dalam hasil samping sopi ($9,3 \times 10^7$ CFU/mL), keberadaan *L. plantarum* diduga dominan dan memainkan peran penting dalam menurunkan pH lingkungan, menghambat pertumbuhan mikroba patogen, serta menghasilkan senyawa antimikroba seperti asam organik dan bakteriosin. Keberadaan betaine dalam substrat fermentasi tradisional seperti nira juga memperkuat ketahanan fisiologis mikroorganisme ini, mendukung potensinya sebagai agen bioaktif alami.

Acetobacter aceti merupakan bakteri asam asetat Gram negatif, berbentuk batang, bersifat aerob obligat, dan tidak membentuk endospora. Mikroorganisme ini diketahui memiliki sistem respirasi unik yang disebut *oxidative fermentation*, yaitu proses oksidasi tidak sempurna etanol menjadi asam asetat melalui aktivitas enzim *membrane-bound alcohol dehydrogenase* (mADH) dan *acetaldehyde dehydrogenase* (mALDH) yang terikat pada membran periplasmik (He et al., 2022). Proses ini memungkinkan produk fermentasi seperti asam asetat dilepaskan langsung ke lingkungan, menciptakan kondisi asam yang secara efektif menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen. Selain menghasilkan energi secara efisien, sistem ini juga memungkinkan *A. aceti* untuk beradaptasi dalam lingkungan fermentatif dengan konsentrasi substrat tinggi. Enzim-enzim ini bekerja bersama-sama dalam rantai respirasi oksidatif yang didukung oleh kofaktor seperti PQQ (*pyrroloquinoline quinone*), *heme c*, dan ubiquinon. Meskipun jumlah koloninya dalam hasil samping pembuatan sopi lebih rendah ($2,1 \times 10^6$ CFU/mL) dibanding mikroba

lainnya, keberadaan *A. aceti* tetap signifikan karena kemampuannya membentuk lingkungan asam dan memperkuat efek sinergis terhadap bakteri patogen.

Sementara itu, *Bacillus subtilis* adalah bakteri Gram positif berbentuk batang yang mampu membentuk endospora, menjadikannya tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Mikroba ini bersifat aerob maupun anaerob fakultatif, serta dikenal sebagai bakteri proteolitik yang mampu memetabolisme arginin dan betain. Meskipun populasinya dalam sampel relatif lebih rendah ($1,8 \times 10^6$ CFU/mL), *B. subtilis* memiliki potensi besar dalam produksi enzim dan senyawa antimikroba seperti surfaktin, subtilisin, serta lipopeptida lainnya. Surfactin diketahui memiliki aktivitas antimikroba terhadap berbagai bakteri Gram positif, sebagaimana didukung oleh studi terbaru. Misalnya, *Bacillus subtilis* BS21 menghasilkan surfactin yang merusak membran sel bakteri, mengganggu aktivitas enzim, dan menghambat sintesis protein pada patogen (Wu et al., 2023). Selain itu, surfactin dari *Bacillus halotolerans* menunjukkan kemampuan penghambatan yang kuat terhadap *Staphylococcus aureus* dan *B. subtilis* pada konsentrasi rendah (Abdelraof et al., 2024). Kajian mengenai mekanisme regulasi produksi surfactin juga menyoroti perannya ganda sebagai agen antimikroba sekaligus molekul sinyal (Qiao et al., 2024), sedangkan penelitian pada *B. subtilis* subsp. *spizizenii* menegaskan efektivitas biosurfaktan dan lipopeptida terhadap berbagai kondisi lingkungan (Guillén-Navarro et al., 2023). Temuan-temuan terbaru ini menguatkan dugaan bahwa *B. subtilis* dalam hasil samping sapi berkontribusi secara substansial terhadap aktivitas penghambatan terhadap mikroorganisme uji melalui surfactin dan lipopeptida terkait.

Potensi Mikroflora Indigenous sebagai Sumber Mikroba Lokal untuk Aplikasi Bioteknologi

Keberadaan *Lactobacillus plantarum*, *Acetobacter aceti*, dan *Bacillus subtilis* dalam hasil samping fermentasi sapi menunjukkan bahwa limbah fermentasi tradisional ini berpotensi menjadi sumber mikroflora indigenous yang bernilai bagi pengembangan bioteknologi berbasis sumber daya lokal. Sebagai mikroorganisme yang berkembang secara alami pada lingkungan fermentasi nira aren, ketiga kelompok mikroba tersebut diduga telah beradaptasi terhadap karakteristik substrat lokal, termasuk ketersediaan gula, fluktuasi pH, tekanan osmotik, dan interaksi dengan komunitas mikroba lainnya. Karakteristik adaptif tersebut menjadi salah satu alasan mengapa mikroflora indigenous semakin mendapat perhatian sebagai sumber kandidat kultur starter atau inokulan pada berbagai proses fermentasi berbasis bahan baku lokal.

Dalam bidang peternakan, mikroorganisme indigenous memiliki prospek untuk dikembangkan sebagai inokulan pada fermentasi bahan pakan, terutama dalam pemanfaatan limbah pertanian dan agroindustri yang tersedia secara lokal. *Lactobacillus plantarum* diketahui berperan dalam produksi asam laktat yang dapat mempercepat penurunan pH selama fermentasi, sehingga membantu meningkatkan stabilitas dan kualitas bahan pakan fermentasi. Sementara itu, *Bacillus subtilis* memiliki kemampuan menghasilkan berbagai enzim ekstraseluler, seperti protease dan amilase, yang berpotensi meningkatkan degradasi komponen nutrisi kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah dimanfaatkan. Di sisi lain, *Acetobacter aceti* berkontribusi dalam pembentukan metabolit fermentasi tertentu yang dapat memengaruhi dinamika komunitas mikroba selama proses fermentasi berlangsung. Kombinasi aktivitas metabolik tersebut menunjukkan adanya peluang pemanfaatan komunitas mikroba indigenous sebagai agen biokonversi pada sistem produksi peternakan yang memanfaatkan sumber daya lokal.

Selain sebagai inokulan fermentasi, mikroflora indigenous juga berpotensi menjadi sumber isolat untuk pengembangan berbagai produk bioteknologi, seperti kultur starter, agen biokonservasi, maupun sumber metabolit mikroba bernilai tambah. Namun demikian, pemanfaatan tersebut masih memerlukan penelitian lanjutan yang mencakup identifikasi molekuler, evaluasi keamanan biologis, karakterisasi metabolit yang dihasilkan, serta pengujian efektivitas pada substrat dan sistem produksi yang spesifik. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat dipandang sebagai langkah awal dalam pemetaan sumber daya mikroba lokal yang berpotensi mendukung pengembangan bioteknologi berbasis kearifan lokal dan pemanfaatan hasil samping fermentasi secara lebih berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil identifikasi menunjukkan bahwa hasil samping fermentasi sapi merupakan habitat bagi mikroflora indigenous yang memiliki karakteristik fisiologis dan metabolik yang beragam. Keberadaan mikroorganisme tersebut menunjukkan bahwa hasil samping fermentasi tradisional tidak hanya berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai sumber daya hayati, tetapi juga dapat menjadi dasar pengembangan berbagai inovasi bioteknologi berbasis sumber daya lokal. Meskipun demikian, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mengonfirmasi identitas mikroorganisme secara molekuler serta mengevaluasi keamanan dan efektivitasnya pada aplikasi yang lebih spesifik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil samping fermentasi sopi (*Arenga pinnata*) mengandung tiga mikroflora indigenous dominan, yaitu *Lactobacillus plantarum*, *Acetobacter aceti*, dan *Bacillus subtilis*, dengan *L. plantarum* sebagai mikroorganisme yang paling dominan. Keberadaan mikroorganisme tersebut menunjukkan bahwa hasil samping fermentasi sopi berpotensi menjadi sumber mikroba lokal yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan bioteknologi berbasis kearifan lokal. Penelitian ini menyediakan informasi dasar mengenai mikroflora indigenous fermentasi sopi dan menjadi landasan bagi penelitian lanjutan terkait identifikasi molekuler, karakterisasi metabolit, serta pengujian potensi aplikatifnya pada bidang peternakan dan biokonversi sumber daya lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelraof, M., Nooman, M. U., Hashem, A. H., & Al-kashef, A. S. (2024). Production and optimization of surfactin produced from locally isolated *Bacillus halotolerans* grown on agro-industrial wastes and its antimicrobial efficiency. *BMC Microbiology*, 24(1), 193. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03338-w>
- Djeni, T. N., Keisam, S., Kouame, K. H., Assohoun-Djeni, C. N., Ake, F. D. M., Amoikon, L. S. T., Tuikhar, N., Labala, R. K., Dje, M. K., & Jeyaram, K. (2022). Dynamics of microbial populations and metabolites of fermenting saps throughout tapping process of ron and oil palm trees in Côte d'Ivoire. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.954917>
- Djeni, T. N., Kouame, K. H., Ake, F. D. M., Amoikon, L. S. T., Dje, M. K., & Jeyaram, K. (2020). Microbial Diversity and Metabolite Profiles of Palm Wine Produced From Three Different Palm Tree Species in Côte d'Ivoire. *Scientific Reports*, 10(1), 1715. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58587-2>
- Dobrijević, D., Pastor, K., Nastić, N., Özogul, F., Krulj, J., Kokić, B., Bartkiene, E., Rocha, J. M., & Kojić, J. (2023). Betaine as a Functional Ingredient: Metabolism, Health-Promoting Attributes, Food Sources, Applications and Analysis Methods. *Molecules*, 28(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/molecules28124824>
- Guillén-Navarro, K., López-Gutiérrez, T., García-Fajardo, V., Gómez-Cornelio, S., Zarza, E., De la Rosa-García, S., & Chan-Bacab, M. (2023). Broad-Spectrum Antifungal, Biosurfactants and Bioemulsifier Activity of *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii*—A Potential Biocontrol and Bioremediation Agent in Agriculture. *Plants*, 12(6), 1374. <https://doi.org/10.3390/plants12061374>
- He, Y., Xie, Z., Zhang, H., Liebl, W., Toyama, H., & Chen, F. (2022). Oxidative Fermentation of Acetic Acid Bacteria and Its Products. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.879246>
- Oluwole, O., Kosoko, S., Familola, O., Ibironke, O., Cheikyoussef, A., Raheem, D., Saraiva, A., & Raposo, A. (2023). Fermented traditional wine from palm trees:

microbial, nutritional attributes and health impacts. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3. <https://doi.org/10.3389/frfst.2023.1225762>

Qiao, J., Borriss, R., Sun, K., Zhang, R., Chen, X., Liu, Y., & Liu, Y. (2024). Research advances in the identification of regulatory mechanisms of surfactin production by *Bacillus*: a review. *Microbial Cell Factories*, 23(1), 100. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02372-7>

Wu, D., Fu, L., Cao, Y., Dong, N., & Li, D. (2023). Genomic insights into antimicrobial potential and optimization of fermentation conditions of pig-derived *Bacillus subtilis* BS21. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1239837>