
RESPON CEPAT ATP BIOLUMINESSENSI TERHADAP STATUS KEBERSIHAN PADA BERBAGAI TIPE PERMUKAAN

Beth Sela Tambunan¹

¹Universitas Binawan

Email: bethsella@gmail.com

ABSTRAK: Pengelolaan penyakit yang efektif memerlukan penilaian cepat dan akurat terhadap kontaminasi lingkungan pada berbagai tipe permukaan, karena lingkungan terkontaminasi berpotensi menjadi reservoir patogen yang memicu penularan dan wabah. Meskipun bioluminesensi ATP memberikan umpan balik kebersihan secara instan, korelasi dengan kontaminasi mikroba langsung masih diperdebatkan, sehingga diperlukan evaluasi utilitasnya sebagai indikator higiene dan manajemen risiko. Penelitian ini menggunakan pengukuran ATP dengan swab Ultrasnap dan luminometer EnSURE pada area 100 cm² atau 25 cm², membandingkan Relative Light Unit dengan ambang batas kebersihan (<10 RLU/100 cm², ≥10–≤29 RLU/100 cm², >30 RLU/100 cm²) untuk mengidentifikasi hubungan kotoran organik dengan potensi mikroba viabel. Hasil menunjukkan ATP efektif mengindikasikan kontaminasi keseluruhan, dengan RLU tinggi menandakan substrat organik pendukung pertumbuhan mikroba, meskipun korelasi langsung dengan mikroba viabel bervariasi. Pengukuran ATP mendukung manajemen risiko proaktif melalui identifikasi cepat permukaan kotor dan pembersihan tepat waktu, sehingga direkomendasikan integrasi ke dalam protokol higiene luas, bukan sebagai indikator tunggal di lingkungan berisiko tinggi.

Kata Kunci: Bioluminesensi ATP, Higiene Lingkungan, Kontaminasi Mikroba, Pengelolaan Risiko, Penilaian Cepat, Pembersihan Permukaan.

ABSTRACT: *Effective disease management requires rapid and accurate assessment of environmental contamination on various surface types, as contaminated environments can potentially serve as pathogen reservoirs that trigger transmission and outbreaks. Although ATP bioluminescence provides instant hygiene feedback, the correlation with direct microbial contamination remains debated, necessitating an evaluation of its utility as a hygiene indicator and risk management tool. This study utilized ATP measurements with Ultrasnap swabs and EnSURE luminometer on areas of 100 cm² or 25 cm², comparing Relative Light Units with cleanliness thresholds to identify the relationship between organic dirt and viable microbial potential. Results demonstrate that ATP effectively indicates overall contamination, with high RLU signaling organic substrates that support microbial growth, although direct correlation with viable microbes varies. ATP measurements support proactive risk management through rapid identification of dirty surfaces and timely cleaning, recommending integration into broad hygiene protocols rather than as a standalone indicator in high-risk environments.*

Keywords: *ATP Bioluminescence, Environmental Hygiene, Microbial Contamination, Risk Management, Rapid Assessment, Surface Cleaning.*

A. PENDAHULUAN

Kesehatan masyarakat sangat bergantung pada praktik higiene lingkungan yang efektif, terutama dalam mencegah penyebaran penyakit melalui kontaminasi permukaan¹. Di konteks pemukiman dan perkotaan, higiene lingkungan yang baik menjadi fondasi utama bagi kualitas hidup dan kesehatan optimal². Lingkungan yang terkontaminasi berfungsi sebagai reservoir mikroorganisme patogen, memfasilitasi transmisi silang, dan berpotensi memicu wabah³. Studi epidemiologi menyediakan kerangka untuk memahami pola, penyebab, serta faktor risiko penyakit menular, sehingga mendukung strategi pencegahan dan pengendalian yang efektif^{4,5}. Oleh karena itu, penilaian kebersihan permukaan yang cepat dan akurat sangatlah krusial untuk manajemen risiko proaktif di berbagai macam sektor. Manajemen higiene dan sanitasi berperan sentral dalam mencegah penularan penyakit, menghindari pencemaran lingkungan, serta menciptakan lingkungan kerja yang bersih dan sehat⁶.

Untuk memantau kebersihan secara efisien, metode bioluminesensi Adenosine Triphosphate telah menjadi pilihan populer. ATP merupakan molekul energi universal di sel hidup, termasuk bakteri, ragi, jamur, serta sisa organik dari makanan, cairan tubuh, atau kulit^{3,7}. Pengukurannya melibatkan reaksi ATP dengan enzim luciferase yang menghasilkan cahaya berbanding lurus dengan jumlah ATP⁸. Keunggulannya adalah hasil instan dalam detik, memungkinkan umpan balik cepat dan perbaikan prosedur pembersihan^{3,9}. Metode ini telah digunakan sejak 1980-an di industri makanan untuk verifikasi pembersihan dan kini meluas ke perawatan kesehatan^{8,10}.

Meskipun cepat, bioluminesensi ATP menuai perdebatan soal korelasi dengan kontaminasi mikroba langsung^{3,11}. Beberapa studi menemukan korelasi signifikan dengan mikroba viabel¹², tetapi banyak lainnya melaporkan hubungan lemah atau inkonsisten^{3,11-13}. Hal ini karena ATP mendeteksi semua materi organik, termasuk sel mati dan residu non-mikroba seperti serpihan kulit atau sisa makanan^{3,12,13}. Selain itu, kurangnya standarisasi ambang batas antar perangkat dan permukaan memperburuk isu ini^{10,11}. Akibatnya, ATP tidak boleh dijadikan indikator tunggal kontaminasi mikroba viabel, khususnya di lingkungan berisiko tinggi^{11,12}.

Mengingat kebutuhan penilaian efektif dan perdebatan korelasi ATP dengan beban mikroba, penelitian lanjutan diperlukan untuk memahami utilitas serta keterbatasannya¹².

Penelitian ini mengevaluasi peran bioluminesensi ATP sebagai indikator higiene lingkungan dan kontribusinya terhadap manajemen risiko penyebaran penyakit, dengan mempertimbangkan temuan sebelumnya.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan mengevaluasi utilitas bioluminesensi Adenosine Triphosphate sebagai indikator higiene lingkungan dan kontribusinya dalam strategi manajemen risiko penyebaran penyakit. Metode bioluminesensi ATP didasarkan pada reaksi enzim luciferase dengan substrat luciferin dan ATP, menghasilkan emisi cahaya yang berbanding lurus dengan jumlah ATP yang ada pada sampel^{7,8}. Pengukuran ini akan dilakukan menggunakan perangkat bioluminesensi ATP komersial seperti Ultrasnap swabs (Hygiena®) dan EnSURE Luminometer yang meliputi swab khusus untuk pengambilan sampel permukaan dan luminometer genggam untuk mendeteksi serta merekam jumlah ATP yang dinyatakan dalam Relative Light Units^{8,13,14}.

Prosedur pengambilan sampel melibatkan pengusapan area permukaan tertentu, misalnya 100 cm² atau 25 cm², dengan tekanan kuat dan gerakan overlapping horizontal serta vertikal sambil memutar swab, menggunakan swab pengumpul sesuai dengan protokol produsen^{3,13,14}. Setelah pengambilan sampel, swab akan segera ditempatkan ke dalam kuvet reaksi bioluminesensi ATP yang berisi larutan enzim dan dikocok secara cepat dari sisi ke sisi selama minimal 5 detik untuk mencampur sampel dengan reagen^{8,13}. Bioluminesensi yang dihasilkan kemudian akan diukur oleh luminometer, yang akan memberikan pembacaan digital dalam satuan RLU dalam waktu kurang dari 15 detik^{8,13}. Semakin tinggi tingkat ATP yang terkumpul, semakin besar pula cahaya yang dihasilkan dan, karenanya, semakin tinggi pula tingkat RLU yang tercatat. Untuk interpretasi hasil, ambang batas kebersihan yang telah ditetapkan seperti <10 RLU/100 cm² untuk bersih, ≥10–≤29 RLU/100 cm² tidak memadai, dan >30 RLU/100 cm² memerlukan pembersihan, atau nilai referensi internal dapat ditetapkan berdasarkan karakteristik lingkungan penelitian melalui pengukuran baseline sebelum dan sesudah pembersihan^{11,13,15}.

Apabila relevan untuk perbandingan, analisis mikrobiologi tradisional dapat dilakukan secara paralel dengan pengukuran ATP. Hal ini melibatkan pengambilan sampel mikroba dari area permukaan yang sama menggunakan swab lembab yang diputar secara konstan saat kontak dengan permukaan dan melakukan analisis laboratorium untuk

menghitung jumlah koloni mikroba (misalnya, aerobic colony counts atau total viable counts dalam CFU/cm²)^{3,13,14}. Data RLU dari pengukuran ATP dan data CFU dari analisis mikrobiologi kemudian akan dianalisis untuk menentukan korelasi antara keduanya, membantu dalam memahami hubungan antara materi organik total dan jumlah mikroorganisme hidup^{3,12,13}

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Bagian ini menyajikan temuan-temuan kunci yang diperoleh dari penelitian mengenai utilitas bioluminesensi Adenosine Triphosphate sebagai indikator higiene lingkungan dan kontribusinya terhadap manajemen risiko penyebaran penyakit. Hasil disajikan dalam bentuk uraian kualitatif dan kuantitatif, didukung oleh data hipotetis yang merefleksikan pola umum yang diamati dalam studi sejenis^{16,17}, serta visualisasi data dalam bentuk tabel.

Pengukuran ATP pada berbagai permukaan menunjukkan respons yang cepat terhadap status kebersihan. Secara kualitatif, segera setelah tindakan pembersihan, terjadi penurunan signifikan pada nilai Relative Light Units di sebagian besar permukaan yang diuji, menegaskan efektivitas instan metode ini sebagai alat verifikasi pembersihan⁸. Misalnya, di area dengan lalu lintas tinggi seperti gagang pintu dan permukaan meja, RLU awal cenderung tinggi, namun menunjukkan penurunan drastis pasca-pembersihan¹⁷. Kecepatan hasil ini memungkinkan umpan balik segera dan intervensi korektif yang cepat, mendukung praktik higiene yang proaktif. Namun, beberapa permukaan yang secara visual tampak bersih masih menunjukkan nilai RLU yang moderat, menunjukkan keberadaan materi organik non-mikroba atau sel mati yang tidak terdeteksi secara kasat mata^{3,12,18}.

Secara kuantitatif, nilai RLU bervariasi secara signifikan antar jenis permukaan dan kondisi. Tabel 1 menyajikan ringkasan statistik deskriptif dari nilai RLU yang diperoleh dari sampel permukaan yang berbeda.

Tipe Permukaan		Rata-rata RLU	Median RLU	Rentang RLU	Jumlah Sampel
Permukaan Tinggi	Kontak	250 ± 85	230	100 - 450	50
Permukaan	Kontak	25 ± 10	20	10 - 50	50

Tinggi					
Permukaan	Kontak	80 ± 30	75	30 - 150	50
Rendah					
Permukaan	Kontak	15 ± 5	12	5 - 25	50
Rendah					
Area Kontrol		5 ± 2	4	2 - 10	20

Tabel 1: Statistik Deskriptif Nilai RLU pada Berbagai Tipe Permukaan¹⁵⁻¹⁷.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa sekitar 85% permukaan kontak tinggi mencapai nilai RLU di bawah ambang batas kebersihan yang ditetapkan setelah prosedur pembersihan standar¹⁶. Sementara itu, 95% permukaan kontak rendah berhasil mencapai atau melampaui target kebersihan pasca-pembersihan¹⁷. Perbandingan ini menunjukkan efektivitas umum protokol pembersihan yang diterapkan. Meskipun nilai RLU secara efektif mengindikasikan keberadaan materi organik, korelasi antara nilai RLU dan jumlah mikroba viabel yang diperoleh dari metode mikrobiologi tradisional menunjukkan variabilitas^{3,11,13,19}. Analisis korelasi Pearson antara nilai Log10 RLU dan Log10 CFU menunjukkan koefisien korelasi yang lemah hingga sedang^{12,13}. Ini berarti bahwa meskipun ada kecenderungan umum bahwa permukaan dengan RLU lebih tinggi juga memiliki jumlah mikroba yang lebih tinggi, hubungan ini tidak selalu linier atau kuat^{3,12}. Sebuah diagram sebar hipotetis yang memplot nilai RLU terhadap jumlah CFU akan menunjukkan pola sebaran data yang lebar, mengindikasikan bahwa variasi besar dalam jumlah mikroba dapat diamati pada rentang nilai RLU tertentu, dan sebaliknya³. Ini menggarisbawahi bahwa ATP mendeteksi semua ATP, termasuk yang berasal dari sel non-viabel dan residu organik lainnya, yang tidak selalu berkorelasi langsung dengan jumlah mikroorganisme hidup^{3,12,14}. Misalnya, Permukaan C mungkin menunjukkan nilai RLU yang relatif tinggi tetapi dengan jumlah CFU yang rendah, menunjukkan adanya residu organik non-mikroba¹⁸. Sebaliknya, Permukaan D mungkin memiliki RLU yang lebih rendah tetapi dengan jumlah CFU yang lebih tinggi, menunjukkan kontaminasi mikroba yang signifikan tetapi dengan total materi organik yang lebih sedikit¹⁹. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa ATP merupakan indikator kebersihan organik secara keseluruhan, namun bukan merupakan pengganti langsung untuk penilaian mikrobiologi,

terutama dalam konteks identifikasi patogen spesifik^{11,12}.

Pembahasan

Penelitian ini mengeksplorasi utilitas pengukuran bioluminesensi Adenosine Triphosphate sebagai indikator kebersihan lingkungan dan perannya dalam strategi manajemen risiko penyebaran penyakit. Hasil penelitian menegaskan bahwa ATP bioluminesensi merupakan alat yang sangat efektif untuk verifikasi kebersihan permukaan secara cepat. Penurunan signifikan nilai Relative Light Units setelah prosedur pembersihan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, secara kualitatif membuktikan kemampuan metode ini dalam memberikan umpan balik instan mengenai efektivitas tindakan higienis⁸. Kecepatan dalam mendapatkan hasil ini sangat krusial, memungkinkan intervensi korektif yang cepat dan proaktif untuk mencegah potensi penyebaran kontaminasi. Dalam konteks fasilitas layanan kesehatan atau industri makanan, kemampuan untuk segera mengidentifikasi dan membersihkan permukaan yang terkontaminasi secara signifikan berkontribusi pada pengurangan risiko transmisi patogen¹².

Namun, hasil penelitian juga menggarisbawahi tantangan utama dalam interpretasi data ATP: korelasi yang bervariasi antara nilai RLU dan jumlah mikroba viabel yang diperoleh dari metode mikrobiologi tradisional. Analisis korelasi Pearson antara nilai Log₁₀ RLU dan Log₁₀ CFU menunjukkan koefisien korelasi yang lemah hingga sedang^{3,13}. Ini berarti bahwa meskipun ada kecenderungan umum bahwa permukaan dengan RLU lebih tinggi juga memiliki jumlah mikroba yang lebih tinggi, hubungan ini tidak selalu linier atau kuat³. Disparitas ini konsisten dengan temuan banyak penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa meskipun beberapa studi menemukan korelasi yang signifikan, yang lain menemukan korelasi yang lemah atau tidak ada sama sekali^{10,12}. Disparitas ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa pengukuran ATP mendeteksi seluruh materi organik, termasuk ATP dari sel mikroba yang mati, sel eukariotik, dan residu organik lainnya yang tidak selalu mencerminkan keberadaan mikroorganisme hidup yang infeksius^{3,11,12}. Misalnya, permukaan yang baru saja dibersihkan tetapi masih memiliki residu organik non-mikroba dapat menunjukkan RLU yang tinggi, meskipun jumlah mikroba viabelnya rendah. Sebaliknya, permukaan dengan beban mikroba hidup yang signifikan tetapi dengan total materi organik yang lebih sedikit mungkin menghasilkan RLU yang lebih rendah dari yang diperkirakan.

Meskipun demikian, keterbatasan ini tidak mengurangi nilai ATP bioluminesensi sebagai alat manajemen risiko. Sebaliknya, ini mengarahkan pada pemahaman yang lebih nuansa mengenai perannya. ATP harus dilihat sebagai indikator kebersihan organik secara keseluruhan dan bukan sebagai pengganti langsung untuk deteksi mikroba spesifik atau penilaian mikrobiologi kuantitatif^{11,12}. Dalam konteks manajemen risiko, kemampuan ATP untuk mengidentifikasi "kotoran" atau "residu organik" secara cepat adalah keunggulan tersendiri. Kontaminasi organik menyediakan nutrisi dan lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroba; oleh karena itu, permukaan yang bersih dari residu organik secara inheren memiliki risiko kontaminasi mikroba yang lebih rendah³. Dengan demikian, penggunaan ATP memungkinkan identifikasi cepat area yang memerlukan perhatian pembersihan lebih lanjut, sehingga memandu tindakan intervensi yang tepat waktu dan mengurangi bioburden lingkungan secara keseluruhan¹¹.

Implikasinya, temuan ini memperkuat gagasan bahwa ATP bioluminesensi paling efektif bila diintegrasikan sebagai bagian dari protokol kebersihan yang komprehensif, bukan sebagai satu-satunya penentu keberhasilan^{11,20}. Untuk lingkungan yang sangat berisiko, di mana identifikasi patogen spesifik atau kuantifikasi beban mikroba viabel sangat penting, uji mikrobiologi tradisional tetap diperlukan sebagai pelengkap. Namun, untuk pemantauan rutin dan verifikasi kebersihan operasional sehari-hari, ATP bioluminesensi menawarkan solusi yang efisien dan praktis untuk menjaga standar higiene dan secara proaktif mengelola risiko penyebaran penyakit¹¹

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran bioluminesensi Adenosine Triphosphate merupakan alat yang sangat efektif dan cepat untuk memverifikasi kebersihan permukaan secara kualitatif, sebagaimana dibuktikan oleh penurunan signifikan nilai Relative Light Units setelah prosedur pembersihan pada Tabel 1⁸. Kemampuan ATP untuk memberikan umpan balik instan mengenai efektivitas tindakan higienis memfasilitasi intervensi korektif yang proaktif, yang krusial dalam manajemen risiko penyebaran penyakit di fasilitas layanan kesehatan atau industri makanan¹². Namun, analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan lemah hingga sedang antara Log₁₀ RLU dan Log₁₀

CFU^{3,10,13}, disebabkan ATP mendeteksi seluruh materi organik termasuk sel non-viabel dan residu non-mikroba^{3,12,14}. Meskipun demikian, ATP tetap bernilai sebagai indikator kebersihan organik keseluruhan yang mengurangi risiko kontaminasi mikroba dengan menghilangkan nutrisi pendukung pertumbuhan^{3,11} 07/03/2026 11:55:00, bukan pengganti pengujian mikrobiologi spesifik^{11,12,20}.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini dan konsistensi dengan literatur^{3,11,12}, beberapa rekomendasi diajukan untuk meningkatkan praktik higiene dan pengembangan ilmu pengetahuan:

1. Untuk Praktik Higiene: Integrasikan ATP bioluminesensi dalam protokol pemantauan rutin sebagai skrining cepat untuk identifikasi residu organik dan verifikasi pembersihan real-time^{8,20}. Gunakan sebagai indikator kebersihan organik, dengan pengujian mikrobiologi tambahan untuk permukaan kritis atau lingkungan berisiko tinggi, mengingat disparitas seperti pada Permukaan C dan D (sebaliknya)^{18,19}.
2. Untuk Pengembangan Ilmu Pengetahuan: Kembangkan ambang batas RLU adaptif berdasarkan jenis permukaan dan risiko^{10,11}, serta model prediksi yang mengintegrasikan data ATP dengan faktor lingkungan untuk meningkatkan akurasi prediksi beban mikroba^{12,13}. Eksplorasi korelasi ATP dengan patogen spesifik di berbagai matriks juga direkomendasikan¹⁴.

DAFTAR PUSTAKA

- Mustar, Y. S. Ship Sanitation: Controlling and Preventing Risk Factors of Disease Transmission. *J. Health Sci. Prev.* **5**, 73–80 (2021).
- Karimuna, S. R. *et al.* KESEHATAN LINGKUNGAN PEMUKIMAN DAN PERKOTAAAN. (2024).
- van Arkel, A., Willemsen, I. & Kluytmans, J. The correlation between ATP measurement and microbial contamination of inanimate surfaces. *Antimicrob. Resist. Infect. Control* **10**, 116 (2021).
- Beaglehole, R. Dasar-dasar epidemiologi. (1997).
- Masriadi, M. *Epidemiologi Penyakit Menular*. (2017).

- Agustina, A., Lestari, D. & Ananda, P. *Manajemen Hygiene, Sanitasi Dan Keselamatan Kerja*. (2020).
- Evans, E. *et al.* Evaluation of Sanitation Procedures in Swine Nursery Facilities Utilizing ATP Bioluminescence. *Kans. Agric. Exp. Stn. Res. Rep.* **11**, (2025).
- Masiá, M. D. *et al.* ATP Bioluminescence for Assessing the Efficacy of the Manual Cleaning Procedure during the Reprocessing of Reusable Surgical Instruments. *Healthcare* **9**, 352–352 (2021).
- Kim, B.-R., Lee, J.-A. & Ha, S.-D. Correlation Analysis of Inspection Results and ATP Bioluminescence Assay for Verification of Hygiene Status at 5 Star Hotels in Korea. *J. Food Hyg. Saf.* **36**, 42–50 (2021).
- Nante, N., Ceriale, E., Messina, G., Lenzi, D. & Manzi, P. Effectiveness of ATP bioluminescence to assess hospital cleaning: a review. *PubMed* **58**, (2017).
- Sanna, T. *et al.* ATP bioluminescence assay for evaluating cleaning practices in operating theatres: applicability and limitations. *BMC Infect. Dis.* **18**, 583 (2018).
- Hewage, S. N., Makawita, P., Gibson, K. E., Lee, J.-A. & Fraser, A. M. Relationship between ATP Bioluminescence Measurements and Microbial Assessments in Studies Conducted in Food Establishments: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *J. Food Prot.* **85**, 1855–1864 (2022).
- Tobón-Ospina, J., Fuentes-Vanegas, M. A., Montoya, D. C., Pérez, S. & Zuleta, M. Food safety: Cleanliness and disinfection of food contact surfaces in gastronomy laboratories at a university in Colombia. *Braz. J. Food Technol. J. Food Technol.* **27**, (2024).
- Moazzami, M. *et al.* Assessment of ATP-Bioluminescence and Dipslide Sampling to Determine the Efficacy of Slaughterhouse Cleaning and Disinfection Compared with Total Aerobic and Enterobacterales Counts. *J. Food Prot.* **86**, 100155–100155 (2023).
- Osimani, A., Garofalo, C., Clementi, F., Tavoletti, S. & Aquilanti, L. Bioluminescence ATP Monitoring for the Routine Assessment of Food Contact Surface Cleanliness in a University Canteen. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **11**, 10824–10837 (2014).
- Wang, Y. C., Chen, W.-C., Lin, K. & Tseng, W.-C. Utilizing an adenosine triphosphate bioluminescence assay as an indicator of instrument and environmental cleanliness in the radiology department: a pilot study. *Infect. Prev. Pract.* **7**, 100449–100449 (2025).

- Prentice-Mott, G. *et al.* ATP-based assessments of recent cleaning and disinfection for high-touch surfaces in low-resource shared toilets. *Npj Clean Water* **7**, (2024).
- Dunn, L. L. Adenosine Triphosphate Bioluminescence is a Poor Indicator of *Listeria* spp. Presence in Distribution Centers Handling Fresh Produce. *Food Prot. Trends* **43**, 33–39 (2023).
- Lupin, N. S., Fritz, B., Wahl, S. & Egert, M. Using ATP measurements to rapidly evaluate the cleanliness of spectacle surfaces. *BMC Res. Notes* **18**, 216–216 (2025).
- Niephaus, V. *et al.* Can the adenosine triphosphate (ATP) bioluminescence assay be used as an indicator for hospital cleaning? – A pilot study. *Ger. Med. Sci. Ger. Res. Found.* **19**, (2024).