

Analisis Aktivitas Nitrifikasi dari Bakteri yang diisolasi dari Rumah Burung Walet Menggunakan Metode Spektrofotometri

(*Analysis of Nitrification Activity of Bacteria Isolated from Swiftlet Houses Using the Spectrophotometric Method*)

Palestin¹, Siti Ningrum^{2*}, Hana Cipka Pramuda Wardhani¹, Dyan Nugrahadi Sutriatmaja³, Charisma Putri Winda³

¹Fakultas Kedokteran Hewan, Jl. Dukuh Kupang XXV No.54, Dukuh Kupang, Kec. Dukuhpakis, Surabaya, Jawa Timur 60225, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Surabaya

²Laboratorium Riset Genetika Molekuler, Fakultas Kedokteran Hewan, Jl. Dukuh Kupang XXV No.54, Dukuh Kupang, Kec. Dukuhpakis, Surabaya, Jawa Timur 60225, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Surabaya

³Program Pendidikan Dokter Hewan, Fakultas Kedokteran Hewan, Jl. Dukuh Kupang XXV No.54, Dukuh Kupang, Kec. Dukuhpakis, Surabaya, Jawa Timur 60225, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Surabaya

*Korespondensi Email: sitiningrum@uwks.ac.id

ABSTRACT

Nitrifying bacteria are essential in the nitrogen cycle, turning ammonia into nitrite and nitrate, which greatly contributes to the contamination of edible bird's nests in swiftlet houses. This study aims to evaluate the nitrifying activity of bacteria isolated from swiftlet housing environments in Central Kalimantan, Indonesia. A total of 16 environmental pooling samples were obtained from four different environmental sources within the swiftlet houses: faeces (n=4), pond water (n=4), edible bird's nests (n=4), and soil (n=4). The nitrifying activity of each isolate was examined by measuring nitrite production using a spectrophotometric method and ammonium consumption using a commercial ammonium test kit. The main criteria investigated were the ability of the bacteria to oxidize ammonia to nitrite and their ability to result in ammonium reduction. The findings indicated that all 16 isolates were able to generate nitrite within a range of 4.8 to 24.7 ppm and showed considerable ammonium consumption. Among the sources, the bacteria from soil exhibited higher nitrifying activity compared to those from soil, pond water and bird's nests. The findings indicate that the swiftlet house environment harbors diverse and active nitrifying bacteria. Furthermore, spectrophotometry method can be used as an initial detection for nitrifying bacteria.

Keywords : edible bird's nest, identification, veterinary

PENDAHULUAN

Nitrifikasi merupakan proses penting dalam siklus nitrogen yang dilakukan oleh kelompok bakteri nitrifikasi (Prasasti & Ningrum 2024). Proses ini melibatkan konversi amonia menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat (Swardiani *et al.* 2022), yang berdampak langsung pada kualitas lingkungan, terutama dalam ekosistem yang tertutup seperti rumah burung walet. Keberadaan amonia yang berlebihan di lingkungan rumah walet, yang berasal dari feses, sisa pakan, dan kelembapan tinggi, berpotensi mendukung pertumbuhan bakteri nitrifikasi (Widiyani *et al.* 2021). Aktivitas mikroba ini tidak hanya memengaruhi keseimbangan ekosistem mikro di dalam rumah walet, tetapi juga berkontribusi pada kontaminasi produk utama yang bernilai tinggi, yaitu sarang burung walet (Zulkefle *et al.* 2024). Rumah burung walet (*Aerodramus fuciphagus*) merupakan lingkungan unik yang kaya akan bahan organik (Wahyuni *et al.* 2022), terutama dari feses burung walet yang mengandung nitrogen dalam bentuk amonia (NH_3) (Normaulidia *et al.* 2023). Nitrifikasi dapat berlangsung dari oksidasi amonia oleh bakteri *Nitrosomonas* menjadi nitrit (Fadillah *et al.* 2023). Meski peran bakteri nitrifikasi dalam lingkungan telah banyak diteliti (Hayatsu *et al.* 2021; Ayiti *et al.* 2022; Medriano *et al.* 2023), studi mengenai aktivitas bakteri nitrifikasi

yang spesifik berasal dari rumah burung walet masih sangat terbatas, khususnya di wilayah Indonesia. Kalimantan Tengah sebagai salah satu daerah dengan populasi rumah walet yang berkembang pesat (Sulistiyowati *et al.* 2024), menyimpan potensi sumber mikroorganisme lokal yang unik, termasuk bakteri nitrifikasi.

Penelitian terhadap keberadaan dan aktivitas bakteri ini menjadi penting untuk memahami potensi kontaminasi biologis dan upaya pengendaliannya secara hayati. Metode spektrofotometri digunakan untuk mengukur produksi nitrit serta uji konsumsi amonia, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aktivitas bakteri nitrifikasi dari berbagai sumber lingkungan di rumah walet. Metode spektrofotometri merupakan teknik yang efektif hingga saat ini dalam menganalisis kadar nitrit untuk sarang burung walet (Ningrum 2021; Ningrum *et al.* 2022). Metode ini memungkinkan pengukuran konsentrasi nitrit berdasarkan absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Mudrikah *et al.* 2024), sehingga dapat digunakan untuk menentukan tingkat konversi amonia dalam sampel yang diuji. Metode spektrofotometri yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil data yang lebih akurat mengenai laju nitrifikasi dalam lingkungan rumah walet. Hasil dari studi ini diharapkan dapat

memberikan informasi awal bagi pengembangan strategi bioteknologi dekontaminasi serta mendukung eksplorasi isolat sebagai inang

potensial untuk studi bakteriofag, terutama dalam konteks pengendalian bakteri penghasil nitrit di lingkungan rumah burung walet.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan 80 sampel lingkungan dari empat rumah burung walet yang berbeda di Kalimantan Tengah yaitu Kota Besi, Buntok, Jabiren, dan Palangkaraya. Jenis sampel terdiri dari sampel feses ($n=20$), air ($n=20$), sarang burung walet ($n=20$), dan tanah ($n=20$). Semua sampel dikoleksi secara aseptis dan disimpan dalam kontainer steril disertai pendingin. Sampel dikirim ke Laboratorium Mikrobiologi Veteriner, Fakultas Kedokteran Hewan, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya dalam waktu kurang dari 12 jam menggunakan transportasi udara. Kemudian, masing-masing sampel dari tiap rumah burung walet dilakukan *pooling* sehingga menjadi 16 sampel (*pooling*) lingkungan yang terdiri dari sampel pooling feses ($n=4$), air ($n=4$), sarang burung walet ($n=4$), dan tanah ($n=4$). Semua sampel *pooling* dilabel sesuai asal isolasinya yaitu FK (feses), AK (air), SK (sarang burung walet), dan TK (tanah) dari rumah burung walet Kota Besi. Sampel *pooling* asal rumah burung walet Buntok terdiri dari FB (feses), AB (air), SB (sarang burung walet), dan TB (tanah). Sampel *pooling* asal rumah burung walet Jabiren terdiri dari FJ (feses), AJ (air), SJ (sarang burung walet), dan TJ

(tanah). Sampel *pooling* asal rumah burung walet Palangkaraya terdiri dari FP (feses), AP (air), SP (sarang burung walet), dan TP (tanah).

Masing-masing sampel *pooling* dikultur dalam media *enrichment* untuk bakteri nitrifikasi: 13,5 g KH_2PO_4 (Merck), 0,7 g K_2HPO_4 (Merck), 0,1 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), 0,18 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Merck), 0,1 g NH_4Cl (Merck), 0,2 g EDTA (Merck), 0,5 g Na_2CO_3 (Merck), 0,18 g Fe_3Cl , 0,5 g glukosa (Merck), 13 g *nutrient broth* (Himedia), pH 6-7, selama 7 hari pada kecepatan 150 rpm dan suhu 29 °C (Prasasti & Ningrum 2024). Munculnya kekeruhan pada media yang diinkubasi menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri nitrifikasi (Yurnaningsih *et al.* 2023).

Semua kultur *enrichment* dari masing-masing sampel diuji terhadap konsentrasi nitrit sebelum dan sesudah *enrichment* menggunakan metode spektrofotometer (Ningrum *et al.* 2022). Sebanyak 0,5 mL dari masing-masing suspensi isolat bakteri uji disiapkan dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan larutan NaCl jenuh sebanyak 3 mL dan akuades hingga batas tera. Suspensi uji akan disonikasi menggunakan Elmasonic S 30 H (Elma, Germany) pada suhu 40 °C selama 30 menit sambil dihomogenisasi setiap 5 menit.

Kemudian, suspensi uji dikeluarkan dari sonikator dan ditempatkan pada suhu ruang hingga suhunya turun. Larutan tersebut difilter dengan kertas saring Whatman No. 42 (GE Healthcare, Germany). Sebanyak 1 mL dari masing-masing sampel ekstraksi diukur kandungan nitritnya menggunakan Genesys 30 *visible spectrophotometer* (Thermo Scientific, USA) pada panjang gelombang 541 nm.

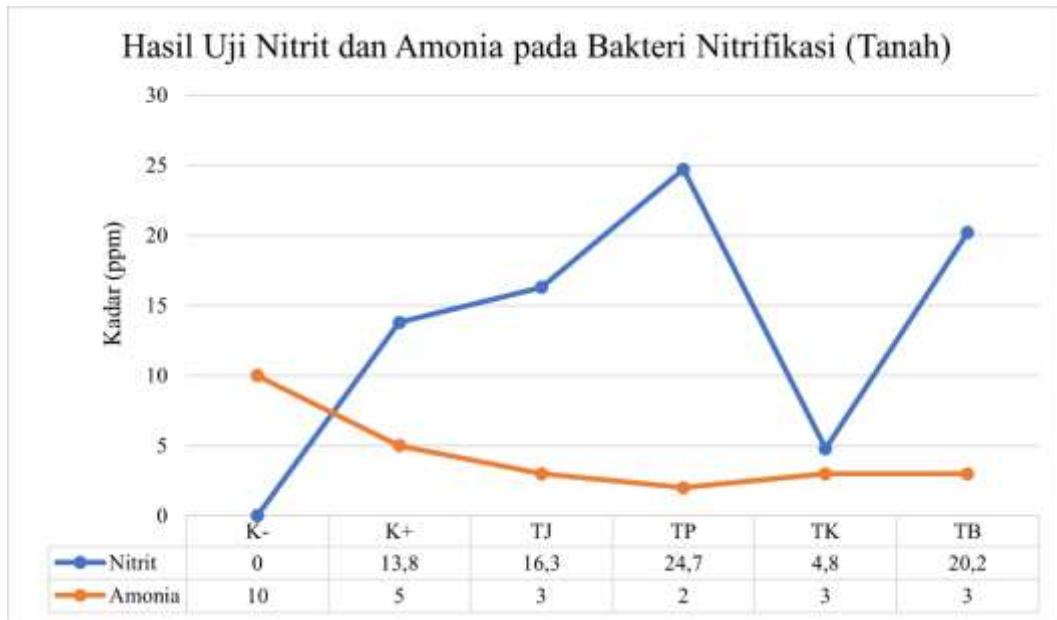
Secara paralel, semua kultur *enrichment* dari masing-masing sampel diuji kadar amoniannya

sebelum dan sesudah *enrichment* menggunakan metode uji cepat yaitu *ammonium test*, Mquant® (Merck). Masing-masing sebanyak 5 mL suspensi bakteri uji disiapkan dalam tabung reaksi 3 mL dan diteteskan masing-masing tiga tetes reagen NH₄-1, NH₄-2, dan NH₄-3, dihomogenkan selama 3 detik dan langsung dibaca sesuai petunjuk penggunaan. Adanya penurunan warna dari gelap (sebelum *enrichment*) ke terang (sesudah *enrichment*) menunjukkan aktivitas penggunaan amonia oleh bakteri nitrifikasi.

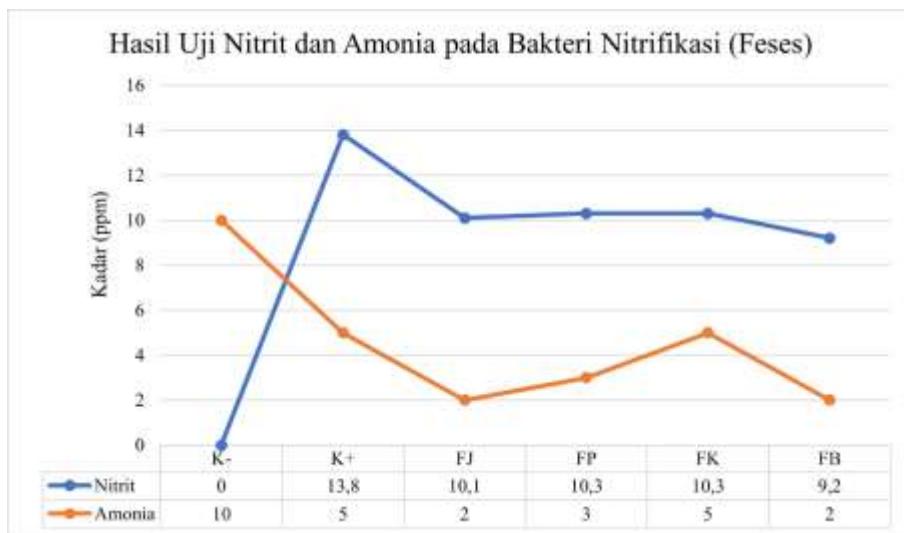
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil menguji aktivitas nitrifikasi dari 16 kultur bakteri lapang yang diperoleh dari lingkungan rumah burung walet di Kalimantan Tengah. Berdasarkan hasil *enrichment* dengan media khusus nitrifikasi, sampel yang dikultur menunjukkan pertumbuhan bakteri nitrifikasi yang ditandai dengan meningkatnya kekeruhan media. Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh sampel mengandung bakteri yang memiliki kemampuan untuk tumbuh dalam kondisi yang mendukung proses nitrifikasi. Menurut Karuriya *et al.* (2024), beberapa jenis bakteri yang termasuk bakteri nitrifikasi antara lain *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitospira*, dan *Nitrococcus*. Konsentrasi nitrit

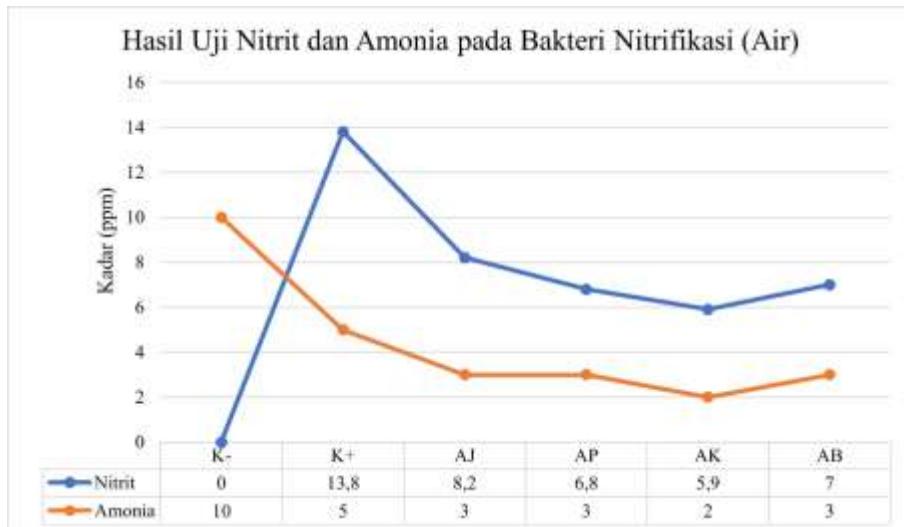
dari masing-masing kultur diukur dengan metode spektofotometri untuk membuktikan adanya aktivitas nitrifikasi dari bakteri lapang. Sampel yang berasal dari tanah (TP, TB) menunjukkan produksi nitrit tertinggi, mencapai >20 ppm, diikuti oleh TJ (16,3 ppm) (Gambar 1) sedangkan isolat dari feses (FB), air kolam (AJ, AK, AP, AB) dan sarang burung walet (SK, SJ, SP) menghasilkan nitrit dalam kisaran yang lebih rendah (<10 ppm) (Gambar 2-4). Akan tetapi, pada penelitian ini terdapat anomali pada isolat tanah TK yang hanya menghasilkan nitrit sebesar 4,8 ppm, jauh lebih rendah dibandingkan isolat tanah lainnya (TP dan TB, >20 ppm) (Gambar 1).



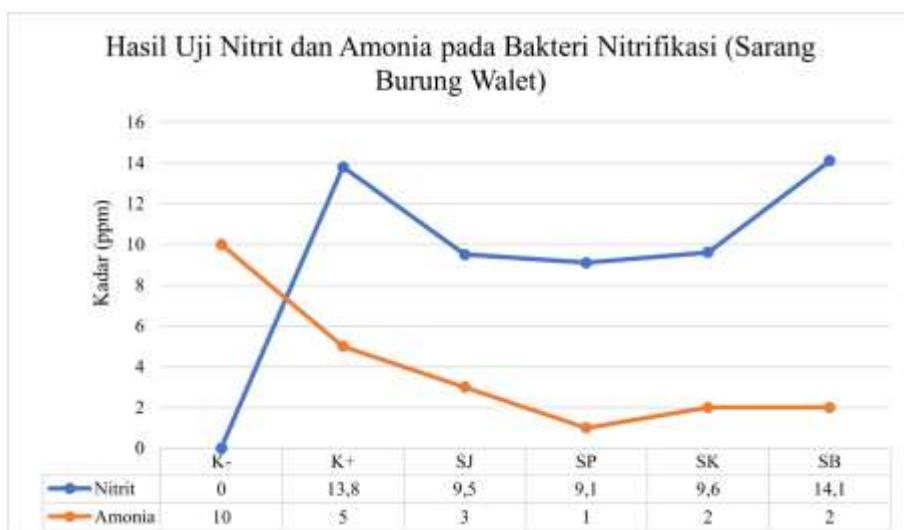
Gambar 1. Hasil uji nitrit dan amonia pada isolat lapang asal tanah di lingkungan rumah burung walet, Kalimantan Tengah. K-: kontrol negatif; K+: kontrol positif; TJ, TP, TK dan TB: isolat uji.



Gambar 2. Hasil uji nitrit dan amonia pada isolat lapang asal feses burung walet (*Aerodramus fuciphagus*) di rumah burung walet, Kalimantan Tengah. K-: kontrol negatif; K+: kontrol positif; FJ, FP, FK dan FB: isolat uji.



Gambar 3. Hasil uji nitrit dan amonia pada isolat lapang asal air kolam rumah burung walet, Kalimantan Tengah. K-: kontrol negatif; K+: kontrol positif; AJ, AP, AK dan AB: isolat uji.



Gambar 4. Hasil uji nitrit dan amonia pada isolat lapang asal sarang burung walet (*Aerodramus fuciphagus*), Kalimantan Tengah. K-: kontrol negatif; K+: kontrol positif; SJ, SP, SK dan SB: isolat uji.

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi nitrit menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 541 nm pada penelitian ini menunjukkan bahwa semua kultur mampu menghasilkan nitrit dengan rentang konsentrasi antara 4,8 hingga 24,7 ppm. Temuan ini menunjukkan bahwa semua bakteri nitrifikasi

mampu diisolasi dengan media enrichment khusus nitrifikasi dan mampu dideteksi dengan metode spektrofotometer. Penelitian deteksi konsentrasi nitrit dari bakteri *Nitrosomonas europaea* DSM 28437 and *Nitrobacter vulgaris* DSM 10236 pernah dilakukan sebelumnya oleh Chaali *et al.* (2021) dengan

menggunakan metode kolorimetri berupa *reducing agent* (Nutrafin). Akan tetapi, menurut Sunandar *et al.* (2024), spektrofotometer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *reducing agent*, terutama dalam hal presisi dan keakuratan. Spektrofotometer memungkinkan pengukuran absorbansi atau transmisi cahaya pada panjang gelombang tertentu sehingga memberikan konsentrasi yang lebih akurat dibandingkan reagen yang hasil analisisnya lebih subjektif dari tiap individu yang membaca.

Pada penelitian ini, kultur sampel TK menghasilkan nitrit yang lebih rendah dibandingkan sampel lainnya. Menurut Chaali *et al.* (2021), nitrifikasi merupakan transformasi nitrogen biologis yang bergantung pada kinerja mikroorganisme khusus dan umumnya, bakteri nitrifikasi memiliki tingkat pertumbuhan dan kinerja yang rendah. Selain itu, menurut Hayatsu *et al.* (2021), nitrifikasi dipengaruhi oleh faktor fisik dan kimia yang berkorelasi seperti pH, konsentrasi amonia, suhu, dan kadar air. Menurut Hayatsu *et al.* (2021), nitrifikasi dapat terjadi pada pH 6,5 sedangkan penelitian ini menggunakan pH rentang 6 hingga 7 sehingga ada potensi isolat TK sensitif terhadap pH dan menyebabkan rendahnya nitrit yang dihasilkan dibandingkan dengan TJ, TP, dan TB. Menurut Zhao *et al.* (2023), aktivitas nitrifikasi yang tinggi pada beberapa sampel menegaskan keberadaan komunitas bakteri nitrifikasi yang aktif di

lingkungan rumah burung walet, terutama pada area dengan kandungan nitrogen tinggi seperti tanah. Perbedaan aktivitas antar sumber mencerminkan pengaruh kondisi lingkungan terhadap komposisi mikroba dan kemampuan metabolismik masing-masing sampel. Adapun anomali pada sampel TK menunjukkan adanya potensi sampel TK mengalami mutasi genetik yang memengaruhi jalur nitrifikasi (misalnya enzim amonia monooxygenase atau nitrit oxidoreductase) sehingga meskipun tumbuh, tidak menghasilkan nitrit dalam jumlah optimal. Selain itu, sampel TK mungkin berada pada fase pertumbuhan yang berbeda, misalnya baru memasuki fase log (pertumbuhan lambat), sedangkan TP dan TB sudah berada pada fase stasioner atau puncak aktivitas metabolismik. Hal ini akan memengaruhi output nitrit dalam waktu inkubasi yang sama. Anomali pada sampel TK menunjukkan bahwa meskipun substrat asalnya sama, keanekaragaman mikroba dan faktor lingkungan mikro sangat memengaruhi aktivitas nitrifikasi.

Pada penelitian ini, aktivitas bakteri nitrifikasi dalam kemampuannya mengkonsumsi amonia dalam metabolisme nitrogennya dibuktikan dengan uji amonia pada semua kultur. Berdasarkan hasil uji amonia, seluruh kultur setelah inkubasi menunjukkan adanya penurunan warna secara visual dari gelap ke terang. Penurunan intensitas warna ini mencerminkan

berkurangnya kadar amonia akibat proses oksidasi oleh bakteri nitrifikasi. Kemampuan semua sampel pada penelitian ini untuk mengubah amonia menjadi nitrit menunjukkan bahwa lingkungan rumah walet merupakan habitat untuk pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Menurut Widiyani *et al.* (2022), bakteri nitrifikasi seperti *Nitrosomonas* dapat ditemukan di kotoran burung walet. Pada penelitian ini, semua sampel menunjukkan karakteristik *ammonia oxidizing bacteria* (AOB). Beberapa jenis bakteri yang termasuk AOB antara lain *Nitrosomonas* dan *Nitrosospira* (Vijayan *et al.* 2021). Selain itu,

temuan ini konsisten dengan hasil produksi nitrit, menunjukkan bahwa ada potensi *Nitrosomonas* dan *Nitrosospira* tumbuh pada kultur ini. Berdasarkan temuan pada penelitian ini, analisis lebih lanjut pada karakter fenotipik dan genotipik masing-masing sampel diperlukan untuk penelitian selanjutnya. Penelitian ini tidak hanya penting untuk pemahaman mikrobiologi, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan bakteri tersebut sebagai kandidat inang untuk studi isolasi bakteriofag yang dapat digunakan untuk mengendalikan bakteri nitrifikasi secara hayati di lingkungan rumah burung walet.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh sampel dari lingkungan rumah burung walet di Kalimantan Tengah memiliki aktivitas nitrifikasi, ditandai dengan kemampuan mengubah amonia menjadi nitrit (4,8–24,7 ppm). Sampel yang berasal dari tanah (TP, TB) menunjukkan aktivitas tertinggi, sementara sampel lain seperti dari sarang burung walet, air kolam, dan feses menghasilkan nitrit lebih

rendah. Hasil uji amonia mengonfirmasi bahwa semua sampel menggunakan amonia saat inkubasi, mendukung adanya proses nitrifikasi aktif. Lingkungan rumah walet terbukti sebagai habitat untuk pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Penelitian ini membuka peluang pemanfaatan bakteri sebagai kandidat inang bakteriofag untuk pengendalian bakteri nitrifikasi di rumah burung walet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Universitas Wijaya Kusuma

Surabaya dan PT. Nanyang Boga Jaya Industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayiti OE, Babalola OO. (2022). Factors influencing soil nitrification process and the effect on environment and health. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6: 821994.
- Chaali M, Ortiz HAR, Cano BD, Brar SK, Ramirez AA, Arriaga S, Heitz M. (2021). Immobilization of nitrifying bacteria on composite based on polymers and eggshells for nitrate production. *Journal of bioscience and bioengineering* 131(6): 663-670.
- Fadillah H, Junaidi M, Azhar F. (2022). Penggunaan *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* untuk perbaikan kualitas air media budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Perikanan Unram* 12(1): 54-65.
- Hayatsu M, Katsuyama C, Tago K. (2021). Overview of recent researches on nitrifying microorganisms in soil. *Soil Science and Plant Nutrition* 67(6): 619-632.
- Karuriya S, Bhandari P, Choudhary S. (2024). Diversity and function of nitrogen cycling microorganisms in mining-impacted areas and their potential role in bioremediation and wastewater treatment. In *Emerging innovative trends in the application of biological processes for industrial wastewater treatment*. Elsevier. Pp. 165-187.
- Medriano CA, Chan A, De Sotto R, Bae S. (2023). Different types of land use influence soil physiochemical properties, the abundance of nitrifying bacteria, and microbial interactions in tropical urban soil. *Science of the Total Environment* 869: 161722.
- Mudrikah S, Hidayah H, Amelia T, Helsen H. (2024). Perbandingan Metode Analisis Instrumen HPLC dan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 10(13): 377-386.
- Ningrum SG. (2021). Deteksi kandungan nitrit dan hidrogen peroksida dalam produk sarang burung walet bersih asal Indonesia. *Jurnal Ilmiah Kedokteran Wijaya Kusuma* 10(1): 20-26.
- Ningrum SG, Palgunadi BU, Sasmita R. (2022). Evaluation of nitrite concentration in edible bird's nest (white, yellow, orange, and red blood). *Makara Journal of Science* 26(1): 7.
- Normaulidia N, Saidy AR, Yusran FH. (2022). Nitrogen availability in upland soil treated with swallow dropping. *Acta Solum* 1(1): 28-35.
- Prasasti FE, Ningrum SG. (2024).

- Isolasi dan identifikasi bakteri nitrifikasi pada sarang burung walet (*Aerodramus maximus*). In Prosiding Seminar Nasional Kusuma, Surabaya October. 272-282.
- Sulistiyowati H, Ali MSS, Mujahidin IF, Saud MY. (2024). Edible bird nest farming business development strategy in the Pulang Pisau Regency, Central Kalimantan Province, Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, May 012093.
- Sunandar IH. (2024). Penggunaan spektrofotometer dalam penilaian kualitas pangan: metode dan praktik. Azzia Karya Bersama.
- Swardiani NPI, Swasta IBJ, Amelia JM, Antara KL. (2022). Studi perbandingan kualitas air pada sistem resirkulasi antara sistem yang menggunakan tanaman kangkung dan tanpa tanaman kangkung dilihat dari variabel amonia (NH₃), nitrit (NO₂), nitrat (NO₃). *Jurnal Perikanan Unram*, 12(3), 355-364.
- Vijayan A, Vattiringal Jayadradhan RK, Pillai D, Prasannan Geetha P, Joseph V, Isaac Sarojini BS. (2021). *Nitrospira* as versatile nitrifiers: taxonomy, ecophysiology, genome characteristics, growth, and metabolic diversity. *Journal of Basic Microbiology* 61(2): 88-109.
- Wahyuni DS, Latif H, Sudarwanto MB, Basri C. (2022). Pola pemeliharaan burung walet pada pulau-pulau utama penghasil sarang burung walet di Indonesia. *Jurnal Sain Veteriner* 40(2): 117-127.
- Widiyani P, Latif H, Lukman DW, Sudarwanto MB. (2021). Artikel review: bakteri nitritasi dan peranannya dalam keberadaan nitrit pada sarang burung walet. *Jurnal Kajian Veteriner* 9(2): 98-109.
- Widiyani P, Sudarwanto MB, Latif H, Lukman DW, Thong D, Rahayu P. (2022). A preliminary metagenomics study of bacteria present in the dirt of swiftlet farmhouses based on nitrite levels in edible bird's nest on Sumatera Island, Indonesia. *Veterinary World* 15(7): 1798.
- Yurnaningsih DE, Widyorini N, Sabdaningsih A. (2023). Analisis Total Bakteri *Pseudomonas* sp pada Sampel Air Karamba Jaring Apung Nglonder Perairan Rawa Pening, Kabupaten Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 10(2), pp.78-85.
- Zhao L, Fu G, Zeng A, Cheng B, Song Z, Hu Z. (2023). Effects of different aeration strategies and ammonia-nitrogen loads on nitrification performance

- and microbial community succession of mangrove constructed wetlands for saline wastewater treatment. *Chemosphere*, 339, p.139685.
- Zulkefle NN, Ibrahim MA, Azuan NF, Ch'ng SE, Ismail N, Abu Bakar MZ, Chan KW. (2024). A review on the edible bird's nest quality and manufacturing standards of the three largest exporting countries in the world. *Journal of Food Quality* 2024(1): 5608357.