

KARAKTERISASI FERMENTATIF 22 ISOLAT ACTINOMYCETES RHIZOSFER SEBAGAI PROBIOTIK TERNAK MULTENZIM POTENSIAL

Stormy Vertygo^{1*}, Dedy Dorens Mesak¹, Hendrikus Saputra Landur¹, Gadis Kartika Pratiwi¹, Aisyah Nurdianingsih P. A.¹

¹Program Studi Teknologi Pakan Ternak, Jurusan Peternakan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang
Jln. Prof. Dr. Herman Yohanis Kelurahan Lasiana, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur

*Correspondence Email: svertygo91@gmail.com

Abstrak

Actinomycetes memiliki potensi tinggi sebagai probiotik multienzim karena kemampuannya menghasilkan berbagai enzim pencernaan. Aktivitas fermentatif penting untuk menilai kemampuan isolat dalam memfermentasi karbohidrat serta menghasilkan produk asam dan gas. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi sifat fermentatif 22 isolat actinomycetes dari rizosfer tanaman di daerah Kupang. Metode yang digunakan melibatkan uji fermentasi menggunakan media *Phenol Red Broth* mengandung dekstrosa (glukosa), maltosa, fruktosa dan laktosa. Media diinkubasi dengan tabung Durham untuk mendeteksi produksi gas, sedangkan perubahan warna media mengindikasikan produksi asam. Hasil menunjukkan bahwa seluruh isolat mampu memfermentasi dekstrosa, maltosa dan fruktosa dengan reaksi fermentasi positif yang dominan. Hanya empat isolat yang menunjukkan fermentasi positif terhadap laktosa. Tiga isolat menghasilkan gas selama proses fermentasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa sebagian besar isolat actinomycetes mengikuti jalur fermentasi homofermentatif (Embden–Meyerhof–Parnas), ditandai dengan produksi asam tanpa atau dengan sedikit gas. Namun, adanya isolat penghasil gas menunjukkan potensi jalur heterofermentatif pada beberapa isolat. Kesimpulannya, sebagian besar isolat Actinomycetes Rhizosfer hasil isolasi menunjukkan karakter homofermentatif sehingga menghasilkan asam dari karbohidrat sederhana, sedangkan sebagian kecil menunjukkan karakter heterofermentatif. Sifat fermentatif ini mendukung potensi isolat sebagai kandidat probiotik ternak multienzim yang dapat meningkatkan pencernaan karbohidrat dalam sistem pencernaan ternak.

Kata kunci: Actinomycetes, fermentasi karbohidrat, heterofermentatif, homofermentatif,

Abstract

Actinomycetes have high potential as multi-enzyme probiotics due to their ability to produce various digestive enzymes. Fermentative activity is important to assess an isolate's ability to ferment carbohydrates and produce acid and byproducts. This study aimed to characterize the fermentative properties of 22 actinomycete isolates from the plant rhizosphere in the Kupang region. The method employed a fermentation test using Phenol Red Broth containing dextrose (glucose), maltose, fructose, and lactose. Media were incubated with Durham tubes to detect gas production, and color changes in the medium indicated acid production. Results showed that all isolates were able to ferment dextrose, maltose, and fructose with predominantly positive fermentation reactions. Only four isolates showed positive fermentation for lactose. Three isolates produced gas during fermentation. These findings indicate that most actinomycete isolates follow a homofermentative pathway characterized by acid production with little or no gas. However, the presence of gas-producing isolates suggests potential heterofermentative pathways in some isolates. In conclusion, the majority of Rhizosphere Actinomycete isolates exhibit homofermentative characteristics, enabling acid production from simple carbohydrates, while a minority exhibit heterofermentative traits. These fermentative properties support the isolates' potential as multi-enzyme probiotic candidates for livestock, which may enhance carbohydrate digestion in the digestive system.

Keywords: Actinomycetes, carbohydrate fermentation, homofermentative, heterofermentative

PENDAHULUAN

Ketersediaan pakan berkualitas merupakan faktor kunci dalam peningkatan produktivitas ternak (Budiari & Suyasa, 2019). Akan tetapi, permasalahan utama pakan ternak di Nusa Tenggara Timur (NTT) terletak pada aspek kuantitas dan kualitasnya yang rendah, terutama pada musim kemarau panjang yang berlangsung 8–9 bulan. Padahal, NTT memiliki potensi sumber daya pakan lokal yang melimpah, termasuk limbah pertanian, leguminosa pohon dan tanaman perdu, namun pemanfaatannya

masih belum optimal sehingga kontribusinya terhadap pemenuhan kebutuhan pakan ternak belum maksimal (Henuk & Kapa, 2015). Oleh karena itu, inovasi yang dapat meningkatkan pemanfaatan nutrisi dari bahan pakan murah dan lokal sangat dibutuhkan (A'yun dkk., 2023). Salah satu strategi yang mulai berkembang adalah pemanfaatan probiotik multienzim, yaitu mikroorganisme yang tidak hanya mampu bertahan hidup di saluran pencernaan tetapi juga menghasilkan enzim-enzim hidrolitik untuk meningkatkan pencernaan pakan (Aji et al., 2020).

Actinomycetes, dikenal sebagai mikroorganisme yang kaya akan kemampuan menghasilkan enzim dan metabolit bioaktif (Bhene dkk., 2024; Selim dkk., 2021). Telah banyak kajian-kajian ilmiah sebelumnya yang membuktikan bahwa isolat Actinomycetes dari bagian tanah sekitar perakaran (rhizosfer) mampu menghasilkan berbagai enzim hidrolitik penting, seperti selulase, keratinase, amilase, protease dan lipase (Abdelmoteleb dkk., 2023; Elshafie & Camele, 2022). Potensi ini menunjukkan bahwa Actinomycetes dapat berperan sebagai *feed additive* multienzim untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi pakan ternak. Namun demikian, selain produksi enzim, kemampuan fermentatif juga menjadi salah satu *probiotic properties* penting yang menentukan kelayakan suatu mikroba untuk diaplikasikan sebagai probiotik (Madushanka dkk., 2025).

Sifat fermentatif mencakup kemampuan mikroba dalam memfermentasi berbagai substrat karbohidrat menjadi metabolit bermanfaat, seperti asam organik (misalnya asam laktat, asetat, butirat) yang dapat menurunkan pH saluran pencernaan dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Martin dkk., 2023; Wulan dkk., 2024). Selain itu, hasil fermentasi dapat memberikan energi tambahan bagi ternak serta mendukung keseimbangan mikrobiota usus (Liu dkk., 2021; Vertygo dkk., 2023). Penelitian terkait sifat fermentatif Actinomycetes sebagai probiotik ternak masih sangat terbatas, karena selama ini fokus aplikasi probiotik lebih banyak diarahkan pada bakteri asam laktat (BAL) seperti *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* (Arsène dkk., 2021). Oleh karena itu, eksplorasi sifat fermentatif isolat Actinomycetes, khususnya dari sumber rhizosfer, merupakan pendekatan baru yang berpotensi memberikan alternatif probiotik multienzim non-tradisional.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada upaya mengkarakterisasi kemampuan fermentatif dari 22 isolat Actinomycetes yang diisolasi dari mikrohabitat lokal yaitu daerah rhizosfer Lahan Kebun Hijau Politeknik Pertanian Negeri Kupang. Isolat-isolat ini juga sebelumnya telah diskriminasi kemampuan kataliknya yang terbukti mampu menghasilkan enzim-enzim seperti lipase, protease, keratinase, selulase dan amilase yang sering dimanfaatkan dalam pakan ternak sebagai imbuhan pakan (*feed additive*). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menilai potensi enzimatis isolat, tetapi juga menggali sifat fermentatifnya sebagai bagian dari evaluasi awal *probiotic properties*. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar penting dalam pengembangan kandidat probiotik ternak multienzim berbasis isolat lokal yang adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat. Adapun jenis karbohidrat yang diujikan adalah yang umum dimanfaatkan maupun terkandung di dalam pakan ternak (Mahanani dkk., 2025).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi sifat fermentatif dari 22 isolat actinomycetes rizosfer sebagai salah satu sifat probiotik penting, guna menilai potensi mereka dalam pengembangan sebagai probiotik ternak multienzim.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pakan Ternak, Jurusan Peternakan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang pada bulan September 2025.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa perlengkapan laboratorium serta media uji yang dibutuhkan pada setiap tahapan prosedur. Alat utama yang digunakan dalam kegiatan ini meliputi autoklaf sebagai alat sterilisasi media dan peralatan, oven inkubator untuk inkubasi kultur mikroba, fasilitas kerja aseptis seperti laminar air flow atau bunsen, cawan petri sebagai wadah kultur, tabung reaksi untuk uji biokimia, Erlenmeyer atau botol media untuk pembuatan media kultur, serta micropipet atau pipet ukur untuk pengambilan sampel dengan volume presisi. Bahan yang

digunakan dalam penelitian meliputi stok isolat Actinomycetes potensial, media ISP2 (*International Streptomyces Project Medium 2*) untuk peremajaan isolat, serta media *Phenol Red Broth Base* yang ditambahkan masing-masing sumber karbohidrat berupa dekstrosa, maltosa, fruktosa dan laktosa untuk uji fermentasi. Media diformulasikan menurut standar komposisi HiMedia®. Bahan tambahan lain yang diperlukan adalah akuades steril untuk pembuatan media dan alkohol 70% sebagai desinfektan dalam menjaga kondisi kerja tetap aseptis.

Metode dan Teknik Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif-kualitatif yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan fermentatif isolat Actinomycetes terhadap beberapa jenis karbohidrat. Rancangan penelitian dilakukan dengan cara mengamati perubahan warna media *Phenol Red Broth* yang ditambahkan sumber karbohidrat (dekstrosa, maltosa, fruktosa dan laktosa) serta pembentukan gas pada tabung Durham setelah proses inkubasi.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini diawali dengan tahap persiapan. Semua peralatan yang akan digunakan, seperti cawan petri dan botol media, serta media yang dipakai selama penelitian terlebih dahulu disterilisasi menggunakan autoklaf. Proses sterilisasi dilakukan pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm, di mana media disterilisasi selama 15 menit sedangkan peralatan disterilisasi selama 30 menit (Wulandari dkk., 2022).

Tahap berikutnya adalah peremajaan isolat Actinomycetes. Stok koloni isolat potensial diambil secara aseptis menggunakan jarum ose, kemudian diinokulasikan ke dalam media ISP2 dengan metode gores (*streak*). Media yang telah ditanami isolat kemudian diinkubasi dalam oven inkubator pada suhu ruang (27°C) selama tiga hari. Isolat hasil peremajaan ini selanjutnya digunakan sebagai bahan uji pada tahap berikutnya (Vertygo dkk., 2021).

Tahap terakhir adalah uji fermentasi karbohidrat. Pada tahap ini, setiap isolat potensial diinokulasikan ke dalam media *Phenol Red Broth Base*-dekstrosa. Media kemudian diinkubasi dalam oven inkubator pada suhu 37°C selama 48 jam. Setelah masa inkubasi berakhir, dilakukan pengamatan terhadap media untuk melihat kemampuan fermentasi isolat. Isolat dinyatakan berpotensi dikembangkan sebagai probiotik apabila mampu memfermentasi karbohidrat, yang ditandai dengan perubahan warna media menjadi kuning dan/atau terbentuknya gas dalam tabung Durham. Prosedur yang sama diulangi untuk masing-masing sumber karbohidrat lainnya, yaitu maltosa, fruktosa, dan laktosa (Saryono dkk., 2023).

Analisis Data

Pengolahan data dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan mengamati perubahan pada media fermentasi. Isolat Actinomycetes dianggap mampu memfermentasikan karbohidrat apabila media *Phenol Red Broth Base* menunjukkan perubahan warna menjadi kuning atau terdapat gas pada tabung Durham (hasil positif), sedangkan hasil tanpa perubahan dinyatakan negatif. Data yang diperoleh kemudian diuraikan secara deskriptif untuk mengetahui kemampuan fermentasi masing-masing isolat terhadap berbagai jenis karbohidrat (dekstrosa, maltosa, fruktosa dan laktosa) serta dibandingkan dengan referensi penelitian terdahulu guna memperkuat interpretasi potensi isolat sebagai probiotik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa isolat Actinomycetes mampu memfermentasi beberapa jenis karbohidrat seperti dekstrosa, maltosa, fruktosa dan laktosa, sementara isolat yang lain tidak menunjukkan aktivitas fermentatif terhadap karbohidrat tertentu tersebut. Perubahan yang diamati berupa media yang berubah warna menjadi kuning dan/atau terbentuknya gas dalam tabung Durham (Tabel 1.).

Tabel 1. Hasil Fermentasi Karbohidrat Isolat Actinomycetes Rhizosfer

Isolat	Dekstrosa	Maltosa	Fruktosa	Laktosa
Rh-1	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-2	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-3	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-4	+/+	+/+	+/+	-/-
Rh-5	+/+	+/+	+/+	-/-
Rh-6	+/+	+/+	+/+	+/+
Rh-7	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-8	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-9	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-10	+/-	+/-	+/-	+/-
Rh-12	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-13	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-14	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-16	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-17	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-18	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-19	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-20	+/-	+/-	+/-	+/-
Rh-21	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-22	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-23	+/-	+/-	+/-	-/-
Rh-24	+/-	+/-	+/-	+/-

Keterangan: (“+”= kuning; “-“ = merah/ (“+”= terdapat gelembung; “-“ = tidak terdapat gelembung)

Sumber: Hasil penelitian

Seluruh isolat teramati dapat memfermentasi jenis karbohidrat dekstrosa, maltosa dan fruktosa namun hanya sebagian kecil yang dapat memfermentasi laktosa yaitu isolat Rh-6, -10, -20 dan -24.

Fermentasi Dekstrosa

Semua isolat Actinomycetes teramati mampu memfermentasi dekstrosa (D-glukosa) menjadi asam (medium berubah kuning), dengan sebagian kecil menghasilkan gas (gelembung CO₂). Dari 22 isolat yang diuji, sekitar 86% (19 isolat) hanya menghasilkan asam tanpa gas (“+/-”), sementara 14% (3 isolat) menghasilkan asam disertai gas (“+/+”). Tidak ada isolat yang gagal memfermentasi dekstrosa (“-/-”). Actinomycetes diketahui dapat menggunakan dekstrosa sebagai sumber karbon yang akan digunakan untuk berbagai aktivitas metabolik termasuk pembelahan sel, biosintesis material sel dan juga antibiotik (Agustina dkk., 2021; Hameed & Omran, 2017). Hasil ini juga sejalan dengan temuan Borodina dkk., (2005) bahwa Actinomycetes dari spesies *Streptomyces coelicolor* misalnya, mengandung enzim laktat dehidrogenase yang mengindikasikan adanya kemampuan fermentatif yang menghasilkan asam laktat. Asam laktat yang dihasilkan mikroba secara umum didahului oleh jalur Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) yang kemudian akan dilanjutkan dengan proses fermentasi yang menghasilkan asam laktat saja (untuk mikroba jenis homolaktik). Untuk isolat-isolat yang teramati mengeluarkan gas kemungkinan menggunakan jalur heterolaktat atau pentosa-fosfat, sehingga juga menghasilkan CO₂ (Mudrikah dkk., 2024). Actinomycetes dari genus *Actinomyces* diketahui melakukan jalur heterolaktat yang menghasilkan asam asetat, asam laktat, asam format dan asam suksinat, sedangkan anggota genus *Propionibacterium* menghasilkan asam propionat, asam asetat dan CO₂ (Bowden, 1996; Todar, 2006).

Fermentasi Maltosa

Pola fermentasi maltosa sangat mirip dengan dekstrosa. Seluruh isolat terlihat mampu memfermentasi molekul karbohidrat ini yang ditunjukkan dengan perubahan warna medium menjadi kuning (asam). Dari seluruh isolat tersebut, 3 isolat di antaranya (14%) juga menunjukkan adanya

pembentukan gas (“+/+”), sedangkan sisanya (86%) hanya menghasilkan asam tanpa gelembung (“+/-”). Aspek-aspek terpenting dari proses fermentasi menggunakan jenis karbohidrat ini adalah kemampuan mentransportasikan maltosa ke dalam sel dan produksi enzim maltase (α -glucosidase) yang akan menghidrolisis maltosa menjadi glukosa. Glukosa selanjutnya dapat memasuki jalur EMP sebagai tahap awal sebelum difermentasi baik secara homo- maupun heterofermentatif seperti yang telah dijabarkan pada bagian sebelumnya (Fermentasi Dekstrosa). Dalam studinya mensekuensing genom Actinomycetes jenis *Streptomyces coelicolor*, van Wezel dkk (1997), menemukan adanya gen *malR* yang berperan mengatur operon *malEFG* yang mengkode sebuah transporter ABC (di mana *MalE* merupakan protein pengikat) yang diperlukan untuk pengambilan maltosa ke dalam sel. Pada Actinomycetes spesies *Saccharopolyspora erythraea*, ditemukan gen lain, *GlnR*, yang juga terlibat dalam regulasi pengambilan maltosa (Liao dkk., 2015). Enzim pemecah maltosa, maltase, juga diketahui dapat dihasilkan oleh Actinomycetes seperti yang terlihat pada *Actinoplanes* sp. yang dikode oleh gen *amIE* (Schaffert dkk., 2019).



Sumber : Hasil penelitian

Gambar 1. Hasil Fermentasi Karbohidrat Isolat Rh-24 (dari kiri ke kanan: dekstrosa, laktosa, maltosa dan fruktosa)

Fermentasi Fruktosa

Hasil fermentasi fruktosa juga menunjukkan kecenderungan yang sama: sebagian besar isolat mampu mengasamkan medium (“+/-”), dan hanya 14% isolat yang juga menghasilkan gelembung gas (“+/+”). Dengan kata lain, tidak ditemukan isolat yang negatif atau yang tidak mampu memfermentasikan jenis karbohidrat ini. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Gustiana dkk (2021), yang mengisolasi Actinomycetes dari tanah/sedimen Mangrove yang mampu memfermentasi fruktosa. Sama halnya dengan maltosa, bakteri yang memfermentasi fruktosa harus memiliki sistem transportasi khusus yang disebut sistem fosfotransferase yang dapat mengambil jenis karbohidrat ini dari lingkungan ekstraseluler ke dalam sel (Megavitry dkk., 2022). Pada *Streptomyces coelicolor*, fruktosa diambil melalui sistem fosfotransferase (PTS) yang melibatkan permease (*fruA*) dan protein HPr (*ptsH*) untuk transpor sekaligus fosforilasi fruktosa. Fruktosa yang masuk akan difosforilasi menjadi fruktosa-1-fosfat lalu dimasukkan ke jalur EMP (glikolisis) sebagai sumber energi. Glikolisis akan memecah karbohidrat berkarbon 6 menjadi hasil akhirnya berupa 2 molekul asam piruvat (Vertigo, 2021). Selanjutnya, tahapan metabolisme ini berlanjut ke fermentasi baik secara homofermentatif (untuk isolat yang tidak menghasilkan gas) ataupun heterofermentatif (bagi isolat yang menghasilkan gas) (Nothaft dkk., 2003; Todar, 2006).



Sumber: Hasil penelitian

Gambar 2. Hasil Fermentasi Karbohidrat Isolat Rh-12 (dari kiri ke kanan: dekstrosa, laktosa, maltosa dan fruktosa)

Fermentasi Laktosa

Hanya sebagian kecil isolat (4 dari 22, ~18%) yang dapat memfermentasi laktosa. Di antara yang positif, satu isolat (Rh-6) menghasilkan asam sekaligus gas (“+/+”) (Tabel 1.) dan tiga isolat lainnya (Rh-10, -20, -24) hanya mengasamkan medium (“+/-”). Sebaliknya, sekitar 82% isolat tidak memfermentasi laktosa sama sekali (“-/-”) (Tabel 1.). Laktosa, yang merupakan disakarida yang tersusun atas glukosa-galaktosa (Hikmah dkk., 2022), membutuhkan enzim β -galaktosidase dan permease khusus untuk dipecah dan digunakan. Mayoritas Actinomycetes (misalnya *Streptomyces*) tidak memiliki enzim ini, sehingga tidak mengasamkan laktosa (Nour El-Dein dkk., 2019). Hanya isolat tertentu yang memiliki mekanisme pemecahan laktosa mampu menghasilkan asam (dan pada satu isolat, gas). Konversi laktosa menjadi asam-asam organik pada isolat terpilih ini pun dapat mengarah pada asam laktat, asetat, atau produk yang lain sebagaimana pada fermentasi glukosa (Aziz dkk., 2019). Banyak *Streptomyces* tidak mampu mencerna laktosa, tetapi ada isolat seperti *Streptomyces* sp. KB1 yang dapat memfermentasi laktosa menghasilkan asam (Lertcanawanichakul & Sahabuddeen, 2023). Pada isolat (+/-), yaitu isolat Rh-10, -20 dan -24 β -galaktosidase memutus laktosa menjadi glukosa dan galaktosa, kemudian masuk jalur glikolisis menghasilkan laktat dan asam lain. Adanya isolat (+/+) yaitu Rh-6 mengindikasikan kemungkinan fermentasi heterolaktat yang juga menghasilkan gas dari laktosa, meski ini jarang dilaporkan pada Actinomycetes. Lertcanawanichakul & Sahabuddeen (2023) menemukan bahwa isolat Actinomycetes dari genus *Streptomyces* hasil isolasi mereka juga mampu memfermentasikan laktosa.

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, terlihat bahwa terdapat empat isolat yang dapat dianggap paling ideal untuk dikembangkan sebagai probiotik pakan ternak berdasarkan kemampuan fermentatifnya, yaitu isolat Rh-6, Rh-10, Rh-20, dan Rh-24. Keempat isolat tersebut menunjukkan kemampuan yang konsisten dalam memfermentasikan seluruh jenis karbohidrat yang diujikan, yang mencakup monosakarida maupun disakarida. Kemampuan fermentatif yang luas ini menunjukkan bahwa keempat isolat memiliki fleksibilitas metabolik dan potensi menghasilkan berbagai senyawa metabolit primer maupun sekunder yang bermanfaat, seperti asam organik, enzim pendegradasi nutrisi, serta produk fermentasi lain yang dapat meningkatkan kualitas pakan (Sharma dkk., 2020). Dengan karakteristik tersebut, isolat Rh-6, Rh-10, Rh-20, dan Rh-24 bukan hanya unggul dalam pemanfaatan substrat karbohidrat, tetapi juga berpotensi lebih stabil dan adaptif ketika diaplikasikan pada berbagai jenis formula pakan. Oleh karena itu, keempat isolat ini dapat diprioritaskan sebagai kandidat probiotik yang menjanjikan untuk aplikasi dalam industri pakan ternak.

KESIMPULAN DAN SARAN

Seluruh isolat mampu memfermentasi jenis karbohidrat dekstrosa, fruktosa dan maltosa sedangkan untuk untuk laktosa hanya tercatat 4 isolat saja yang mampu memfermentasinya. Berdasarkan keempat karbohidrat ini, maka isolat-isolat yang dapat dianggap ideal atau berpotensi untuk dikembangkan sebagai probiotik ternak adalah isolat Rh-6, -10, -20 dan -24. Sebagian besar isolat Actinomycetes Rhizosfer hasil isolasi ini juga menunjukkan karakter homofermentatif karena hanya menghasilkan senyawa asam dari karbohidrat sederhana, sedangkan sebagian kecil menunjukkan karakter heterofermentative yang juga ditandai dengan produksi gelembung (gas). Sifat fermentatif ini mendukung potensi isolat sebagai kandidat probiotik ternak multienzim yang dapat meningkatkan pencernaan karbohidrat dalam sistem pencernaan ternak. Untuk kajian selanjutnya, aspek dapat difokuskan untuk fermentasi jenis-jenis karbohidrat lainnya yang sering dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak seperti selobiosa, sukrosa, arabinosa, xilosa dan manosa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Pertanian Negeri Kupang atas dukungan pendanaan melalui skema Penelitian Dasar yang bersumber dari PNBP, sehingga kegiatan penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmoteleb, A., Gonzalez-Mendoza, D., Tzintzun-Camacho, O., Grimaldo-Juárez, O., Mendez-Trujillo, V., Moreno-Cruz, C., Ceceña-Duran, C., & Roumia, A. F. (2023). Keratinases from *Streptomyces netropsis* and *Bacillus subtilis* and Their Potential Use in the Chicken Feather Degrading. *Fermentation*, 9(2), 96. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020096>
- Agustina, D. K., Zen, S., Sahrir, D. C., Fadhila, F., Zuyasna, Z., Vertygo, S., Mago, O. Y. T., Ruhardi, A., Arianto, S., & Khariri, K. (2021). *TEORI BIOLOGI SEL*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Aji B. S., Ali, U., & Muwakhid, B. (2020). PENGARUH PENAMBAHAN DOSIS MULTI ENZIM PADA PROSES ENKAPSULASI PROBIOTIK *Lactobacillus salivarius* TERHADAP JUMLAH MIKROBA, KADAR ASAM LAKTAT DAN NILAI pH. *Dinamika Rekasatwa: Jurnal Ilmiah (e-Journal)*, 3(02), 28–33. <https://jim.unisma.ac.id/index.php/fapet/article/view/8464>
- Arsène, M. M. J., Davares, A. K. L., Andreevna, S. L., Vladimirovich, E. A., Carime, B. Z., Marouf, R., & Khelifi, I. (2021). The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics. *Veterinary World*, 14(2), 319–328. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.319-328>
- A'yun, K., Koynja, J. J., Haryono, H. E., Rosmawati, A., Hermanto, S. R., Vertygo, S., Apriyanti, E., Juliansyah, R., Furqan, A., & Perangin-angin, S. B. (2023). *ILMU ALAMIAH DASAR*. CV WIDINA MEDIA UTAMA. <https://repository.penerbitwidina.com/publications/563279/>
- Aziz, G., Fakhar, H., Rahman, S. ur, Tariq, M., & Zaidi, A. (2019). An assessment of the aggregation and probiotic characteristics of *Lactobacillus* species isolated from native (desi) chicken gut. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), 846–857. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz042>
- Bhene, P., Swari, W. D., Banggut, E. D., Vertygo, S., Sabuna, C., & Tang, B. Y. (2024). Uji KATALITIK ENZIM KERATINASE, LIPASE DAN SELULASE ISOLAT ACTINOMYECTES SD-5 DARI PERAIRAN PANTAI MANGROVE OESAPA, KUPANG YANG BERPOTENSI DIKEMBANGKAN SEBAGAI IMBUHAN PAKAN MULTIENZIM. *Partner*, 29. <https://doi.org/10.35726/jp.v29i2.7356>
- Borodina, I., Krabben, P., & Nielsen, J. (2005). Genome-scale analysis of *Streptomyces coelicolor* A3(2) metabolism. *Genome Research*, 15(6), 820–829. <https://doi.org/10.1101/gr.3364705>
- Bowden, G. H. W. (1996). *Actinomyces, Propionibacterium propionicus, and Streptomyces*. In S. Baron (Ed.), *Medical Microbiology* (4th ed.). University of Texas Medical Branch at Galveston. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8385/>

- Budiari, N. L. G., & Suyasa, I. N. (2019). OPTIMALISASI PEMANFAATAN HIJAUAN PAKAN TERNAK (HPT) LOKAL MENDUKUNG PENGEMBANGAN USAHA TERNAK SAPI. *ResearchGate*, 8(2), 118–122. <https://doi.org/10.24843/Pastura.2019.v08.i02.p12>
- Elshafie, H. S., & Camele, I. (2022). Rhizospheric Actinomycetes Revealed Antifungal and Plant-Growth-Promoting Activities under Controlled Environment. *Plants*, 11(14), 1872. <https://doi.org/10.3390/plants11141872>
- Gustiana, T., Rozirwan, R., & Ulqodry, T. Z. (2021). Actinomycetes yang diisolat dari mangrove *Rhizophora apiculata* di perairan Tanjung Api-api, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 23(3), 140–149. <https://doi.org/10.56064/jps.v23i3.662>
- Hameed, L., & Omran, R. (2017). Optimization of medium composition for antibacterial metabolite production from *Streptomyces* sp. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(9), 381–385. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10i9.19813>
- Henuk, Y. L., & Kapa, M. M. J. (2015). Pemanfaatan Pakan Ternak Lokal Guna Mengembalikan Kejayaan NTT Sebagai Salah Satu Sentra Ternak Sapi Potong di Indonesia. *Pengembangan Peternakan Berbasis Sumberdaya Lokal Untuk Menghadapi Masyarakat Ekonomi Asean (MEA)*, 18–28. https://www.researchgate.net/publication/325604878_Pemanfaatan_Pakan_Ternak_Lokal_Guna_Mengembalikan_Kejayaan_NTT_Sebagai_Salah_Satu_Sentra_Ternak_Sapi_Potong_di_Indonesia
- Hikmah, A. M., Luthfianto, D., Silitonga, M., Vertygo, S., Rita, R. S., Gultom, E. S., Ulfah, M., & Tika, I. N. (2022). *Buku Ajar Biokimia Teori Dan Aplikasi*. CV. Feniks Muda Sejahtera. CV. Feniks Muda Sejahtera. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=8986635040946629170&hl=en&oi=scholar>
- Lertcanawanichakul, M., & Sahabuddeen, T. (2023). Characterization of *Streptomyces* sp. KB1 and its cultural optimization for bioactive compounds production. *PeerJ*, 11, e14909. <https://doi.org/10.7717/peerj.14909>
- Liao, C. H., Yao, L., Xu, Y., Liu, W. B., Zhou, Y., & Ye, B. C. (2015). Nitrogen regulator GlnR controls uptake and utilization of non-phosphotransferase-system carbon sources in actinomycetes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(51), 15630–15635. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508465112>
- Liu, L., Li, Q., Yang, Y., & Guo, A. (2021). Biological Function of Short-Chain Fatty Acids and Its Regulation on Intestinal Health of Poultry. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 736739. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.736739>
- Madushanka, D., Vidanarachchi, J. K., Kodithuwakku, S., Nayanajith, G. R. A., Jayatilake, S., & Priyashantha, H. (2025). Isolation and characterization of probiotic lactic acid bacteria from fermented traditional rice for potential applications in food and livestock production. *Applied Food Research*, 5(1), 100865. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100865>
- Mahanani, A. A., DN, D. A., Nurrofigah, U., Mariam, M., Hutabarat, A. L. R., Vertygo, S., Febrina, B. P., Atmaja, B. M., Husnaeni, H., Lestari, W. M., Safitri, A. R., Kiramang, K., & Tatra, A. J. (2025). *Ilmu Nutrisi Ternak*. Get Press Indonesia. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=5vokahcAAAAJ&pagesize=80&citation_for_view=5vokahcAAAAJ:isC4tDSrTZIC&gmla=AH8HC4wvIT5M5KrbETp4zqu1rQ2FLlaS3n4IXTHm1c2isqHMh0URlzfDgWVZmnZagXJNxFwYre8iDdl_hBLSbwfY
- Martin, A. J. M., Serebrinsky-Duek, K., Riquelme, E., Saa, P. A., & Garrido, D. (2023). Microbial interactions and the homeostasis of the gut microbiome: The role of *Bifidobacterium*. *Microbiome Research Reports*, 2(3), 17. <https://doi.org/10.20517/mrr.2023.10>
- Megavitry, R., Ernawati, A., Ujiani, Z. D., Hariati, E., Vertygo, S., & Kaswi, N. (2022). *Mikrobiologi*. Tahta Media Group. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=17881764603822238693&hl=en&oi=scholar>
- Mudrikah, S., Sari, I., Rahmatullah, R., & Estiningtyas, R. (2024). Karakterisasi Bakteri Perakaran Vegetasi Kedelai, Singkong dan Rumpuk. *Agriculture and Biological Technology*, 2(1), 6–14. <https://doi.org/10.61761/agiotech.2.1.6-14>

- Nothhaft, H., Parche, S., Kamionka, A., & Titgemeyer, F. (2003). In Vivo Analysis of HPr Reveals a Fructose-Specific Phosphotransferase System That Confers High-Affinity Uptake in *Streptomyces coelicolor*. *Journal of Bacteriology*, 185(3), 929–937. <https://doi.org/10.1128/jb.185.3.929-937.2003>
- Nour El-Dein, M. M., Abou-Dobara, M. I., & Abou-Elhamd, N. E. (2019). Screening and Identification of some APPL (Acid Precipitable Polymeric Lignin) Producing Streptomyces. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 10(6), 119–126. <https://doi.org/10.21608/jacb.2019.48253>
- Saryono, S., Ismawati, I., Pratiwi, N. W., Devi, S., Sipayung, M. Y., & Suraya, N. (2023). Isolation and identification of lactic acid bacteria from traditional food sarobucong of Kuantan Singingi District, Riau, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(4). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240432>
- Schaffert, L., Schneiker-Bekel, S., Dymek, S., Droste, J., Persicke, M., Busche, T., Brandt, D., Pühler, A., & Kalinowski, J. (2019). Essentiality of the Maltase AmlE in Maltose Utilization and Its Transcriptional Regulation by the Repressor AmlR in the Acarbose-Producing Bacterium *Actinoplanes* sp. SE50/110. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02448>
- Selim, M. S. M., Abdelhamid, S. A., & Mohamed, S. S. (2021). Secondary metabolites and biodiversity of actinomycetes. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 19, 72. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00156-9>
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K., & Kulshrestha, S. (2020). Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*, 6(4), 106. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040106>
- Todar, K. (2006). *Todar's Online Textbook of Bacteriology*. University of Wisconsin. www.textbookofbacteriology.net
- van Wezel, G. P., White, J., Young, P., Postma, P. W., & Bibb, M. J. (1997). Substrate induction and glucose repression of maltose utilization by *Streptomyces coelicolor* A3(2) is controlled by malR, a member of the lacl-galR family of regulatory genes. *Molecular Microbiology*, 23(3), 537–549. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.1997.d01-1878.x>
- Vertygo, S. (2021). *Biologi Dasar I: Untuk Teknologi Pakan Ternak*. Syiah Kuala University Press. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=5vokahcAAAAJ&pagesize=80&citation_for_view=5vokahcAAAAJ:hqOjcs7Dif8C
- Vertygo, S., Tang, B. Y., Pahnael, G., & Salih, S. (2021). Isolation of six marine Actinomycetes from Mangrove sediment of Oesapa Beach and Ccreening for Hydrolytic Exoenzymes as Feed Additives. *Partner*, 26(2), Article 2. <https://doi.org/10.35726/jp.v26i2.535>
- Vertygo, S., Allaily, Y. Y., Koesmara, H., Ammar, M., Samadi, Z., Munawar, A. A., AK, M. D., Abrar, M., Juliani, S. Z., & Gaznur, Z. M. (2023). *Aplikasi Mikrobiologi Dalam Peternakan*. Syiah Kuala University Press. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=sPXcEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=info:Ou_C5sZdQAsJ:scholar.google.com&ots=O3_zNFxiO_&sig=8DCnKQiMsJcxPNZTnc_9L_W94K0
- Wulan, R., Hutauruk, D. S., Pauzi, R. Y., Indrawati, A., Pratiwi, R. H., Suanda, I. W., Fahdi, F., Aribah, D., Vertygo, S., Hansur, L., & Putri, R. E. (2024). *Mikroorganisme dan Bakteriologi*. Get Press Indonesia. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=5vokahcAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=5vokahcAAAAJ:TFP_iSt0sucC&gmla=AH8HC4xH3SyxTWzeEUKtljBUUpOQk4ZgGblxNQ-oJBNz0cF2J94tNlsh-ZXVUZ9I99G9Ii8chRAzo4fByOmER5sR&sciund=2279431591097963826
- Wulandari, S., Nisa, Y. S., Taryono, T., Indarti, S., & Sayekti, R. S. (2022). Sterilisasi Peralatan dan Media Kultur Jaringan. *Agrotechnology Innovation (Agrinova)*, 4(2), 16–19. <https://doi.org/10.22146/a.77010>