

Pemanfaatan Eco-enzyme Sebagai Inovasi Pengendalian Mikrobiologis Udara Dalam Ruang

Zaenab*, Nurfitriani Azizah

Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Makassar

*Corresponding author: zaenab@poltekkes-mks.ac.id

Info Artikel: Diterima bulan Januari 2025 ; Disetujui 2025 bulan April 2025 ; Publikasi 2025 bulan juni

ABSTRACT

Indoor air contaminated by microorganisms such as bacteria can cause health problems, particularly respiratory infections. The use of eco-enzyme as a natural disinfectant offers an environmentally friendly alternative to control airborne germ counts. This study aimed to determine the effectiveness of eco-enzyme at concentrations of 15%, 20%, and 25% in reducing indoor airborne germ counts. The research employed a Quasi-Experimental method with a Pre-Post Test Control Group design. Samples were taken from three classrooms at SMA Negeri 12 Makassar using a random sampling method. The tested eco-enzyme concentrations were 15%, 20%, and 25%, with a contact time of 1 hour. Data were analyzed using a One-Way ANOVA test. The results showed a significant reduction in airborne germ counts at all concentrations: 15% reduced by 14%, 20% by 24%, and 25% by 76%. Meanwhile, the control group experienced an increase in germ count of 27%. Statistical analysis revealed a significant difference, with the 25% concentration being the most optimal (p -value $0.0001 < 0.05$). Eco-enzyme at a concentration of 25% was proven to be effective in reducing airborne germ counts and has the potential to serve as a natural, environmentally friendly disinfectant. This study had several limitations, including the use of a simple application method (manual sprayer) and a limited number of samples. Therefore, further research is recommended using a dry mist application method and a larger sample size for broader coverage.

Keywords : Eco-enzyme; Natural Disinfectant; Airborne Germ Count; Indoor Air

ABSTRAK

Udara dalam ruang yang tercemar oleh mikroorganisme seperti bakteri dapat menyebabkan masalah kesehatan, terutama infeksi saluran pernapasan. Pemanfaatan eco-enzyme sebagai disinfektan alami menjadi alternatif ramah lingkungan untuk mengendalikan angka kuman udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas eco-enzyme dengan konsentrasi 15%, 20%, dan 25% dalam menurunkan angka kuman udara dalam ruang. Metode penelitian menggunakan Quasi Eksperimen dengan desain Pre-Post Test Control Group. Sampel diambil dari tiga ruang kelas di SMA Negeri 12 Makassar menggunakan metode random sampling. Konsentrasi eco-enzyme yang diuji adalah 15%, 20%, dan 25%, dengan waktu kontak selama 1 jam. Data dianalisis menggunakan uji One-Way ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan penurunan angka kuman udara signifikan pada semua konsentrasi: 15% menurunkan sebesar 14%, 20% sebesar 24%, dan 25% sebesar 76%. Sementara kelompok kontrol mengalami peningkatan angka kuman sebesar 27%. Analisis statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan, dengan konsentrasi 25% sebagai yang paling optimal (p value $0,0001 < 0,05$). Eco-enzyme konsentrasi 25% terbukti efektif menurunkan angka kuman udara dan berpotensi sebagai disinfektan alami ramah lingkungan. Penelitian ini memiliki keterbatasan, seperti penggunaan metode aplikasi sederhana (sprayer manual) dan jumlah sampel yang terbatas, sehingga disarankan penelitian lanjutan dengan metode dry mist dan cakupan sampel yang lebih luas.

Kata Kunci : Eco-enzyme; Disinfektan Alami; Angka Kuman Udara; Udara Dalam Ruang

PENDAHULUAN

Udara dalam ruang yang tercemar oleh mikroorganisme seperti bakteri dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk infeksi saluran pernapasan dan alergi. Risiko ini semakin meningkat di lingkungan tertutup seperti ruang kelas, kantor, atau fasilitas umum. Di negara maju diperkirakan angka kematian per tahun karena pencemaran udara dalam ruang rumah sebesar 67% di pedesaan dan sebesar 23% di perkotaan, sedangkan di negara berkembang angka kematian terkait dengan pencemaran udara dalam ruang rumah daerah perkotaan sebesar 9% dan di pedesaan sebesar 1%¹. Di Indonesia, dari sepuluh penyakit dengan jumlah kasus tertinggi per 100.000 penduduk, empat di antaranya merupakan penyakit pernapasan. Seperti penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) mencatat 145 kejadian dengan 78,3 ribu kematian, kanker paru dengan 18 kejadian dan 28,6 ribu kematian, pneumonia dengan 5.900 kejadian dan 52,5 ribu kematian, dan asma dengan 504 kejadian dan 27,6 ribu kematian.

Sekolah sebagai tempat pembelajaran juga dapat menjadi ancaman penularan penyakit, jika tidak dikelola dengan baik². Pengaruh kondisi udara di dalam ruangan berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan dan kesehatan penghuni, khususnya di tempat umum seperti sekolah. Apabila pengguna ruangan menghabiskan waktu lebih dari 8 jam setiap hari di ruangan dengan udara yang tidak sehat, hal ini dapat mempengaruhi secara negatif terhadap kesehatan, kinerja, dan produktivitas³. Proses belajar mengajar berlangsung sekitar 8-10 jam per hari, memerlukan adaptasi interior untuk menyesuaikan dengan perubahan kebutuhan dan lingkungan sekitar bangunan, sehingga berpotensi meningkatkan pencemaran dalam ruangan, termasuk yang berasal dari

mikroorganisme⁴. Aktivitas penghuni di dalam ruangan juga dapat membawa bakteri dan menyebarkannya ke seluruh ruangan yang mengakibatkan udara di dalamnya terkontaminasi contohnya seperti berbicara, bersin dan batuk⁵. Sementara menurut Hasanah et al. (2020) keadaan-keadaan yang membuat jumlah orang yang menghabiskan waktu didalam ruangan, penggunaan bahan-bahan sintesis dan sarana energi konversi yang mampu menurunkan jumlah udara dalam suatu ruangan. Faktor seperti suhu, kelembapan, dan penggunaan disinfektan dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme di udara. Oleh karena itu, pengendalian kualitas mikrobiologis di dalam ruangan, disarankan untuk melakukan pengendalian bakteriologis dalam ruang⁷.

Salah satu upaya pengendalian bakteriologis dalam ruang yaitu dengan menggunakan eco-enzyme. Eco-enzyme memiliki beragam manfaat bagi lingkungan, khususnya dalam pengendalian kualitas udara⁸. Menurut Hasanah et al., (2020) eco-enzyme merupakan dapat digunakan sebagai bahan disinfektan berbasis limbah organik untuk mencegah penyebaran virus Covid-19. Selain itu, eco-enzyme dapat menetralsir berbagai polutan yang mencemari lingkungan⁹. Pembuatan eco-enzyme ini membutuhkan waktu fermentasi selama tiga bulan dengan bahan yang digunakan yaitu sampah kulit buah atau sayuran, air dan gula¹⁰. Penelitian terdahulu Chamida (2022) terkait eco-enzyme sebagai disinfektan dengan waktu kontak 30 menit menghasilkan penurunan jumlah kuman udara sebesar 32,66% pada kelompok kontrol, sementara pada kelompok perlakuan rata-rata penurunannya mencapai 9,25%. Penelitian tersebut menunjukkan penurunan angka kuman udara sehingga diindikasikan eco-enzyme mampu untuk menurunkan angka kuman udara. Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah peneliti menggunakan waktu kontak selama 1 jam dengan konsentrasi eco-enzyme 15%, 20%, dan 25%. Pemilihan waktu kontak ini didasarkan pada pertimbangan bahwa senyawa aktif dalam eco-enzyme seperti asam asetat, fenolik, dan enzim alami membutuhkan waktu yang cukup untuk merusak struktur dinding sel mikroorganisme secara efektif. Selain itu, waktu kontak lebih lama diharapkan mampu memberikan waktu yang cukup bagi senyawa aktif untuk bekerja secara maksimal terhadap mikroorganisme di udara. Pilihan waktu kontak ini juga mempertimbangkan efisiensi aplikasi di ruang publik seperti ruang kelas tanpa mengganggu aktivitas penghuni secara signifikan. Sehingga diasumsikan bahwa semakin tinggi konsentrasi dan lama waktu kontak eco-enzyme yang digunakan, maka semakin besar potensi penurunan angka kuman udara dalam ruang yang dihasilkan.

Efektivitas eco-enzyme dalam mengendalikan bakteriologis udara dalam ruang melalui penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan metode pengendalian pencemaran udara yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini juga diharapkan menjadi bahan masukan bagi instansi Kesehatan dalam pengendalian kualitas udara dalam ruang dengan menggunakan disinfektan alami serta sebagai penunjang bagi masyarakat dalam mengimplementasikan salah satu manfaat eco-enzyme sebagai inovasi produk dalam pengendalian bakteriologis udara dalam ruang yang ramah lingkungan.

MATERI DAN METODE

Jenis Penelitian menggunakan metode *Quasy Eksperimen* berupa *Pre-Post Test Control Group Design* di mana eksperimen dalam penelitian akan dilakukan uji terhadap eco-enzyme dengan menggunakan konsentrasi 15%, 20%, dan 25% dan waktu kontak selama 1 jam dengan replikasi sebanyak 3 kali setiap konsentrasi. Konsentrasi yang dipilih berdasarkan acuan dari studi pendahuluan dan referensi literatur yang menunjukkan bahwa rentang konsentrasi tersebut berada dalam kisaran aman dan aplikatif sebagai disinfektan alami untuk penggunaan dalam ruang tertutup. Pemilihan waktu kontak ini didasarkan pada pertimbangan bahwa senyawa aktif dalam eco-enzyme seperti asam asetat, fenolik, dan enzim alami membutuhkan waktu yang cukup untuk merusak struktur dinding sel mikroorganisme secara efektif. Lokasi pengambilan sampel angka kuman udara dalam penelitian adalah ruang kelas yang berlokasi di SMA Negeri 12 Makassar dan pemeriksaan angka kuman udara dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Jurusan Kesehatan Lingkungan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah eco-enzyme dengan konsentrasi 15%, 20%, dan 25%. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu angka kuman udara. Sementara variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu suhu dan kelembapan. Dalam mengontrol variabel suhu dan kelembapan selama penelitian berlangsung, peneliti melakukan pengukuran awal dan akhir terhadap suhu dan kelembapan ruangan menggunakan alat hygrometer. Pengukuran dilakukan setiap kali sebelum dan sesudah aplikasi eco-enzyme pada masing-masing ruang perlakuan dan kontrol.

Populasi dalam penelitian adalah angka kuman udara pada ruang kelas di SMA Negeri 12 Makassar dengan jumlah total ruang kelas sebanyak 32 ruangan. Pengambilan sampel dalam penelitian menggunakan metode random sampling untuk memastikan setiap ruang kelas memiliki peluang yang sama untuk terpilih sebagai sampel penelitian. Dari populasi tersebut, dipilih tiga ruang kelas sebagai sampel berdasarkan ketersediaan ruang yang homogen secara fisik dan logistik, seperti ukuran ruangan, intensitas aktivitas siswa, serta kondisi ventilasi dan pencahayaan alami yang relatif serupa. Pemilihan tiga ruang ini juga mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan efisiensi waktu serta laboratorium, mengingat penelitian ini bersifat eksperimental dengan desain *Pre-Post Test Control Group* yang membutuhkan pengulangan dan kontrol variabel lingkungan

Sampel dalam penelitian ini yakni angka kuman udara yang dihitung dalam media *plate count agar*. Ruang kelas yang menjadi lokasi objek pengambilan sampel angka kuman udara yaitu ruang kelas X MIPA 4, X IPS 1 dan XII MIPA 5 yang akan diberi eco-enzyme dengan menggunakan sprayer, sementara ruangan yang menjadi kelompok kontrol dalam penelitian ini adalah ruangan XII MIPA 6. Pengambilan sampel udara dalam penelitian ini dilakukan menggunakan media *Plate Count Agar (PCA)*. Setiap cawan petri dibiarkan terbuka selama 15 menit pada ketinggian ± 1 meter dari lantai, yang mewakili tinggi pernapasan manusia, sesuai standar teknik sampling mikrobiologis udara dalam ruang. Setelah itu, cawan ditutup kembali, diberi label, dan diinkubasi di laboratorium Mikrobiologi Jurusan Kesehatan Lingkungan pada suhu 37°C selama 24–48 jam sebelum dihitung jumlah koloninya dalam satuan CFU/m^3 . Data diolah dengan dan dianalisis dengan *Uji One Way ANOVA* dengan dasar pengambilan keputusan jika nilai *p value* $< 0,05$ maka dinyatakan berpengaruh.

HASIL

Pelaksanaan uji eco-enzyme dalam penelitian ini menggunakan konsentrasi 10%, 15% dan 25% dengan waktu kontak selama 1 jam. Sementara pH eco-enzyme menunjukkan nilai pH 4,2 yang diindikasikan termasuk kategori pH asam. Hasil penelitian diperoleh sebagai berikut:

Pemanfaatan Eco-enzyme Konsentrasi 15%

Tabel 1. Pemeriksaan Angka Kuman Udara Menggunakan Eco-enzyme Konsentrasi 15%

No	Kelompok Perlakuan (Replikasi)	Hasil Pemeriksaan (CFU/m^3)	
		Sebelum	Setelah
1	R1	782	629
2	R2	821	691
3	R3	621	547
	Jumlah	2.224	1.867
	Rerata	741	622

Sumber : *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan eco-enzyme konsentrasi 15% dengan rerata sebelum perlakuan sebanyak $741 \text{ CFU}/\text{m}^3$ dan setelah perlakuan sebanyak $622 \text{ CFU}/\text{m}^3$.

Pemanfaatan Eco-enzyme Konsentrasi 20%

Tabel 2. Pemeriksaan Angka Kuman Udara Menggunakan Eco-enzyme Konsentrasi 20%

No	Kelompok Perlakuan (Replikasi)	Hasil Pemeriksaan (CFU/m^3)	
		Sebelum	Setelah
1	R1	891	713
2	R2	743	628
3	R3	887	576
	Jumlah	2.521	1.917
	Rerata	840	639

Sumber : *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan pengaruh eco-enzyme dengan rerata sebelum perlakuan sebanyak $840 \text{ CFU}/\text{m}^3$ sedangkan setelah perlakuan sebanyak $639 \text{ CFU}/\text{m}^3$.

Pemanfaatan Eco-enzyme Konsentrasi 25%

Tabel 3. Pemeriksaan Angka Kuman Udara Menggunakan Eco-enzyme Konsentrasi 25%

No	Kelompok Perlakuan (Replikasi)	Hasil Pemeriksaan (CFU/m^3)	
		Sebelum	Setelah
1	R1	702	217
2	R2	773	196
3	R3	716	118
	Jumlah	2.191	531
	Rerata	730	177

Sumber : *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan pengaruh eco-enzyme dengan rerata sebelum perlakuan sebanyak 730 CFU/m³ sedangkan setelah perlakuan sebanyak 177 CFU/m³.

Pemeriksaan Terhadap Kelompok Kontrol

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Angka Kuman Udara Kelompok Kontrol

No	Kelompok Perlakuan (Replikasi)	Hasil Pemeriksaan (CFU/m ³)	
		Sebelum	Setelah
1	R1	701	897
2	R2	693	901
3	R3	792	982
Jumlah		2.186	2.780
Rerata		728	927

Sumber : *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan rerata sebelum perlakuan sebanyak 728 CFU/m³ sedangkan setelah perlakuan sebanyak 927 CFU/m³.

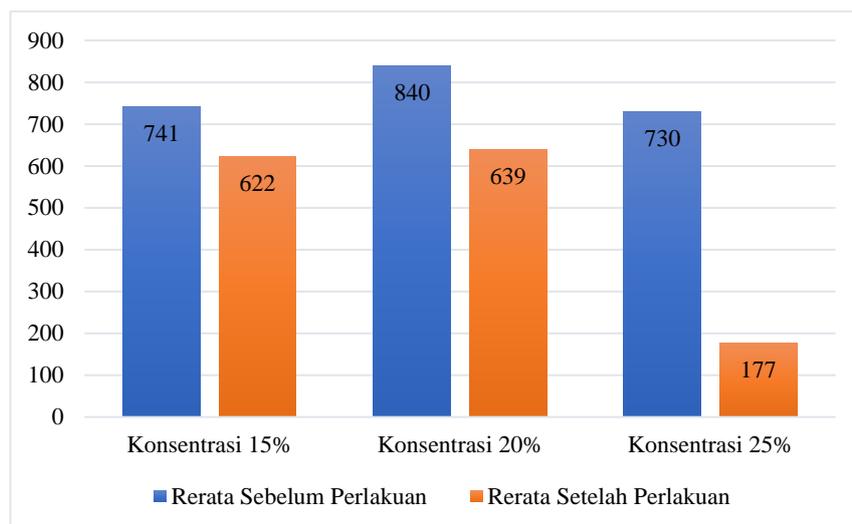
Perbandingan Hasil Eco-enzyme Konsentrasi 15%, 20%, dan 25% Terhadap Penurunan Angka Kuman Udara

Tabel 4. Perbandingan Hasil Eco-enzyme Konsentrasi 15%, 20%, 25% dan Kelompok Kontrol Terhadap Penurunan Angka Kuman Udara

No	Kelompok Perlakuan	Rerata Sebelum (CFU/m ³)	Rerata Setelah (CFU/m ³)	Penurunan	Persentase (%)
1	Eco-enzyme konsentrasi 15%	741	622	119	14
2	Eco-enzyme konsentrasi 20%	840	639	201	24
3	Eco-enzyme konsentrasi 25%	730	177	553	76

Sumber : *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan perbandingan angka kuman udara pada setiap konsentrasi mengalami penurunan dengan penurunan yang memiliki pengaruh optimal pada konsentrasi 25%. Grafik perbandingan angka kuman udara sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik Perbandingan Hasil Eco-enzyme Terhadap Penurunan Angka Kuman Udara

Pengukuran Suhu Ruangan

Tabel 5. Hasil Pengukuran Suhu Ruangan

No	Kelompok Perlakuan	Hasil Pengukuran			Rerata
		R1	R2	R3	
1	Ruang 1 (15%)	25 °c	27 °c	26 °c	26 °c
2	Ruang 2 (20%)	30 °c	26 °c	25 °c	27 °c
3	Ruang 3 (25%)	23 °c	25 °c	24 °c	24 °c
4	Ruang 3 (Kontrol)	26 °c	28 °c	26 °c	27 °c

Sumber : *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan rerata suhu ruangan pada perlakuan yaitu pada ruangan 1 dengan rerata suhu 26 °c, ruangan 2 dengan rerata suhu 27°c, dan ruangan 3 dengan rerata suhu 24 °c dan ruang 4 dengan rerata 27 °c.

Pengukuran Kelembapan Ruangan

Tabel 6. Hasil Pengukuran Kelembapan Ruangan

No	Kelompok Perlakuan	Hasil Pengukuran			Rerata
		R1	R2	R3	
1	Ruang 1 (15%)	80%	77%	81%	79%
2	Ruang 2 (20%)	75%	80%	79%	78%
3	Ruang 3 (25%)	70%	74%	75%	73%
4	Ruang 4 (Kontrol)	77%	80%	79%	79%

Sumber: *Data Primer, 2024*

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan bahwa rerata kelembapan ruangan pada perlakuan dalam penelitian ini yaitu pada ruangan 1 dengan rerata 79%, ruangan 2 dengan rerata 78% dan ruangan 3 dengan rerata 73% serta ruangan 4 dengan rerata 79%.

Hasil Uji Statistik Eco-enzyme Konsentrasi 15%, 20%, 25% dan Kelompok Kontrol Terhadap Penurunan Angka Kuman UdaraTabel 7. Hasil Uji *One-Way* Anova

Hasil Perlakuan	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	<i>p value</i>
Between Group	1059248.958	7	151321.280	32.017	.001
Within Group	75620.000	16	4726.250		
Total	1134868.958	23			

Sumber : *Data Primer, 2024*

Tabel 7 menunjukkan nilai *p value* sebesar $0,001 < 0,05$ sehingga dinyatakan rerata kelompok perlakuan dalam penelitian ini memiliki perbedaan yang signifikan.

Tabel 8. Hasil Uji *Post Hoc Tukey HSD*

Kelompok Perlakuan	Mean Difference	<i>p value</i>
Pre <i>Eco-enzyme</i> 15%	Post <i>Eco-enzyme</i> 15%	119.000 .443
Pre <i>Eco-enzyme</i> 20%	Post <i>Eco-enzyme</i> 20%	201.333* .040
Pre <i>Eco-enzyme</i> 25%	Post <i>Eco-enzyme</i> 25%	553.333* .0001
Pre Kontrol	Post Kontrol	-198.000* .044

Sumber : *Data Primer, 2024*

Tabel 8 menunjukkan uji *Post Hoc Tukey HSD* dalam penelitian ini menunjukkan variasi eco-enzyme dengan konsentrasi 25% menunjukkan nilai *p value* $0,0001 < 0,05$ yang mengindikasikan bahwa konsentrasi tersebut memiliki pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan dengan kelompok konsentrasi lain.

PEMBAHASAN

Penggunaan produk desinfektan berbahan kimia berpotensi mengakibatkan gangguan kesehatan dan pencemaran lingkungan¹¹. Sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan pemanfaatan bahan alami dari sampah organik yaitu eco-enzyme. Eco-enzyme yang terbuat dari bahan-bahan alami, dapat membantu masyarakat dalam mengurangi pemakaian bahan-bahan pembersih yang berbahaya tersebut¹². Eco-enzyme dapat dimanfaatkan sebagai disinfektan untuk pembersih udara dan menghilangkan bau serta partikel beracun yang ada di udara¹³. Selain itu, warna eco-enzyme bervariasi dari coklat muda hingga coklat tua, bergantung pada jenis sisa buah atau sayuran dan jenis gula yang digunakan¹⁴. Penelitian terkait pemanfaatan eco-enzyme ini menunjukkan peningkatan konsentrasi eco-enzyme secara langsung berkorelasi dengan efektivitas dalam menurunkan angka kuman udara. Pada konsentrasi 15%, terjadi penurunan angka kuman sebesar 119 CFU/m³, sedangkan pada konsentrasi 20% penurunan meningkat menjadi 201 CFU/m³ sementara konsentrasi tertinggi, yaitu 25%, menunjukkan penurunan angka kuman yang paling signifikan, sebesar 553 CFU/m³. Penelitian ini mengindikasikan konsentrasi yang lebih tinggi mampu memberikan efek desinfeksi yang lebih optimal. Sejalan dengan penelitian Sawitri et al., (2024) menunjukkan eco-enzyme limbah kulit buah asam dengan konsentrasi 5% dapat menurunkan angka kuman sebesar 35,43% sedangkan eco-enzyme dari limbah kulit buah manis dengan konsentrasi 5% dapat menurunkan angka kuman sebesar 53,33%. Sejalan pula dengan Imelda (2021) eco-enzyme sebagai Multipurpose Cleaner menunjukkan semakin sedikit pertumbuhan mikroorganisme dalam produk setelah penambahan larutan bahan aktif eco-enzyme. Sehingga temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa eco-enzyme dapat dimanfaatkan sebagai inovasi dalam pengendalian biologis dalam ruang, karena memiliki kemampuan dalam menurunkan angka kuman udara¹⁷.

Penurunan angka kuman udara dengan pemanfaatan eco-enzyme berkaitan dengan kandungan aktif dalam eco-enzyme seperti fenolik, asam asetat, dan enzim alami, termasuk bromelin pada kulit nanas¹⁸. Senyawa ini diketahui mampu merusak dinding sel mikroorganisme, menghambat pertumbuhan, dan menyebabkan kematian bakteri. Senyawa fenolik memiliki sifat bakterisida melalui denaturasi protein pada membran bakteri, sedangkan enzim bromelin dapat menghidrolisis protein membran sel mikroorganisme sehingga mengganggu fungsi vitalnya¹⁹. Selain itu, keterkaitan pH eco-enzyme memiliki peranan dalam mekanisme antibakteri, hal ini dikarenakan keasaman ini berperan penting dalam mekanisme kerja antibakteri eco-enzyme. Salah satu komponen utama dalam eco-enzyme adalah asam asetat (CH₃COOH) yang terbentuk selama proses fermentasi limbah organik. Asam asetat bekerja dengan cara menembus dinding sel bakteri dan menyebabkan disrupsi pada membran plasma, sehingga terjadi kebocoran isi sel dan gangguan fungsi enzim intraseluler²⁰. Lingkungan asam juga menyebabkan denaturasi protein dan penghambatan replikasi DNA mikroorganisme. Dalam kondisi pH rendah, seperti pada pH 4,2, bakteri patogen terutama bakteri gram negatif akan mengalami hambatan pertumbuhan secara signifikan, bahkan kematian sel. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nurafina et al., (2021) yang mengemukakan bahwa kandungan dalam eco-enzyme adalah Asam Asetat (CH₃COOH) juga dapat membunuh kuman, virus, dan bakteri. Selain itu, kandungan saponin menyebabkan kerusakan pada bakteri karena kemampuannya mendegradasi dinding sel yang diikuti oleh gangguan membran sitoplasma dan protein membran. Kemampuan saponin tersebut menyebabkan kebocoran isi sel bakteri sehingga terjadi kematian sel²².

Kelompok kontrol yang tidak diberi perlakuan eco-enzyme mengalami peningkatan angka kuman udara sebesar 199 CFU/m³. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa perlakuan, kondisi lingkungan, termasuk suhu dan kelembapan ruangan, dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, peningkatan ini dapat terjadi akibat kondisi lingkungan mikrobiologis dalam ruangan, khususnya kelembapan udara yang terukur dalam rentang 73–79%, yaitu berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme mesofilik. Menurut Ginting et al. (2022) kelembapan udara di atas 60% secara signifikan berkontribusi terhadap peningkatan koloni bakteri di udara karena memudahkan spora dan mikroorganisme bertahan hidup lebih lama di permukaan dan partikel aerosol. Kondisi ini menjelaskan mengapa angka kuman justru meningkat pada kelompok kontrol yang tidak mendapatkan perlakuan eco-enzyme²⁴. Selain itu, tidak adanya agen disinfektan atau perlakuan lain memungkinkan bakteri terus berkembang selama periode kontak berlangsung

Sebaliknya, pada ruangan dengan perlakuan eco-enzyme, terjadi penurunan angka kuman udara secara signifikan, terutama pada konsentrasi 25%, sementara uji statistik One-Way ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan dengan $p < 0,05$ antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan, terutama pada konsentrasi tertinggi. Penelitian juga menunjukkan bahwa eco-enzyme yang terbuat dari kulit buah jeruk (lemon, jeruk nipis

dan jeruk manis) memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Pseudomonas spp.*, *E.coli*, dan *Bacillus spp*²⁵. Sementara nilai pH dari eco-enzyme yaitu 4,2 yang mengindikasikan pH bersifat asam. Sejalan dengan Rochyani et al., (2020) nilai pH rendah eco-enzyme sebagai akibat dari kandungan asam organik yang tinggi seperti asam asetat atau asam sitrat.

Peningkatan konsentrasi eco-enzyme memberikan kemampuan yang lebih besar untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme dalam ruangan. Konsentrasi yang lebih tinggi menghasilkan efek desinfeksi yang lebih kuat karena meningkatkan ketersediaan senyawa aktif di udara. Dalam konteks ini, konsentrasi 25% dianggap optimal berdasarkan hasil penelitian, karena memberikan penurunan angka kuman yang signifikan tanpa memerlukan waktu kontak yang lebih lama. Sehingga pemanfaatan eco-enzyme konsentrasi 25% dapat digunakan sebagai pedoman untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat, terutama di ruangan dengan aktivitas tinggi dan sirkulasi udara terbatas. Faktor-faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan harus terus dipantau untuk memastikan bahwa efektivitas eco-enzyme dapat dimaksimalkan.

Pengukuran suhu dan kelembapan menunjukkan bahwa kondisi ruangan berada dalam rentang optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme mesofilik. Suhu rata-rata berkisar antara 26–29°C dan kelembapan berkisar antara 77–83%. Menurut Ginting et al., (2022) kontaminasi bakteri dalam ruangan seringkali merupakan akibat dari terbentuknya kelembapan. Apabila kelembapan ruangan di atas 60% akan menyebabkan berkembangnya organisme patogen maupun organisme yang bersifat alergen. Selain itu, senyawa-senyawa aktif dalam eco-enzyme mampu mengikat dan mengurangi molekul yang menyebabkan aroma tidak sedap akibat kelembapan yang tinggi, sehingga penggunaan eco-enzyme mampu membuat udara yang lebih segar dan bersih²⁷.

Penelitian ini menunjukkan bahwa eco-enzyme dengan konsentrasi 25% memiliki potensi besar sebagai disinfektan alami yang ramah lingkungan untuk pengendalian kualitas mikroorganisme udara. Penggunaannya relevan sebagai alternatif disinfektan kimia yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga membuka peluang untuk pengembangan eco-enzyme berbahan dasar kulit buah lain dengan kandungan aktif yang serupa. Selain itu, menurut Jannah et al., (2021) bahwa eco-enzyme ini tidak memiliki masa kadaluarsa sehingga aman untuk digunakan sebagai inovasi pengendalian biologis udara.

Dalam penelitian ini, penggunaan alat aplikasi eco-enzyme menggunakan sprayer manual menjadi salah satu keterbatasan, karena kemungkinan tidak merata dalam penyebaran partikel larutan di udara. Oleh karena itu, direkomendasikan metode aplikasi alternatif seperti *dry mist* yang diyakini dapat meningkatkan efisiensi distribusi partikel disinfektan di seluruh ruangan. Meskipun metode ini belum diuji secara langsung dalam penelitian ini, rekomendasi ini merujuk pada beberapa studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa teknologi *dry mist* mampu menghasilkan partikel aerosol halus berukuran mikron, yang lebih mudah tersebar dan bertahan di udara, sehingga meningkatkan peluang kontak antara partikel disinfektan dan mikroorganisme di udara. Sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk membandingkan efektivitas metode aplikasi manual dan *dry mist* dalam penyebaran eco-enzyme, sehingga dapat diperoleh data empiris yang lebih kuat. Selain itu, variasi konsentrasi di atas 25% dan waktu kontak lebih dari 1 jam perlu diuji untuk mengevaluasi potensi maksimumnya dalam menurunkan angka kuman udara. Penelitian lebih lanjut juga perlu mempertimbangkan analisis mikrobiologis mendetail, seperti identifikasi spesies mikroorganisme udara yang paling rentan terhadap perlakuan eco-enzyme. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat memberikan panduan yang lebih spesifik untuk aplikasi eco-enzyme dalam pengendalian kualitas udara di berbagai jenis ruangan.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa eco-enzyme dengan konsentrasi 25% memiliki pengaruh yang lebih signifikan dalam menurunkan angka kuman udara dibandingkan konsentrasi yang lebih rendah, yaitu 15% dan 20%. Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, di antaranya adalah jumlah sampel yang relatif kecil (hanya tiga ruang kelas dari total populasi 32 kelas), serta penggunaan metode aplikasi sederhana (sprayer manual) yang berpotensi memengaruhi distribusi eco-enzyme di udara secara tidak merata. Sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan jumlah sampel yang lebih besar dan mempertimbangkan metode aplikasi yang lebih merata seperti *dry mist*. Selain itu, pengujian dengan variasi konsentrasi di atas 25% dan waktu kontak lebih lama juga penting dilakukan guna memperoleh hasil yang lebih optimal dan generalisabel. Disarankan pula agar masyarakat mulai memanfaatkan eco-enzyme sebagai alternatif disinfektan ramah lingkungan dalam pengendalian bakteriologi udara, terutama di ruang-ruang dengan aktivitas tinggi dan sirkulasi terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Handayani E. Analisis Risiko Mikrobiologi Udara Dalam Ruang pada Puskesmas di Kota Semarang. Karya Tulis Ilmiah. 2020. p. 1–4.

2. Yuliarti OA, Cahyono T, Mulyasari TM. Faktor Yang Berhubungan Dengan Angka Kuman Udara di SD Negeri Kecamatan Baturraden. *Buletin Keslingmas*. 2020;39(1):13–22.
3. Putri E, Hedy S, Purnama CI, Studi P, Interior D, Petra UK. Studi Kualitas Udara Dalam Ruang (Indoor Air Quality) ada Ruang Kelas Sekolah Bangunan Cagar Budaya di Surabaya. *Dimensi Interior*. 2016;14(2):65–71.
4. Ramadhoni S. Analisis Faktor Risiko Kualitas Udara Dalam Ruang Terhadap Gangguan Kesehatan di Kawasan Permukiman Kota Surabaya. Universitas Islm Negeri Sunan Ampel; 2023.
5. Nilandita W, Munfarida I. Analisis Hubungan Suhu Dan Kelembaban Dengan Angka Kuman Udara Di Gedung MA Sunan Ampel Surabaya. 2024;01.
6. Hasanah Y, Mawarni L, Hanum H. Eco Enzyme and Its Benefit For Organic Rice Production and Disinfectant. *Journal of Saintech transfer*. 2020;III(2):119–28.
7. Ekoprodjo HS, Wibowo M. Eco Enzyme As a Means of Environmental Conservation Education in Understanding Events 2:15. *International Journal of Education, Information Technology and Others (IJEIT)*. 2024;7(April):17–23.
8. Nafilah DU, Rahmawati F, Tafrikan M, Khasanah N. Making A Multi Purpose Liquid (Eco-Enzyme) as An Alternative for Prosesing Household Organic Waste and Reviewing Its Benefits. *Jurnal Pengabdian KOLABORATIF*. 2024;2(2):17.
9. Harisal, Astuti NWW, Yulianthi AD, Dewi NWS, Solihin. Peningkatan Protokoler Kesehatan untuk Daerah Tujuan Wisata dengan Pelatihan Pembuatan Eco Enzyme sebagai Desinfektan di Temukus, Rendang, Karangasem. *Bhakti Persada*. 2022;8(2):125–33.
10. Zultaqawa Z, Firdaus IN, Aulia MD, Sipil JT, Indonesia UK, Raya SB, et al. Manfaat eco enzyme pada lingkungan. *CRANE : Civil Engineering Research Journal*. 2023;4(2):10–4.
11. Nurdin N, Nasihin I, Herlina N, Supartono T, Kosasih D, Nurlaila A. Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Biohandsanitizer Dan Biodesinfektan Berbasis Eco-Community Untuk Mencegah Penyebaran Virus Corona. *Jurnal Berdaya Mandiri*. 2021;3(2):578–87.
12. Setyoningrum Y, Yuwono AA, ... Pemanfaatan Eco Enzyme Untuk Mendukung Ekonomi Sirkular &Penciptaan Lingkungan Hidup Sehat Yang Berkelanjutan. *Dikmas: Jurnal* 2024;04(1):7–18.
13. Yuliana S, Handayani D. Ecoenzyme Dregs with Organic Sources of Various Types of Orange Peel. *Serambi Biologi*. 2022;7(1):120–6.
14. Marliyah L, Lutfiaazahra A, Widayati S, Harini H, Islachuddin M, Sulistyowati E, et al. Pendampingan Pembuatan Eco-Enzyme Dari Limbah Organik Menjadi Produk Yang Bermanfaat Di Kelurahan Kandri, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang. *SANDIMAS: Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat*. 2024;1(1):230–40.
15. Sawitri DD, Rahmawati, Erminawati. Uji Efektivitas Cairan Eco Enzyme Sebagai Desinfektan Dalam Menurunkan Angka Kuman Pada Lantai di Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Ratu Zalecha Martapura. *Seroja Husada Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 2024;1(5):372–83.
16. Imelda D. Pembuatan Produk Multipurpose Cleaner Dengan Pemanfaatan Eco Enzyme Dari Limbah Kulit Buah Sebagai Bahan AKtif Natural Antimikroba. Pembuatan Produk Multipurpose Cleaner Dengan Pemanfaatan Eco Enzyme Dari Limbah Kulit Buah Sebagai Bahan Aktif Natural Antimikroba. 2021.
17. Vidalia C, Angelina E, Hans J, Field LH, Santo NC, Rukmini E. Eco-enzyme as disinfectant: a systematic literature review. *International Journal of Public Health Science*. 2023;12(3):1171–80.
18. Vidalia C, Angelina E, Hans J, Field LH, Santo NC, Rukmini E. Eco-enzyme as disinfectant: a systematic literature review. *International Journal of Public Health Science*. 2023;12(3):1171–80.
19. Abdullah NO, Zubair A, Mangarengi NAP, Rachman RM, Tumpu M, Djamaluddin D. Identification of eco enzyme characteristics from organic waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023;1268(1).
20. Benny N, Shams R, Dash KK, Pandey VK, Bashir O. Recent trends in utilization of citrus fruits in production of eco-enzyme. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;13(May):100657.
21. Nurafina E, Hasna A, Fillah A, Pawestri SD, Ulfah M. Potensi Kewirausahaan Mahasiswa Berbasis Pemanfaatan Ecoenzyme Limbah Kulit Buah Sebagai Air Purifier. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Entrepreneurshiiip*. 2021;63–6.
22. Irianto IDK, Purnomo K, Amanati A, Savila D, Mardiyarningsih A. Aktivitas Antibakteri Eco-Enzyme Limbah Citrus sinensis, Musa paradisiaca L. var Bluggoe, dan Kombinasinya terhadap *Staphylococcus aureus*. *Majalah Farmasetik*. 2023;19(4):504–13.

23. Ginting DB, Santosa I, Trigunarso SI. Pengaruh Suhu, Kelembaban Dan Kecepatan Angin Air Conditioner (AC) Terhadap Jumlah Angka Kuman Udara Ruangan. *Jurnal Analisis Kesehatan*. 2022;11(1):44.
24. Varshini B, Gayathri V. Role of Eco-Enzymes in Sustainable Development. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2023;22(3):1299–310.
25. Vama L, Cherekar MN. Production, extraction and uses of eco-enzyme using citrus fruit waste: wealth from waste. *Asian Jr of Microbiol Biotech Env Sc*. 2020;22(2):346–51.
26. Rochyani N, Utpalasari RL, Dahliana I. ANALISIS HASIL KONVERSI ECO ENZYME MENGGUNAKAN NENAS (*Ananas comosus*) DAN PEPAYA (*Carica papaya L.*). *Jurnal Redoks*. 2020;5(2):135.
27. Turangan LTJ, Riogilang H, Supit CJ. Pengaruh Penggunaan Eco-Enzyme Terhadap Kualitas Udara Di Tempat Pembuangan Akhir Sumompo Kota Manado. *Tekno*. 2024;22(88):1389–97.
28. Jannah M, Firdha N, Idrus HA, Farma SA. Organoleptic Test of Eco-Enzyme Products from Vegetable and Fruit Waste. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. 2021;1:198–205.