

Design and Construction of a Digital Microscope for Automatically Counting *Escherichia Coli* Bacteria Using Artificial Intelligence (AI)

Lili Ruhyana ^{1*)}, Muhtar ²⁾, Gunawan ³⁾, Danang Kristioko Legowo ⁴⁾, Abdul Firman ⁵⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ Program Studi Teknik Elektromedik, Universitas Mohammad Husni Thamrin
Correspondence Author: lieruhyana@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.37012/jkmp.v5i2.3239>

Abstract

Detection and counting of Escherichia coli (E. coli) bacteria is an important indicator in assessing water quality and food safety, particularly in the field of environmental health. Conventional methods still require a long time, skilled personnel, and have the potential to cause subjectivity in microscopic observations. This study aims to design and build a digital microscope system equipped with an automatic bacterial counting system based on Artificial Intelligence (AI). The use of this technology is expected to accelerate microbiological analysis, improve detection accuracy, and reduce subjectivity in the manual counting process. The study was conducted using an experimental approach with the System Development Life Cycle (SDLC) method. The dataset consists of 3,011 bacterial images divided into 74% training data, 13% validation data, and 13% test data. The object detection model uses YOLOv11 integrated with Roboflow for annotation and dataset management. Test results show that the model achieved a detection accuracy of 94.1% on the test data, indicating good performance in identifying and counting E. coli colonies. The system is also equipped with a Streamlit-based interface to facilitate users in visualizing detection results in real-time. Thus, the design of this AI-based digital microscope can be an effective and efficient solution to accelerate and improve the accuracy of microbiological analysis, especially in the detection of E. coli bacteria in the fields of environmental health and food safety.

Keywords: Digital Microscope, *Escherichia Coli*, YOLOv11, Roboflow, Artificial Intelligence.

Abstrak

Deteksi dan perhitungan jumlah bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) merupakan salah satu indikator penting dalam penilaian kualitas air dan keamanan pangan, khususnya pada bidang kesehatan lingkungan. Metode konvensional masih memerlukan waktu lama, tenaga terampil, serta berpotensi menimbulkan subjektivitas dalam pengamatan mikroskopis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem mikroskop digital yang dilengkapi dengan sistem penghitung otomatis bakteri berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI). Penggunaan teknologi ini diharapkan dapat mempercepat analisis mikrobiologis, meningkatkan akurasi deteksi, serta mengurangi subjektivitas pada proses perhitungan manual. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode System Development Life Cycle (SDLC). Dataset terdiri dari 3.011 citra bakteri yang dibagi menjadi 74% data latih, 13% data validasi, dan 13% data uji. Model deteksi objek menggunakan YOLOv11 yang diintegrasikan dengan Roboflow untuk proses anotasi dan manajemen dataset. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mencapai akurasi deteksi 94,1% pada data uji, yang menandakan kinerja baik dalam mengidentifikasi dan menghitung jumlah koloni *E. coli*. Sistem ini juga dilengkapi antarmuka berbasis Streamlit sehingga memudahkan pengguna dalam memvisualisasikan hasil deteksi secara *real-time*. Dengan demikian, rancang bangun mikroskop digital berbasis AI ini dapat menjadi solusi efektif dan efisien untuk mempercepat dan meningkatkan akurasi analisis mikrobiologi, khususnya pada deteksi bakteri *E. coli* di bidang kesehatan lingkungan dan keamanan pangan.

Kata Kunci: Mikroskop Digital, *Escherichia Coli*, YOLOv11, Roboflow, Kecerdasan Buatan

PENDAHULUAN

Pemeriksaan bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) dalam air merupakan indikator penting untuk menilai kualitas air, terutama pada air minum dan produk makanan. Metode konvensional untuk mendeteksi dan menghitung bakteri biasanya melibatkan teknik kultur dan pengamatan visual menggunakan mikroskop, yang membutuhkan waktu lama, keterampilan tenaga ahli, serta rentan terhadap kesalahan manusia (WHO, 2017).

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan mikroskop digital yang dipadukan dengan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dapat menjadi solusi yang lebih efisien. Dengan bantuan algoritma AI, penghitungan bakteri dapat dilakukan secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi secara real time.

Pada penelitian ini digunakan algoritma *You Only Lock Once* (YOLOv11) untuk deteksi mikroorganisme, karena algoritma ini sangat unggul dalam mendeteksi objek berukuran kecil dengan kecepatan tinggi (*Ultralytics, 2024*). Selain itu, metode berbasis deep learning telah terbukti mampu mengenal pola citra mikroskopis yang kompleks dan dinamis (*LeCun et al, 2015; Zhang et al, 2021*).

Penggunaan teknologi ini diharapkan dapat mempercepat analisis mikrobiologis, meningkatkan akurasi deteksi, serta mengurangi subjektivitas pada proses perhitungan manual.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan *System Development Life Cycle (SDLC)*. Tahapan penelitian meliputi:

1. Pengumpulan Data

Data berupa gambar mikroskopis bakteri *E. coli* diperoleh menggunakan mikroskop digital. Gambar dikumpulkan dalam berbagai kondisi pencahayaan, warna, dan ukuran koloni bakteri.

2. Preprocessing Data

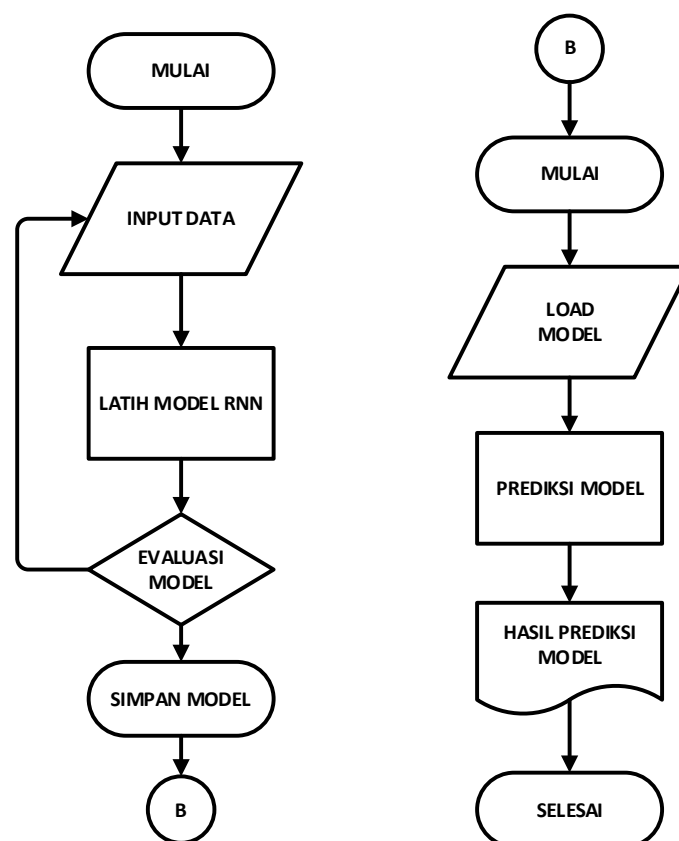
Data citra diproses menggunakan Roboflow, meliputi: labeling bakteri, augmentasi (rotasi, kontras, flip horizontal/vertikal), dan konversi format agar kompatibel dengan algoritma YOLOv11 (Roboflow, 2023).

3. Pelatihan Model

Model dilatih menggunakan YOLOv11 dengan parameter: Epoch = 100, Batch size = 16, Optimizer = SGD dengan adaptive learning rate, dan data augmentation otomatis untuk meningkatkan generalisasi (Bochkovskiy et al., 2020).

4. Evaluasi Sistem

Evaluasi dilakukan berdasarkan tiga aspek utama: keakuratan, kecepatan, dan robustness sistem dalam kondisi gambar berbeda.



Gambar 1. Alur Penelitian

Sistem yang dikembangkan akan dievaluasi berdasarkan:

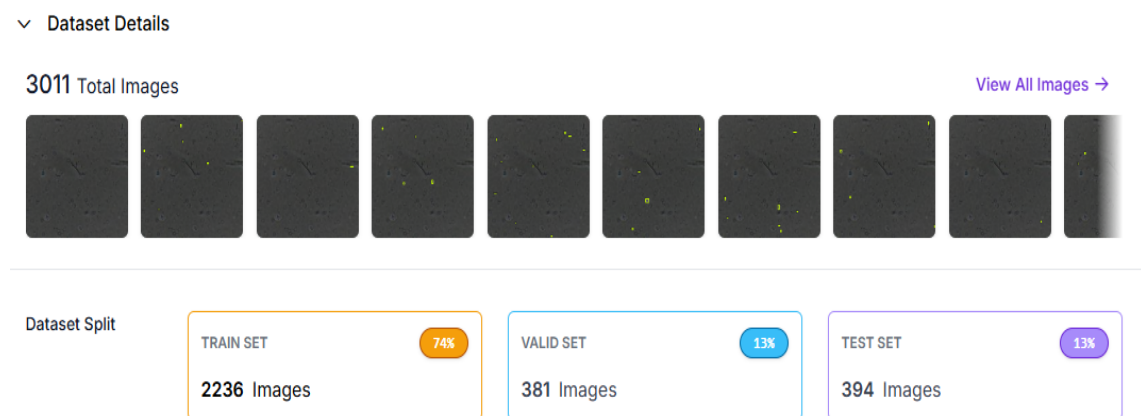
1. **Keakuratan:** Mengukur perbedaan antara penghitungan otomatis oleh sistem dan penghitungan manual.
2. **Kecepatan:** Waktu yang dibutuhkan untuk menghitung bakteri secara otomatis dibandingkan dengan metode tradisional.

3. **Robustness:** Kemampuan sistem untuk bekerja pada gambar dengan berbagai kondisi pencahayaan dan kualitas gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Dataset dan Preprocessing

Dataset penelitian berjumlah 3011 gambar, dibagi menjadi: 74% data latih = 2.229 gambar, 13% data validasi = 392 gambar, dan 13% data uji = 390 gambar. Pembagian dataset ini menjaga keseimbangan antara pelatihan, validasi, dan pengujian. Proses augmentasi berhasil meningkatkan keragaman citra, sehingga model lebih robust terhadap variasi visual.



Gambar 2. Dataset E.coli Roboflow

Pembagian dataset dilakukan dengan tujuan untuk menjaga proporsi data yang seimbang antara proses pelatihan, validasi, dan pengujian. Dataset kemudian diproses menggunakan Roboflow untuk labeling, augmentasi (rotasi, kontras, flip horizontal/vertikal), serta konversi format agar kompatibel dengan algoritma deteksi objek YOLOv11.

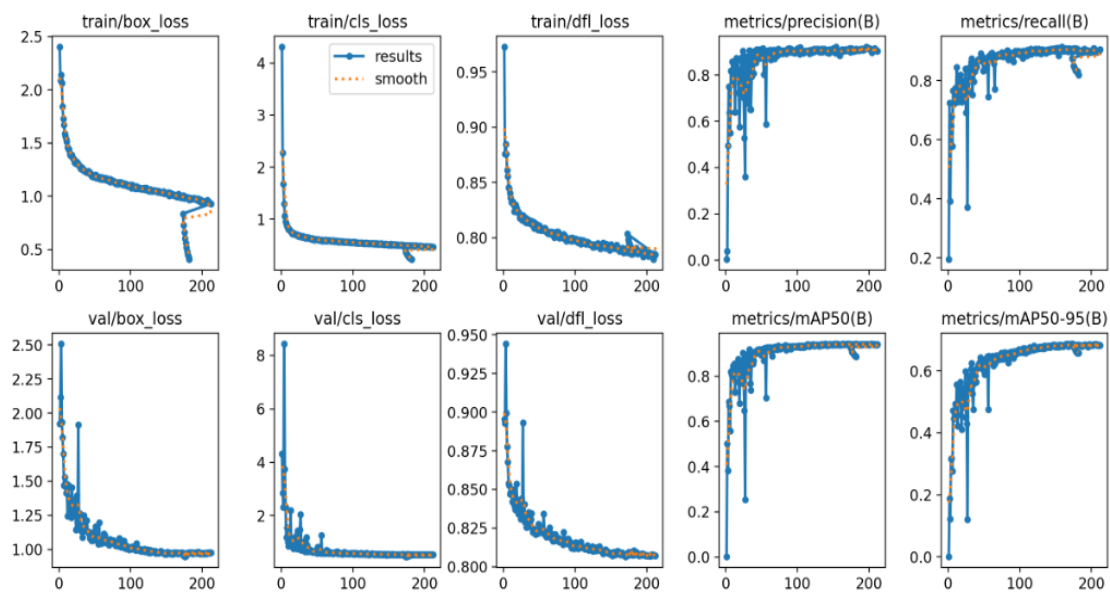
2. Pelatihan Model

Model dilatih menggunakan YOLOv11, sebuah varian terkini dari algoritma *You Only Look Once* yang lebih efisien dalam deteksi objek kecil, seperti bakteri. Parameter pelatihan meliputi Epoch: 100, Batch size: 16, Optimizer: SGD dengan learning rate adaptif, Augmentasi data otomatis untuk meningkatkan generalisasi model. Hasil pelatihan menunjukkan loss function menurun stabil hingga konvergensi pada sekitar

epoch ke-85. Proses ini memperlihatkan bahwa model mampu belajar mengenali bakteri dengan baik, bahkan pada citra dengan pencahayaan tidak merata.



Gambar 3. Hasil Test



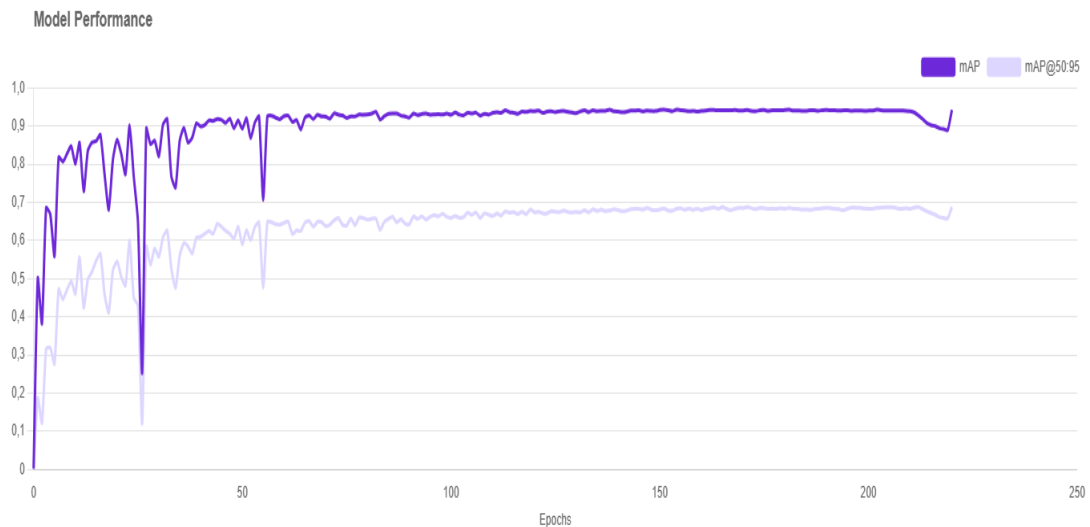
Gambar 4. Grafik Hasil Test Set

3. Evaluasi Kinerja Model

Hasil pengujian model terhadap data uji (test set) diperoleh metrik performa sebagai berikut:

- mAP@50 (Mean Average Precision pada IoU 0.5): 94.1%
- Precision: 91.0%
- Recall: 90.1%

- F1-Score: 90.5%



Gambar 5. Grafik Performance

- Precision (91.0%): Model mampu secara akurat mengklasifikasikan bakteri. Dari setiap 100 prediksi positif (*terdeteksi sebagai E. coli*), sebanyak 91 benar-benar merupakan *E. coli*. Hal ini menunjukkan jumlah kesalahan deteksi positif palsu (false positive) relatif kecil.
- Recall (90.1%): Model dapat mendeteksi sekitar 90 bakteri dari 100 yang sebenarnya ada. Masih terdapat sebagian kecil bakteri yang tidak terdeteksi (false negative), umumnya pada citra dengan kontras rendah atau tumpang tindih antar bakteri.
- mAP@50 (94.1%): Nilai ini membuktikan bahwa model mampu menggambar bounding box bakteri dengan akurasi spasial yang sangat tinggi.
- F1-Score (90.5%): Nilai ini menunjukkan keseimbangan antara precision dan recall, sehingga model tidak hanya menghindari prediksi salah, tetapi juga mampu menemukan sebagian besar bakteri yang ada.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Evaluasi

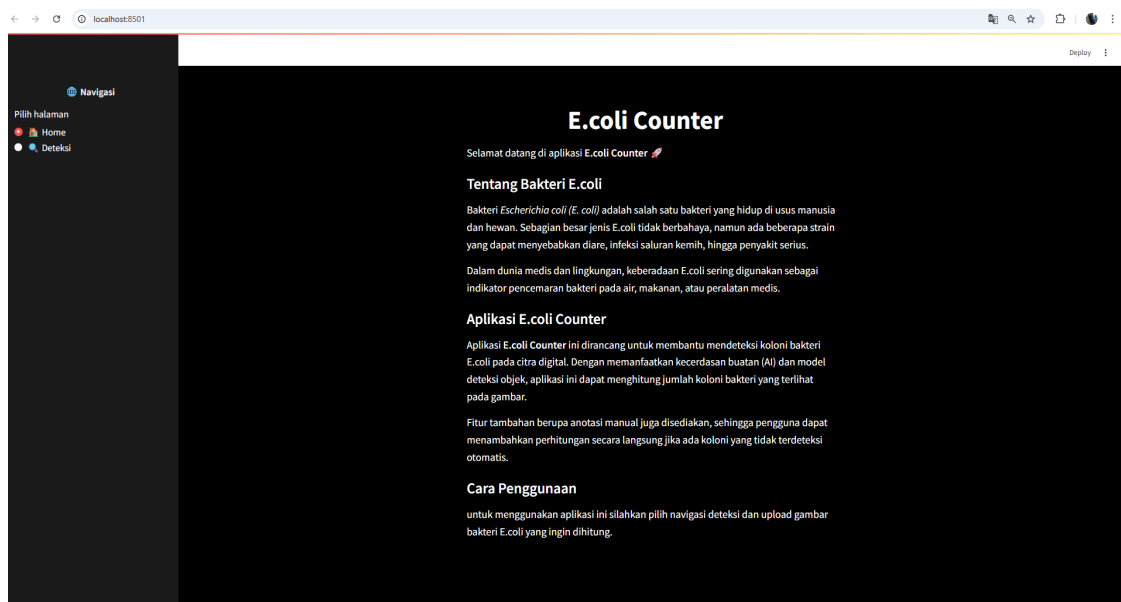
Metrik	Nilai
Precision	91.0%
Recall	90.1%
mAP@50	94.1%
F1-Score	90.5%

Analisis menunjukkan bahwa precision tinggi menandakan false positive rendah, recall menunjukkan sebagian kecil bakteri masih tidak terdeteksi pada citra berkontras rendah, sedangkan mAP@50 membuktikan akurasi spasial yang tinggi. F1-Score menandakan keseimbangan optimal antara precision dan recall.

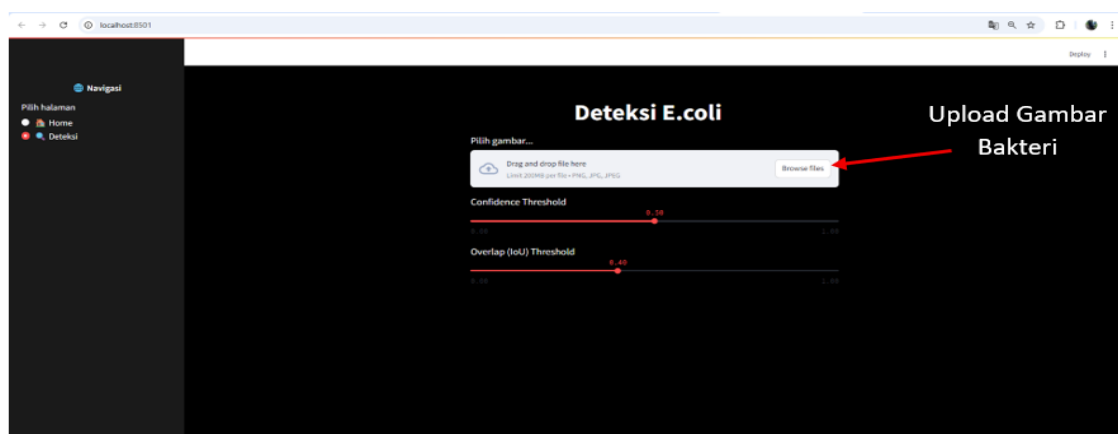
Secara keseluruhan, nilai metrik di atas membuktikan bahwa sistem mikroskop digital berbasis YOLOv11 dan Roboflow mampu mendeteksi serta menghitung bakteri *Escherichia coli* dengan tingkat akurasi tinggi. Hasil ini sangat menjanjikan untuk implementasi di laboratorium mikrobiologi, karena dapat mempercepat proses analisis dan mengurangi subjektivitas dalam perhitungan manual.

4. Implementasi menggunakan Streamlit

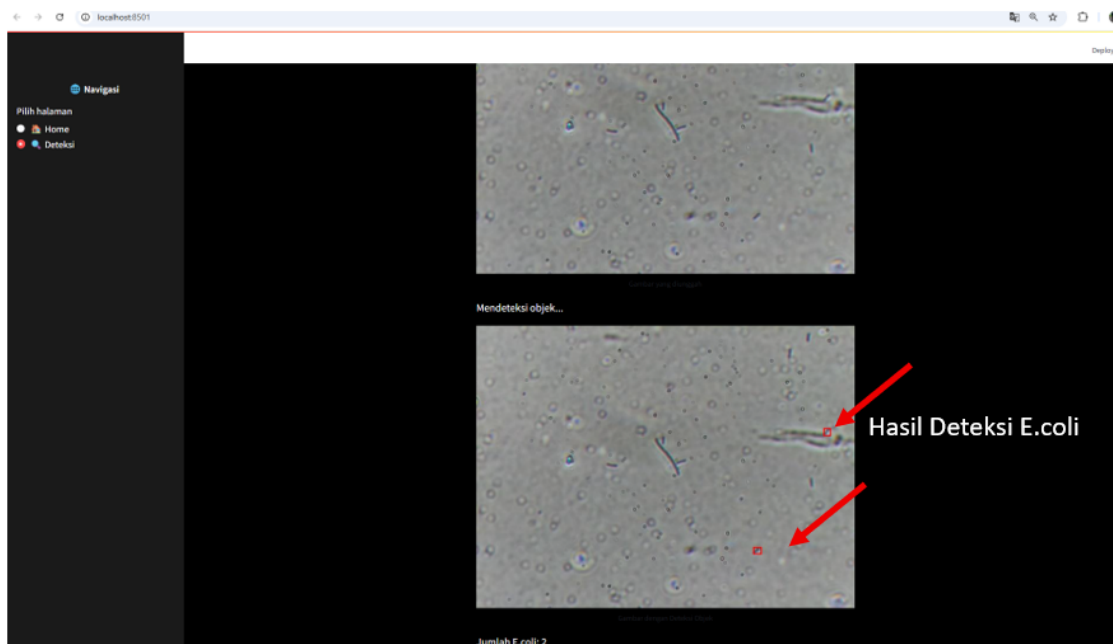
Model YOLOv11 kemudian diintegrasikan ke dalam aplikasi web menggunakan Streamlit. Aplikasi ini dapat melakukan deteksi secara real-time dengan keluaran berupa bounding box pada citra mikroskopis serta jumlah bakteri *E. coli* secara otomatis pada satu bidang pandang (Zhou et al., 2022). Implementasi ini membuat sistem lebih mudah diakses di laboratorium tanpa memerlukan perangkat keras mahal Model YOLOv11.



Gambar 6. Tampilan Beranda Streamlit



Gambar 7. Tampilan Menu Deteksi E.coli



Gambar 8. Tampilan Hasil Deteksi E.coli

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem mikroskop digital penghitung otomatis bakteri *Escherichia coli* dengan memanfaatkan kecerdasan buatan berbasis YOLOv11 yang diintegrasikan dengan Roboflow. Model dilatih menggunakan 3.011 citra bakteri dengan pembagian dataset 74% data latih, 13% data validasi, dan 13% data uji. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi deteksi sebesar 94,1%, yang membuktikan bahwa sistem mampu mengidentifikasi dan menghitung jumlah bakteri *E. coli* secara cepat, akurat, dan efisien. Integrasi dengan antarmuka Streamlit juga memudahkan pengguna dalam memvisualisasikan hasil deteksi secara real-time. Dengan demikian, rancang bangun ini dapat menjadi alternatif solusi yang efektif dalam mendukung analisis mikrobiologi di bidang kesehatan lingkungan dan keamanan pangan.

Berdasarkan hasil penelitian diatas, kami mendapatkan beberapa saran, yaitu:

1. Perlu penambahan jumlah dan variasi dataset, termasuk kondisi pencahayaan dan morfologi bakteri yang berbeda, untuk meningkatkan generalisasi model.
2. Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penggabungan sensor pencitraan beresolusi tinggi agar hasil deteksi lebih presisi.
3. Disarankan untuk menguji model deteksi lain atau melakukan fine-tuning lebih lanjut agar akurasi dapat ditingkatkan.

4. Sistem sebaiknya diuji pada sampel nyata dari berbagai sumber air dan pangan untuk memastikan kinerja dalam kondisi lingkungan yang beragam.
5. Pengembangan Ke depan, sistem ini dapat diintegrasikan dengan aplikasi mobile atau IoT agar hasil analisis dapat diakses secara lebih luas dan fleksibel.

REFERENSI

1. Bochkovski, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934.
2. Bengio, Y., LeCun, Y., & Hinton, G. (2021). Deep learning for AI. *Communications of the ACM*.
3. Friedman, H., & Kuhn, R. (2018). AI applications in healthcare: Detecting pathogens and anomalies. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 67(3), 345–360.
4. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.
5. Hidayat, C. A., Simbolon, S. D., Dilivio, G. J., Muttaqin, M., Ramadhani, U. A., Faisal, A., Prabowo, B. P., & Rahman, Y. A. (2023). Mikroskop digital, otomatis, dan portabel berbasis Raspberry Pi dengan catu daya DC. *Journal.umy.ac.id*.
6. Hidayat, C. A., Muttaqin, M., Algifari, M. H., & Ramadhani, U. A. (2023). Pemeriksaan citra mikroskop menggunakan graphical user interface dengan Python pada Raspberry Pi. *Journal.umy.ac.id*.
7. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 770–778). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
8. Kim, K. G. (2016). Deep learning. Biomedical Engineering Branch, Division of Precision Medicine and Cancer Informatics, National Cancer Center, Goyang, Korea.
9. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25.
10. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.

11. Melanika, L. R. I., Fitriyah, H., & Setyawan, G. E. (2018). Sistem deteksi dan perhitungan otomatis bakteri Salmonella dengan pengolahan citra menggunakan metode object counting. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Universitas Brawijaya.
12. Mohamed, M., Abdullah, A., & Zaki, M. (2020). Automated detection of E. coli in water samples using image processing and artificial intelligence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2876. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082876>
13. Marr, D. (2010). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. MIT Press.
14. Ordonez, F. J., & Roggen, D. (2016). Deep convolutional and LSTM recurrent neural networks for multimodal wearable activity recognition. *Sensors*, 16(1), 115. MDPI.
15. Rauf, S., Tashkandi, N., de Oliveira Filho, J. I., Oviedo-Osornio, C. I., Danish, M. S., Hong, P.-Y., & Salama, K. N. (2022). Digital E. coli counter: A microfluidics and computer vision-based DNAzyme method for the isolation and specific detection of E. coli from water samples. MDPI.
16. Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
17. Roboflow. (2023). Roboflow: Build better computer vision datasets. Retrieved from <https://roboflow.com>.
18. Rost, F. W. D. (2017). *Microscopy techniques* (2nd ed.). Cambridge University Press.
19. Russ, J. C. (2016). *The image processing handbook* (7th ed.). CRC Press.
20. Santoso, J. T. (2023). *Kecerdasan buatan: Artificial intelligence*. Yayasan Prima Agus Teknik.
21. Ultralytics. (2024). YOLOv11: Real-time object detection. Retrieved from <https://github.com/ultralytics>.
22. World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO.
23. Wibowo, A. P. W., & Andrivani, R. (2016). Perhitungan jumlah bakteri Escherichia coli dengan pengolahan citra melalui metode thresholding dan counting morphology. *JITTER (Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan)*, Universitas Widyatama.

24. Zhang, Z., Sabuncu, M. R., & Liu, M. (2021). Deep learning for medical image analysis: A comprehensive review. *Medical Image Analysis*, 72, 102102. <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102102>
25. Zhou, Y., Xu, J., & Wang, X. (2022). Automated bacterial detection in microscopic images using deep learning. *Frontiers in Microbiology*, 13, 841235. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.841235>