

Original Research Article

Analisis mikrobiologis kualitas udara di lingkungan Universitas Negeri Medan

Lydia Siburian ^{a*}, Fatiha Salma Siregar ^b, Putri Khairani ^c, Gracelda E. Pardede ^d, Rani Simanjuntak ^e, Najwa Athifah ^f, Marlinda Nilan Sari Rangkuti ^g, Adelia Febriyossa ^h

Universitas Negeri Medan. Jl. Willem Iskandar PSR V, Deli Serdang, Sumatera Utara 20371, Indonesia

^a lydiasiburian1@gmail.com; ^b fatihasalmas@gmail.com; ^c 26putrikhairani@gmail.com;

^d pardedegracelda@gmail.com; ^e ranisimanjuntak28@gmail.com; ^f awavi131@gmail.com;

^g marlindarangkuti@unimed.ac.id; ^h adelia.febriyossa@unimed.ac.id

* Corresponding Author

Receipt: 7 June 2026; Revision: 20 June 2026; Accepted: 5 August 2026; Online: 8 August 2026

Abstract: Kualitas mikrobiologi udara merupakan salah satu indikator penting dalam penilaian kesehatan lingkungan karena keberadaan mikroorganisme di udara berpotensi mempengaruhi kesehatan manusia. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kualitas mikrobiologi udara berdasarkan kepadatan dan karakteristik bakteri menggunakan metode *passive air sampling*. Pengambilan sampel udara dilakukan pada tiga lokasi dengan tingkat aktivitas yang berbeda menggunakan media Nutrient Agar (NA). Sampel yang diperoleh diinkubasi pada suhu 37°C selama 24–48 jam, kemudian dilakukan perhitungan jumlah koloni bakteri dalam satuan *Colony Forming Unit* (CFU), pengamatan morfologi koloni, pewarnaan Gram, serta uji biokimia yang meliputi uji katalase, Triple Sugar Iron Agar (TSIA), Sulfide Indole Motility (SIM), dan Simmons Citrate. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan mikroorganisme udara tertinggi ditemukan pada lokasi Gerbang 1 sebesar $3,07 \times 10^3$ CFU/m³, sedangkan Gerbang 2 dan Gerbang 4 masing-masing sebesar $1,67 \times 10^3$ CFU/m³ dan $1,62 \times 10^3$ CFU/m³. Karakterisasi bakteri menunjukkan adanya variasi morfologi koloni serta dominasi bakteri Gram positif berbentuk basil dan beberapa isolat Gram negatif berbentuk kokobasil. Hasil uji biokimia mengindikasikan adanya keragaman karakter fisiologis antar isolat bakteri. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kualitas mikrobiologi udara pada lokasi pengamatan menunjukkan variasi kepadatan dan karakteristik bakteri yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan aktivitas di sekitar lokasi sampling.

Abstract: Air microbiological quality is one of the key indicators in environmental health assessments, as the presence of microorganisms in the air has the potential to affect human health. This study was conducted to analyse air microbiological quality based on bacterial density and characteristics using the passive air sampling method. Air sampling was carried out at three locations with different activity levels using Nutrient Agar (NA) as the culture medium. The samples obtained were incubated at 37°C for 24–48 hours, followed by the counting of bacterial colonies in Colony Forming Units (CFU), observation of colony morphology, Gram staining, and biochemical tests including the catalase test, Triple Sugar Iron Agar (TSIA), Sulphide Indole Motility (SIM), and Simmons Citrate tests. The results of the study showed that the highest density of airborne microorganisms was found at Gate 1, at 3.07×10^3 CFU/m³, whilst Gate 2 and Gate 4 recorded 1.67×10^3 CFU/m³ and 1.62×10^3 CFU/m³ respectively. Characterisation of the bacteria revealed variations in colony morphology, with a predominance of Gram-positive bacilli and several Gram-negative coccobacilli isolates. Biochemical test results indicated diversity in the physiological characteristics among the bacterial isolates. This study concluded that the microbiological quality of the air at the observation sites showed variations in bacterial density and characteristics influenced by environmental conditions and activity.

Keywords: bakteri udara; kualitas mikrobiologi udara; *passive air sampling*; kepadatan bakteri; karakteristik bakteri



PENDAHULUAN

Udara merupakan salah satu komponen lingkungan yang berperan penting dalam menunjang kehidupan makhluk hidup. Selain mengandung unsur fisik dan kimia, udara juga menjadi media penyebaran berbagai mikroorganisme yang dikenal sebagai bioaerosol. Bioaerosol terdiri atas bakteri, jamur, virus, spora, serta partikel biologis lainnya yang dapat berasal dari tanah, air, tumbuhan, hewan, maupun aktivitas manusia. Keberadaan mikroorganisme di udara dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, kepadatan aktivitas manusia, serta kondisi sanitasi lingkungan (Chen et al., 2020). Mikroorganisme yang terhirup bersama udara berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan, mulai dari iritasi saluran pernapasan dan alergi hingga infeksi oportunistik pada individu dengan sistem imun yang lemah. Paparan bioaerosol dalam konsentrasi tinggi dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan, terutama pada lingkungan dengan kualitas udara yang buruk (Flowerday et al., 2023). Oleh karena itu, kualitas mikrobiologi udara menjadi salah satu aspek penting dalam penilaian kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji kualitas mikrobiologi udara pada berbagai jenis lingkungan. Pala'langan et al. (2023) melaporkan bahwa tingginya jumlah mikroorganisme udara pada ruang perawatan rumah sakit berpotensi meningkatkan risiko infeksi nosokomial. Penelitian Ramadani et al. (2025) menunjukkan bahwa kawasan permukiman di sekitar tempat pembuangan akhir memiliki jumlah bakteri udara yang lebih tinggi dibandingkan kawasan yang tidak terpapar sumber pencemar biologis. Selain itu, Vebriani et al. (2023) menunjukkan bahwa lingkungan dengan tingkat aktivitas manusia yang tinggi memiliki jumlah dan keragaman mikroorganisme udara yang lebih besar dibandingkan lingkungan dengan aktivitas yang lebih rendah. Mulyani et al. (2023) juga menyatakan bahwa kepadatan aktivitas manusia dan kondisi ventilasi berpengaruh signifikan terhadap jumlah bakteri yang ditemukan di udara. Dalam penelitian lapangan, metode *passive air sampling* (*settle plate method*) dapat digunakan untuk mengambil sampel mikroorganisme udara secara pasif melalui proses sedimentasi alami mikroorganisme pada permukaan media kultur. Metode ini bersifat sederhana, ekonomis, dan efektif untuk menggambarkan tingkat kontaminasi mikroorganisme udara (Cahyaningrum et al., 2025).

Meskipun penelitian mengenai kualitas mikrobiologi udara telah dilakukan pada berbagai lingkungan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada lingkungan tertutup, seperti rumah sakit, laboratorium, ruang kerja, dan pusat perbelanjaan. Penelitian pada lingkungan terbuka, khususnya kawasan kampus yang memiliki tingkat aktivitas manusia dan mobilitas kendaraan yang tinggi, masih relatif terbatas. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada perhitungan jumlah koloni bakteri tanpa melakukan karakterisasi lebih lanjut terhadap mikroorganisme yang ditemukan. Kondisi tersebut menyebabkan informasi mengenai kepadatan dan karakteristik bakteri udara pada lingkungan kampus, khususnya di Indonesia, masih belum tergambarkan secara menyeluruh.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas mikrobiologi udara berdasarkan kepadatan dan karakteristik bakteri pada beberapa titik di lingkungan Universitas Negeri Medan menggunakan metode *passive air sampling*. Penelitian ini tidak hanya menghitung jumlah mikroorganisme udara berdasarkan nilai *Colony Forming Unit* (CFU), tetapi juga melakukan karakterisasi bakteri melalui pengamatan morfologi koloni, pewarnaan Gram, dan uji biokimia. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai kondisi mikrobiologi udara pada lingkungan kampus.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi analisis kepadatan bakteri udara dengan karakterisasi mikrobiologis melalui pengamatan morfologi koloni, pewarnaan Gram, dan uji biokimia pada lingkungan kampus terbuka. Pendekatan tersebut memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai kualitas mikrobiologi udara dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada jumlah koloni bakteri.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional yang bertujuan untuk menganalisis kualitas mikrobiologi udara berdasarkan kepadatan dan karakteristik bakteri pada beberapa lokasi di lingkungan Universitas Negeri Medan. Penelitian dilakukan dengan mengamati kondisi mikrobiologi udara yang telah ada pada masing-masing lokasi tanpa pemberian intervensi atau perlakuan oleh peneliti. Oleh karena itu, Gerbang 1, Gerbang 2, dan Gerbang 4 digunakan sebagai lokasi pengamatan untuk membandingkan kepadatan bakteri udara dan bukan sebagai kelompok perlakuan maupun kelompok kontrol. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2026 di tiga lokasi pengambilan sampel yang mewakili kondisi aktivitas lingkungan yang berbeda, yaitu Gerbang 1, Gerbang 2, dan Gerbang 4 Universitas Negeri Medan. Analisis mikrobiologi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Negeri Medan.

Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi kepadatan dan karakteristik bakteri udara. Kepadatan bakteri udara ditentukan berdasarkan jumlah koloni yang tumbuh pada media dan dinyatakan dalam satuan *Colony Forming Unit* per meter kubik (CFU/m³). Karakteristik bakteri diamati berdasarkan morfologi koloni, hasil pewarnaan Gram, dan karakteristik biokimia. Untuk menjaga keseragaman prosedur pada seluruh lokasi, waktu pengambilan sampel, lama pemaparan media, ketinggian penempatan cawan petri, jenis media kultur, dan kondisi inkubasi dibuat sama. Keseragaman tersebut merupakan bentuk standarisasi prosedur pengambilan dan pengolahan sampel serta bukan bentuk perlakuan atau intervensi terhadap kondisi lingkungan.

Pengambilan sampel udara dilakukan menggunakan metode *passive air sampling (settle plate method)* dengan media *Nutrient Agar* (NA). Prosedur pengambilan sampel mengacu pada metode *passive air sampling* yang telah digunakan dalam penelitian terdahulu, kemudian diterapkan pada lingkungan terbuka dengan menyesuaikan lokasi dan kondisi pengambilan sampel. Pada setiap lokasi pengambilan sampel digunakan tiga cawan petri sebagai ulangan. Cawan petri ditempatkan pada ketinggian sekitar satu meter dari permukaan tanah dan dibuka selama 30 menit untuk memungkinkan mikroorganisme yang terdapat di udara mengendap secara alami pada permukaan media. Selain cawan yang digunakan untuk pengambilan sampel, satu cawan petri tetap dalam keadaan tertutup sebagai kontrol sterilitas untuk memastikan bahwa media tidak mengalami kontaminasi selama proses preparasi, penanganan, dan inkubasi. Setelah masa pemaparan selesai, seluruh cawan petri ditutup kembali, dibungkus menggunakan plastik *wrap*, dan dibawa ke laboratorium dalam posisi terbalik.

Jumlah koloni yang tumbuh selanjutnya dikonversi menjadi kepadatan mikroorganisme udara dalam satuan *Colony Forming Unit* per meter kubik (CFU/m³) menggunakan rumus Omeliansky, yaitu $N = (5 \times a \times 10^4) / (b \times t)$. Dalam persamaan tersebut, N menyatakan jumlah mikroorganisme udara (CFU/m³), (a) adalah jumlah koloni yang tumbuh pada cawan petri (CFU), (b) merupakan luas permukaan cawan petri (cm²), dan (t) adalah durasi waktu pemaparan cawan petri dalam satuan menit.

Perhitungan kepadatan mikroorganisme udara dilakukan berdasarkan jumlah koloni yang tumbuh, luas permukaan cawan petri, dan lama waktu pemaparan media (Andriana et al., 2023). Selanjutnya, dilakukan pengamatan morfologi koloni yang meliputi bentuk, warna, elevasi, dan tepi koloni sebagai tahap karakterisasi awal bakteri. Koloni yang menunjukkan karakteristik dominan kemudian diisolasi dan dimurnikan menggunakan media *Tryptic Soy Agar* (TSA). Isolat murni selanjutnya dikarakterisasi melalui pewarnaan Gram untuk membedakan kelompok bakteri Gram positif dan Gram negatif berdasarkan hasil pewarnaan serta morfologi sel. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop pada perbesaran 1000× dengan bantuan minyak imersi.

Karakterisasi bakteri dilanjutkan melalui serangkaian uji biokimia yang meliputi uji katalase, *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), *Sulfide Indole Motility* (SIM), dan *Simmons Citrate Agar*. Uji katalase dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri menghasilkan enzim katalase melalui pembentukan gelembung setelah penambahan larutan hidrogen peroksida (H₂O₂) 3%. Uji TSIA digunakan untuk mengamati kemampuan fermentasi karbohidrat, produksi gas, dan pembentukan hidrogen sulfida (H₂S). Uji SIM dilakukan untuk mengamati motilitas, produksi indol, dan pem-

bentukan H_2S , sedangkan uji *Simmons Citrate* digunakan untuk mengetahui kemampuan bakteri memanfaatkan sitrat sebagai sumber karbon.

Data kepadatan bakteri udara dianalisis secara statistik menggunakan uji normalitas dan uji homogenitas sebagai uji prasyarat. Selanjutnya, dilakukan analisis *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui perbedaan rerata kepadatan bakteri udara antara Gerbang 1, Gerbang 2, dan Gerbang 4 Universitas Negeri Medan. Hipotesis statistik yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan rerata kepadatan bakteri udara antara Gerbang 1, Gerbang 2, dan Gerbang 4 Universitas Negeri Medan.

H_1 : Terdapat perbedaan rerata kepadatan bakteri udara pada setidaknya satu lokasi pengambilan sampel.

Pengujian statistik dilakukan pada taraf signifikansi 0,05. Apabila hasil analisis menunjukkan nilai $p < 0,05$, maka H_0 ditolak dan analisis dilanjutkan menggunakan uji *post hoc* untuk mengetahui pasangan lokasi yang memiliki perbedaan rerata secara signifikan. Data karakteristik bakteri yang diperoleh melalui pengamatan morfologi koloni, pewarnaan Gram, dan uji biokimia dianalisis secara deskriptif serta disajikan dalam bentuk tabel dan uraian naratif.

Ethical Clearance

Penulis menyatakan bahwa penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan prinsip etika ilmiah dan bebas dari fabrikasi, falsifikasi, plagiarisme, serta manipulasi data. Persetujuan partisipasi (*informed consent*) telah diperoleh dari seluruh partisipan dengan jaminan kerahasiaan identitas dan data pribadi. Penulis juga menegaskan tidak adanya konflik kepentingan dalam pelaksanaan maupun publikasi artikel ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kepadatan Mikroorganisme Udara pada Setiap Lokasi Sampling

Pengamatan kualitas mikrobiologi udara dilakukan pada tiga lokasi di lingkungan Universitas Negeri Medan, yaitu Gerbang 1, Gerbang 2, dan Gerbang 4 menggunakan metode *passive air sampling*. Kepadatan mikroorganisme udara ditentukan berdasarkan jumlah koloni yang tumbuh pada media Nutrient Agar (NA) dan dinyatakan dalam satuan CFU/m³. Hasil perhitungan kepadatan mikroorganisme udara pada masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 1. Rumus untuk menghitung CFU:

$$N = \frac{5a \times 10^4}{(bt)^{-1}}$$

di mana N merupakan jumlah koloni kuman per satuan volume atau luas udara yang dihitung dalam satuan CFU/m³. Nilai ini diperoleh dari perhitungan jumlah koloni kuman yang tumbuh pada media (a), dalam satuan CFU) dibagi dengan hasil perkalian antara luas permukaan cawan petri yang digunakan (b, dalam satuan m² atau cm²) dan durasi atau lama waktu pemaparan cawan petri di udara (t) dalam satuan menit atau jam).

Berdasarkan Tabel 1, rata-rata kepadatan mikroorganisme udara tertinggi ditemukan pada lokasi Gerbang 1 sebesar $3,07 \times 10^3$ CFU/m³, sedangkan Gerbang 2 dan Gerbang 4 masing-masing sebesar $1,67 \times 10^3$ CFU/m³ dan $1,62 \times 10^3$ CFU/m³. Sementara itu, seluruh cawan kontrol tidak menunjukkan pertumbuhan koloni bakteri. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme udara ditemukan pada seluruh lokasi pengamatan dengan tingkat kepadatan yang berbeda-beda. Gambar 1 menunjukkan bahwa Gerbang 1 memiliki kepadatan mikroorganisme udara tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar $3,07 \times 10^3$ CFU/m³. Sementara itu, Gerbang 2 dan Gerbang 4 memiliki nilai rata-rata yang lebih rendah, yaitu masing-masing sebesar $1,67 \times 10^3$ CFU/m³ dan $1,62 \times 10^3$ CFU/m³. Hasil tersebut menunjukkan adanya variasi kepadatan mikroorganisme udara pada setiap lokasi pengambilan sampel. Perbedaan

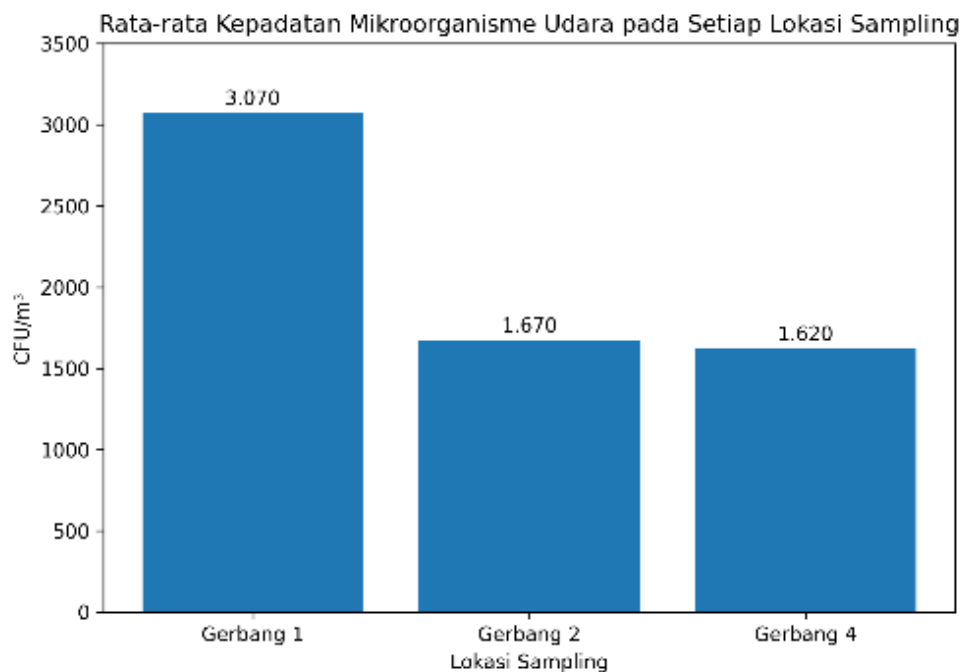
kepadatan ini mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan dan tingkat aktivitas di sekitar lokasi sampling dapat memengaruhi jumlah mikroorganisme yang terdapat di udara.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Jumlah Mikroorganisme Udara

Gerbang 1	Jumlah (CFU/m ³)		Notasi Ilmiah
	Jumlah Koloni (CFU)	Jumlah Mikroorganisme Udara (CFU/m ³)	
Kontrol	0	0	0
P1	123	3.224,3	$3,22 \times 10^3$
P2	72	1.887,4	$1,89 \times 10^3$
P3	156	4.089,3	$4,09 \times 10^3$

Gerbang 2	Jumlah (CFU/m ³)		Notasi Ilmiah
	Jumlah Koloni (CFU)	Jumlah Mikroorganisme Udara (CFU/m ³)	
Kontrol	0	0	0
P1	99	2.595,2	$2,60 \times 10^3$
P2	51	1.336,8	$1,34 \times 10^3$
P3	41	1.074,7	$1,07 \times 10^3$

Gerbang 4	Jumlah (CFU/m ³)		Notasi Ilmiah
	Jumlah Koloni (CFU)	Jumlah Mikroorganisme Udara (CFU/m ³)	
Kontrol	0	0	0
P1	100	2.621,4	$2,62 \times 10^3$
P2	51	1.336,8	$1,34 \times 10^3$
P3	34	891,3	$8,91 \times 10^2$



Gambar 1. Rata-rata Kepadatan Mikroorganisme Udara pada Setiap Lokasi Sampling.

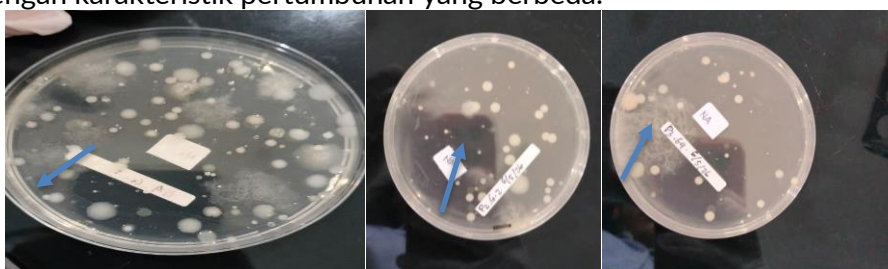
Karakteristik Morfologi Koloni Bakteri

Pengamatan morfologi koloni dilakukan terhadap seluruh koloni bakteri yang tumbuh pada media Nutrient Agar setelah masa inkubasi. Karakteristik morfologi koloni yang ditemukan menunjukkan variasi bentuk, ukuran, warna, permukaan, dan tepi koloni. Sebagian besar koloni memiliki bentuk *circular* (bulat) dengan ukuran bervariasi dari kecil, sedang, hingga besar. Warna koloni didominasi putih susu hingga putih krem dengan tingkat opasitas yang berbeda-beda, mulai dari agak transparan hingga opak. Permukaan koloni umumnya tampak halus dan licin dengan tekstur mengkilap. Elevasi koloni yang terlihat didominasi tipe *convex* dan *raised*, ditandai dengan bagian tengah koloni yang sedikit menonjol di atas permukaan media. Margin koloni

sebagian besar bertipe *entire* (rata), meskipun beberapa koloni menunjukkan tepi yang kurang teratur.

Selain koloni berbentuk circular, ditemukan pula koloni dengan pola pertumbuhan *filamentous* yang tampak menyerupai serabut atau benang-benang halus yang menyebar dari pusat koloni. Koloni filamentous tersebut berwarna putih keabu-abuan dengan ukuran relatif lebih besar dibandingkan sebagian besar koloni circular. Struktur koloni tampak tidak kompak dan memiliki percabangan halus pada bagian tepinya. Keberadaan koloni filamentous menunjukkan adanya mikroorganisme yang memiliki pola pertumbuhan berbeda dibandingkan koloni bakteri bulat yang mendominasi media.

Secara keseluruhan, karakteristik koloni pada media Nutrient Agar didominasi oleh koloni berbentuk circular, berwarna putih hingga krem, berpermukaan halus, memiliki margin *entire*, dan elevasi *convex* hingga *raised*. Namun, keberadaan beberapa koloni filamentous serta variasi ukuran dan tingkat opasitas koloni menunjukkan bahwa mikroorganisme yang tumbuh pada media tidak berasal dari satu jenis yang sama, melainkan terdiri atas beberapa kelompok mikroorganisme dengan karakteristik pertumbuhan yang berbeda.



Gambar 2. Gambar: (a) G1; (b) G2; (c) G4

Morfologi koloni mikroorganisme hasil isolasi udara pada media Nutrient Agar (NA) dari lokasi Gerbang 1 (A), Gerbang 2 (B), dan Gerbang 4 (C). Koloni yang teramati didominasi oleh bentuk *circular* dengan beberapa koloni *filamentous*, berwarna putih hingga krem, serta menunjukkan variasi ukuran, margin, dan elevasi.

Pewarnaan Gram dan Pengamatan Mikroskop

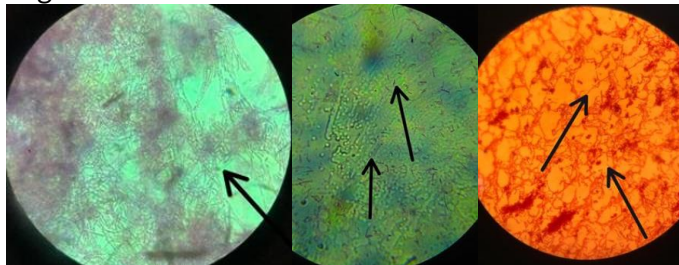
Tabel 2. Hasil Pewarnaan Gram dan Pengamatan Mikroskop

Kode Isolat	Bentuk Sel	Pewarnaan gram		Nama Bakteri
		Warna Gram	Reaksi Gram	
G1-P1-KB	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.
G1-P1-KC	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.
G1-P2-KB	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.
G1-P2-KC	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.
G1-P3-KB	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Pseudomonas</i> sp.
G1-P3-KC	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Acinetobacter</i> sp.
G2-P1-KB	Kokobasil	Merah muda	Gram negatif	<i>Acinetobacter</i> sp.
G2-P1-KC	Kokobasil	Merah muda	Gram negatif	<i>Acinetobacter</i> sp.
G2-P2-KB	Kokobasil	Merah muda	Gram negatif	<i>Pseudomonas</i> sp.
G2-P2-KC	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.
G2-P3-KB	Kokobasil	Merah muda	Gram negatif	<i>Enterobacter</i> sp.
G2-P3-KC	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Bacillus</i> sp.
G4-P1-KB	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Enterobacter</i> sp.
G4-P1-KC	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Pseudomonas</i> sp.
G4-P2-KB	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Pseudomonas</i> sp.
G4-P2-KC	Basil	Merah muda	Gram negatif	<i>Bacillus</i> sp.
G4-P3-KB	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.
G4-P3-KC	Basil	Ungu	Gram positif	<i>Bacillus</i> sp.

Pewarnaan Gram dilakukan untuk mengetahui karakteristik morfologi sel dan reaksi Gram dari isolat bakteri yang diperoleh pada setiap lokasi sampling. Pengamatan mikroskopis dilaku-

kan terhadap seluruh isolat untuk mengidentifikasi bentuk sel serta respons bakteri terhadap pewarnaan Gram. Hasil pengamatan mikroskopis dan pewarnaan Gram disajikan pada Tabel 2.

Gambar 2 hasil pewarnaan gram Keterangan: G1 = Gerbang 1; G2 = Gerbang 2; G4 = Gerbang 4; Pengamatan dilakukan pada perbesaran 100× menggunakan pewarnaan Gram. Tanda panah memperlihatkan Sel bakteri tampak berwarna ungu yang menunjukkan reaksi Gram positif dengan morfologi dominan berbentuk basil dan kokobasil.



Gambar: (a) G1; (b) G2; (c) G4

Gambar 3. Hasil Pengamatan Mikroskop

Uji Biokimia

Tabel 3. Hasil Uji Biokimia Isolat Bakteri Udara

Kode Isolat	Katalase	TSIA	SIM			Sitrat
			Motilitas	Indol	H ₂ S	
G1-P1-KB	+	K/A	+	-	-	-
G1-P1-KC	+	K/A	ND	ND	ND	-
G1-P2-KB	+	K/A	-	-	-	+
G1-P2-KC	+	A/A	+	-	-	-
G1-P3-KB	+	A/A	-	-	-	-
G1-P3-KC	+	A/A	-	-	-	-
G2-P1-KB	-	A/A	-	-	-	-
G2-P1-KC	+	K/A	-	-	-	-
G2-P2-KB	-	K/A	-	-	-	+
G2-P2-KC	+	K/A	-	-	-	+
G2-P3-KB	+	K/A	-	-	-	-
G2-P3-KC	+	K/A	+	-	-	-
G4-P1-KB	-	K/A	+	-	-	-
G4-P1-KC	+	K/A	-	-	-	-
G4-P2-KB	+	K/A	-	+	-	+
G4-P2-KC	+	K/A	+	-	-	+
G4-P3-KB	+	K/A	-	-	+	-
G4-P3-KC	+	K/A	-	-	-	-

Keterangan: (+) positif; (-) negatif; ND = *Not Determined* (hasil uji tidak dapat ditentukan akibat kontaminasi); K/A = alkali/asam; A/A = asam/asam.

Analisis Data dengan SPSS

Uji Normalitas

Tabel 4. Uji Normalitas Data Jumlah Koloni

Lokasi	Shapiro-Wilk	p	Keterangan
Gerbang 1	0,985	0,765	Normal
Gerbang 2	0,875	0,309	Normal
Gerbang 4	0,927	0,479	Normal

Jika nilai $P > 0,05$ maka data berdistribusi normal.

Jika nilai $P < 0,05$ maka data tidak berdistribusi normal.

Berdasarkan hasil uji normalitas diketahui bahwa seluruh perlakuan memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga data jumlah koloni pada seluruh lokasi berdistribusi normal dan memenuhi syarat untuk dilakukan analisis ANOVA.

*Uji Homogenitas***Tabel 5.** Uji Homogenitas

Levene Statistic	db1	db2	p	Keterangan
2,842	3	8	0,106	Homogen

Hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,106 ($>0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data jumlah koloni memiliki varians yang homogen dan memenuhi syarat untuk analisis sidik ragam (ANOVA).

*Uji Post Hoc (Tukey HSD)***Tabel 6.** Uji Post Hoc (Tukey HSD)

Perbandingan Perlakuan	Selisih Rata-rata	p	Keterangan
Gerbang 1 – Gerbang 2	53,333	0,236	Tidak berbeda nyata
Gerbang 1 – Gerbang 4	55,333	0,213	Tidak berbeda nyata
Gerbang 1 – Kontrol	117,000	0,008	Berbeda nyata
Gerbang 2 – Gerbang 4	2,000	1,000	Tidak berbeda nyata
Gerbang 2 – Kontrol	63,667	0,137	Tidak berbeda nyata
Gerbang 4 – Kontrol	61,667	0,152	Tidak berbeda nyata

Berdasarkan hasil uji *post hoc* Tukey HSD, tidak terdapat perbedaan rerata kepadatan bakteri udara yang signifikan antar lokasi pengamatan. Perbandingan antara Gerbang 1 dan Gerbang 2 menunjukkan nilai *p* sebesar 0,236, perbandingan antara Gerbang 1 dan Gerbang 4 menunjukkan nilai *p* sebesar 0,213, sedangkan perbandingan antara Gerbang 2 dan Gerbang 4 menunjukkan nilai *p* sebesar 1,000. Seluruh nilai *p* lebih besar dari taraf signifikansi 0,05, sehingga tidak terdapat perbedaan rerata kepadatan bakteri udara yang signifikan di antara ketiga lokasi pengamatan.

Pembahasan

Kualitas mikrobiologi udara merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kondisi lingkungan karena udara dapat berperan sebagai media penyebaran berbagai mikroorganisme, termasuk bakteri yang berasal dari tanah, debu, vegetasi, aktivitas manusia, maupun kendaraan. Pada penelitian ini, kepadatan mikroorganisme udara ditentukan menggunakan metode *Passive Air Sampling* dengan media Nutrient Agar.

Berdasarkan hasil pengamatan, kepadatan mikroorganisme udara menunjukkan perbedaan pada setiap lokasi sampling. Gerbang 1 memiliki nilai rata-rata tertinggi sebesar 117 CFU/plate atau setara dengan $3,07 \times 10^3$ CFU/m³, sedangkan Gerbang 2 dan Gerbang 4 masing-masing sebesar $1,67 \times 10^3$ CFU/m³ dan $1,62 \times 10^3$ CFU/m³. Tingginya jumlah mikroorganisme pada Gerbang 1 diduga berkaitan dengan intensitas aktivitas manusia dan kendaraan yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya. Aktivitas manusia dapat menghasilkan bioaerosol berupa droplet, serpihan kulit, maupun debu yang mengandung mikroorganisme. Selain itu, lalu lintas kendaraan menyebabkan terjadinya resuspensi debu dari permukaan tanah sehingga berbagai mikroorganisme yang sebelumnya mengendap dapat kembali terdispersi ke udara. Kondisi tersebut menyebabkan peluang mikroorganisme untuk mengendap pada media selama proses sampling menjadi lebih besar. Hasil ini sejalan dengan penelitian Vebriani dkk. (2023) yang menyatakan bahwa lokasi dengan aktivitas manusia yang tinggi cenderung memiliki jumlah dan keragaman mikroorganisme udara yang lebih besar akibat meningkatnya pelepasan partikel biologis ke atmosfer.

Sebaliknya, Gerbang 4 menunjukkan kepadatan mikroorganisme udara paling rendah. Perbedaan ini kemungkinan dipengaruhi oleh tingkat aktivitas manusia yang lebih rendah serta kondisi sirkulasi udara yang lebih baik sehingga akumulasi mikroorganisme di udara menjadi lebih sedikit. Selain aktivitas manusia, jumlah mikroorganisme udara juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, intensitas cahaya matahari, serta keberadaan vegetasi di sekitar lokasi pengamatan. Menurut Andriana et al. (2023), faktor

fisik lingkungan berperan penting dalam menentukan kemampuan mikroorganisme untuk bertahan hidup dan terdispersi di udara. Lingkungan dengan kondisi yang mendukung akan meningkatkan peluang bakteri untuk tetap hidup dan terdeteksi selama proses pengambilan sampel.

Variasi jumlah koloni yang ditemukan antarulangan pada lokasi yang sama menunjukkan bahwa distribusi mikroorganisme udara bersifat dinamis dan tidak homogen. Keberadaan mikroorganisme di atmosfer dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan yang berlangsung secara terus-menerus, seperti arah dan kecepatan angin, perubahan suhu, kelembapan udara, serta aktivitas manusia yang terjadi pada saat tertentu. Oleh karena itu, jumlah koloni yang tertangkap pada media dapat berbeda meskipun pengambilan sampel dilakukan pada lokasi yang sama. Fenomena ini menunjukkan bahwa penyebaran mikroorganisme di udara bersifat fluktuatif dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pada saat pengambilan sampel dilakukan.

Keberadaan koloni yang tidak tumbuh pada cawan kontrol menunjukkan bahwa media yang digunakan berada dalam kondisi steril dan tidak mengalami kontaminasi selama proses preparasi maupun inkubasi. Hasil ini menjadi indikator bahwa koloni yang tumbuh pada cawan perlakuan benar-benar berasal dari mikroorganisme yang terdapat di udara lingkungan. Dengan demikian, data yang diperoleh dapat dianggap valid dan merepresentasikan kondisi mikrobiologi udara pada lokasi penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah koloni bakteri udara antar lokasi pengambilan sampel. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa kepadatan mikroorganisme udara pada setiap lokasi tidak sama. Variasi kepadatan tersebut diduga berkaitan dengan perbedaan kondisi lingkungan dan tingkat aktivitas pada masing-masing lokasi, yang dapat memengaruhi keberadaan serta penyebaran mikroorganisme di udara. Uji lanjut Tukey HSD menunjukkan bahwa perbedaan signifikan terutama terjadi antara Gerbang 1 dan kontrol, sedangkan antar lokasi lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh kemiripan karakteristik lingkungan pada beberapa lokasi serta adanya variasi alami jumlah mikroorganisme udara yang cukup besar.

Selain menghitung kepadatan mikroorganisme, penelitian ini juga melakukan karakterisasi awal melalui pengamatan morfologi koloni. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sebagian besar koloni memiliki bentuk *circular* (bulat), warna putih hingga krem, margin *entire*, serta elevasi *raised* dan *convex*. Karakteristik tersebut merupakan morfologi yang umum ditemukan pada bakteri lingkungan yang berasal dari tanah, debu, maupun vegetasi. Dominasi bentuk *circular* menunjukkan bahwa sebagian besar bakteri yang ditemukan memiliki pola pertumbuhan yang relatif stabil pada media Nutrient Agar. Sementara itu, keberadaan koloni berbentuk *filamentous* dalam jumlah yang lebih sedikit menunjukkan adanya keragaman mikroorganisme yang terdapat di udara. Variasi bentuk, margin, dan elevasi koloni mengindikasikan bahwa komunitas bakteri udara pada lokasi penelitian tidak berasal dari satu jenis bakteri saja, melainkan terdiri atas beberapa kelompok bakteri dengan karakteristik pertumbuhan yang berbeda. Temuan ini sejalan dengan Mulyani et al. (2023) yang menyatakan bahwa variasi morfologi koloni merupakan salah satu indikator keberagaman mikroorganisme pada suatu lingkungan.

Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bahwa isolat yang diperoleh terdiri atas bakteri Gram positif dan Gram negatif yang didominasi oleh bentuk basil. Dominasi bentuk basil pada penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian mikrobiologi udara yang melaporkan bahwa bakteri berbentuk batang merupakan kelompok yang paling sering ditemukan pada bioaerosol lingkungan. Bakteri Gram positif tampak berwarna ungu karena mampu mempertahankan kompleks kristal violet-iodin akibat memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal pada dinding selnya. Sebaliknya, bakteri Gram negatif tampak berwarna merah muda karena lapisan peptidoglikannya lebih tipis sehingga tidak mampu mempertahankan pewarna utama setelah proses dekolonisasi. Perbedaan karakter tersebut menjadi dasar dalam proses identifikasi awal bakteri yang ditemukan pada penelitian ini (Al-Shaarani & Pecoraro, 2024).

Identifikasi lebih lanjut dilakukan melalui serangkaian uji biokimia yang meliputi uji katalase, TSIA, SIM, dan Simmons Citrate. Hasil uji katalase menunjukkan bahwa sebagian besar isolat

memberikan reaksi positif yang ditandai dengan terbentuknya gelembung setelah penambahan hidrogen peroksida. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar bakteri memiliki kemampuan menghasilkan enzim katalase untuk menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Kemampuan ini merupakan mekanisme pertahanan penting bagi bakteri aerob dalam menghadapi stres oksidatif di lingkungan terbuka. Dominasi hasil katalase positif menunjukkan bahwa sebagian besar bakteri yang ditemukan merupakan bakteri lingkungan yang mampu bertahan pada kondisi dengan paparan oksigen yang tinggi (Yuan et al., 2021; Xie et al., 2024).

Hasil uji TSIA menunjukkan bahwa mayoritas isolat memiliki pola K/A yang mengindikasikan kemampuan memfermentasi glukosa, sedangkan beberapa isolat menunjukkan pola A/A yang menandakan kemampuan memfermentasi lebih dari satu jenis karbohidrat. Tidak ditemukannya produksi H_2S pada sebagian besar isolat menunjukkan bahwa reduksi senyawa sulfur bukan merupakan karakter utama bakteri yang ditemukan. Hasil uji SIM memperlihatkan bahwa sebagian besar isolat bersifat indol negatif dan hanya sebagian kecil yang menunjukkan motilitas maupun produksi H_2S . Sementara itu, uji Simmons Citrate menunjukkan bahwa beberapa isolat mampu memanfaatkan sitrat sebagai sumber karbon tunggal. Variasi hasil pengujian tersebut menunjukkan adanya keragaman kemampuan metabolisme pada bakteri yang ditemukan di udara lingkungan.

Berdasarkan kombinasi hasil morfologi koloni, pewarnaan Gram, dan pengujian biokimia, isolat yang diperoleh mengarah pada tiga kelompok bakteri utama, yaitu *Bacillus* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Pseudomonas* sp. Kelompok *Bacillus* sp. didominasi oleh bakteri berbentuk basil Gram positif, katalase positif, serta memiliki kemampuan bertahan hidup yang tinggi melalui pembentukan endospora. Kemampuan tersebut menyebabkan *Bacillus* sering ditemukan pada udara, tanah, dan debu. Sementara itu, *Acinetobacter* sp. diduga berasal dari isolat berbentuk kokobasil Gram negatif yang bersifat non-motil dan tidak menghasilkan indol. Adapun *Pseudomonas* sp. dicirikan oleh bentuk basil Gram negatif, motil, katalase positif, serta mampu memanfaatkan sitrat sebagai sumber karbon. Keberadaan ketiga kelompok bakteri tersebut menunjukkan bahwa komunitas mikroorganisme udara pada lokasi penelitian berasal dari berbagai sumber lingkungan dan dipengaruhi oleh aktivitas manusia serta kondisi fisik lingkungan sekitar (Al-Shaarani & Pecoraro, 2024; Milligan et al., 2023; Chauhan et al., 2023). Namun demikian, identifikasi yang dilakukan pada penelitian ini masih bersifat identifikasi fenotipik sehingga diperlukan analisis molekuler, seperti sekuensing gen 16S rRNA, untuk memastikan identitas bakteri hingga tingkat spesies.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi sampling berpengaruh terhadap kepadatan mikroorganisme udara, karakteristik morfologi koloni, serta jenis bakteri yang ditemukan. Gerbang 1 merupakan lokasi dengan tingkat kontaminasi mikrobiologi udara tertinggi, sedangkan komunitas bakteri yang ditemukan didominasi oleh kelompok *Bacillus* sp., dengan indikasi keberadaan *Acinetobacter* sp. dan *Pseudomonas* sp. Temuan ini menunjukkan bahwa udara berperan sebagai media penting dalam penyebaran mikroorganisme lingkungan dan kualitas mikrobiologi udara sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia serta kondisi lingkungan setempat (Lee et al., 2024; Duan et al., 2024).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisis kualitas mikrobiologi udara berdasarkan kepadatan dan karakteristik bakteri menggunakan metode *Passive Air Sampling*, dapat disimpulkan bahwa kepadatan mikroorganisme udara berbeda pada setiap lokasi pengambilan sampel. Lokasi dengan kepadatan mikroorganisme tertinggi ditemukan pada Gerbang 1, sedangkan kepadatan terendah ditemukan pada Gerbang 4. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dan aktivitas di sekitar lokasi pengambilan sampel memengaruhi jumlah mikroorganisme yang terdapat di udara.

Karakteristik bakteri yang berhasil diisolasi menunjukkan keragaman morfologi koloni dan karakter mikroskopis. Morfologi koloni yang dominan adalah berbentuk *circular*, berwarna putih hingga krem, memiliki margin *entire*, serta elevasi *raised* dan *convex*. Hasil pewarnaan Gram

menunjukkan adanya bakteri Gram positif dan Gram negatif dengan morfologi sel yang didominasi oleh bentuk basil dan sebagian kecil kokobasil.

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi koloni, pewarnaan Gram, dan pengujian biokimia, isolat bakteri yang diperoleh menunjukkan karakteristik yang mengarah pada kelompok *Bacillus* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Pseudomonas* sp. Ketiga kelompok bakteri tersebut merupakan bakteri lingkungan yang umum ditemukan pada udara terbuka dan diduga berasal dari tanah, debu, vegetasi, serta aktivitas manusia di sekitar lokasi penelitian.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas mikrobiologi udara pada lokasi penelitian dipengaruhi oleh kepadatan mikroorganisme dan keberagaman karakteristik bakteri yang terdapat di udara. Temuan ini dapat menjadi informasi dasar dalam pemantauan kualitas udara lingkungan serta pengembangan penelitian lanjutan terkait mikroorganisme udara dan potensi dampaknya terhadap kesehatan maupun kualitas lingkungan.

DEKLARASI PENULIS

Kontribusi Penulis. LS: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis formal, Investigasi, Kurasi data, Penulisan – draf asli; FSS: Supervisi, Metodologi, & Penyuntingan; PK, GEP, RS, NA, MNSR, & AF: Konseptualisasi, Kurasi data, & Penulisan.

Pendanaan. Penulis tidak menerima dana hibah atau dukungan finansial khusus dari lembaga pendanaan apa pun di sektor publik, komersial, maupun nirlaba untuk penelitian ini.

Konflik Kepentingan. Penulis menyatakan bahwa tidak ada potensi konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat memengaruhi hasil penelitian yang dilaporkan dalam naskah ini.

Pernyataan Penggunaan AI. Selama penyusunan naskah ini, penulis menggunakan ChatGPT untuk meningkatkan keterbacaan serta kualitas bahasa naskah, dan Mendeley sebagai alat pengolah data dan manajemen referensi. Setelah menggunakan alat-alat tersebut, penulis meninjau serta menyunting kembali isinya sesuai kebutuhan dan bertanggung jawab penuh atas seluruh isi publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdilah, F., & Kurniawan, K. (2022). Morphological characteristics of bir bacteria in mannitol salt agar medium. *Borneo Journal of Medical Laboratory Technology*, 5(1), 353-359.
- Al-Shaarani, A. A., & Pecoraro, L. (2024). A review of pathogenic airborne fungi and bacteria: unveiling occurrence, sources, and profound human health implication. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1428415.
- Andini, D. A., Rasyidah, R., & Mayasari, U. (2024). Isolation and Identification of Biosurfactantproducing Bacteria from the Aerobic Pond of Oil Palm Liquid Waste at PT. Aek Loba Plantation. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(4), 413–423.
- Andriana, Y., Wahyu Widodo, A. D., & Endraswari, P. D. (2023). A correlation between the number of airborne bacteria and fungi using the settle plate method with temperature and relative humidity at the clinical microbiology laboratory of Dr. Soetomo Regional General Hospital Surabaya, Indonesia. *Journal of Pure & Applied Microbiology*, 17(2).
- Asri,W.A., Siti, F., Iva, N. H., Yovano, P. R., Liss, D. D. A. (2024). Identifikasi mikroorganisme di lingkungan pada udara dalam laboratorium mikrobiologi. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*. 2(4) : 42- 47.
- Cahyaningrum, D., Sulistyawati, & Sari, H. T. M. (2025). Perbandingan metode sampling secara aktif dan pasif pada penentuan jumlah bakteri udara di lingkungan kerja. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 7(1), 57–65.
- Chauhan, M., Kimothi, A., Sharma, A., & Pandey, A. (2023). Cold adapted pseudomonas: ecology to biotechnology. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1218708.

- Chen, X., Kumari, D., & Achal, V. (2020). A review on airborne microbes: the characteristics of sources, pathogenicity and geography. *Atmosphere*, 11(9), 919.
- Duan, X., Shen, C., Chen, G., Deng, X., & Jones, P. (2024). Investigation of indoor airborne bacteria in the severe cold region in China: Genera, levels, and the influencing factors of concentration. *Indoor Air*, 2024(1), 8813703.
- Flowerday, C. E., Thalman, R., & Hansen, J. C. (2023). Twenty-year review of outdoor air quality in Utah, USA. *Atmosphere*, 14(10), 1496.
- Forbes, B. A., Sahm, D. F., & Weissfeld, A. S. (2022). *Bailey & Scott's diagnostic microbiology* (15th ed.). Elsevier.
- Indraswati, D. (2023). *Mikrobiologi Lingkungan*. Magetan: Poltekkes Kemenkes Surabaya.
- J. H. (2024). Synergistic effects of oxidative and acid stress on bacterial membranes of *Escherichia coli* and *Staphylococcus simulans*. *Communications Biology*, 7(1), 1161.
- Kanlaya, R., Subkod, C., & Thongboonkerd, V. (2024). A novel, simple and rapid assay to measure citrate level in bacterial culture for analysis of citrate consumption by bacteria. *Talanta Open*, 10, 100360.
- Karim, M., Hattah, D. K. A., Haris, H. H., & Churiani. (2024). Isolation and Identification of Bacteria in the Integrated Laboratory of the Faculty of Medicine, Universitas Muslim Indonesia. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1b), 428–433.
- Leboffe, M. J., & Pierce, B. E. (2022). *Microbiology: Laboratory theory and application* (5th ed.). *Morton Publishing Company*.
- Lee, H., Lee, B. G., Kim, Y. J., Shim, J. E., & Yeo, M. K. (2024). Assessment of airborne bacteria in the indoor of public-use facilities concentrated on influencing factors and opportunistic pathogenic bacteria. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 17(8), 1725-1738.
- Milligan, E. G., Calarco, J., Davis, B. C., Keenum, I. M., Liguori, K., Pruden, A., & Harwood, V. J. (2023). A systematic review of culture-based methods for monitoring antibiotic-resistant acinetobacter, aeromonas, and pseudomonas as environmentally relevant pathogens in wastewater and surface water. *Current Environmental Health Reports*, 10(2), 154-171.
- Mould, D. L., Finger, C. E., Conaway, A., Botelho, N., Stuut, S. E., & Hogan, D. A. (2024). Citrate cross-feeding by pseudomonas aeruginosa supports LasR Mutant Fitness. *mbio*, 15(2), e01278-23.
- Muhammad, A., & Widayati, S. (2024). Komparasi media kultur bakteri pemeriksaan angka kuman ruang pada metode settle plate. *Berkala Ilmiah Kedokteran dan Kesehatan Masyarakat*, 2(2).
- Mulyani, T., Zulfiqor, F. F., & Herliana, E. (2023). Analisis jumlah kandungan bakteri di udara pada ruang kerja industri tekstil. *EnviroSan*, 6(2), 40–45.
- Nurjanna, N., & Fajrihanif, A. (2016). Populasi dan pertumbuhan bakteri air tambak pada media Tryptic Soy Agar (Tsa) dari pabrikan yang berbeda. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 8(1), 71-73.
- Palalangan, Y., Islam, F., & Hairuddin, M. C. (2023). Kualitas mikrobiologi udara di ruang perawatan rumah sakit. *Banua: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 3(1), 7–14.
- Palulun, P., Yoeke, D. R., Nasrum, M., Rizalinda, S., Sudirman, K., Ilhamjaya, P. (2024). Identification of airborne aerobic bakteri in the intensive care room using Maldi-Tof MS. *Journal of Environmental Health*, 16 (1) : 68-75.
- Ramadani, Y., Rahmawati, S., Nurhidayah, N., & Wahyudin, W. (2025). Analisis kualitas bakteriologis udara di permukiman masyarakat Dusun Lendang Batu Sekitar TPA Jugil Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Reka Lingkungan*, 13(2), 205-217.

- Shaarani, A. A., & Pecoraro, L. (2024). A review of pathogenic airborne fungi and bacteria: unveiling occurrence, sources, and profound human health implication. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1428415.
- Srisantyorini, T. (2025). *Analisis kualitas udara: dampak terhadap lingkungan dan kesehatan*. Solok: Mafy Media Literasi Indonesia.
- Vebriani, H., Juliani, I., Karina, K., Junita, J., & Helmi, H. (2023). Identifikasi bakteri dan fungi udara pada pusat perbelanjaan di Pangkal Pinang. *Ekotonia: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi dan Mikrobiologi*, 8(1), 38–47.
- Wadhwa, N., & Berg, H. C. (2022). Bacterial motility: Machinery and mechanisms. *Nature Reviews Microbiology*, 20(3), 161–173.
- White, A. N., Learman, B. S., Brauer, A. L., & Armbruster, C. E. (2021). Catalase activity is critical for proteus mirabilis biofilm development, extracellular. Polymeric substance composition, and dissemination during catheter-associated urinary tract infection. *Infection and Immunity*, 89(10).
- Xie, M., Koch, E. H., Walree, C. A. V., Sobota, A., Sonnen, A. F., Killian, J. A., & Lorent, Yuan, F., Yin, S., Xu, Y., Xiang, L., Wang, H., Li, Z., & Pan, G. (2021). The richness and diversity of catalases in bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 12, 645477.