

Sistem Deteksi Nyamuk Berbasis IoT dan Machine Learning

1st Kavilla Zota Qurzian
*Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia*
 Kavillazota@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Roswan Latuconsina
*Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia*
 Roswan@telkomuniversity.ac.id

3rd Randy Efra Saputra
*Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia*
 Resaputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penyakit yang ditularkan nyamuk, seperti demam berdarah dengue, malaria, dan Zika, terus menjadi masalah kesehatan global terutama di negara tropis. Upaya pengendalian konvensional sering kali menghadapi keterbatasan dalam efektivitas jangka panjang dan keamanan lingkungan. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi nyamuk berbasis Internet of Things (IoT) dan *machine learning* untuk mendeteksi serta memprediksi tren populasi secara real-time. Sistem memanfaatkan sensor suara, suhu, kelembapan, dan karbon dioksida yang terintegrasi dengan perangkap nyamuk elektrik dan mikrokontroler ESP32. Data dari sensor dikirim ke *cloud* dan dianalisis dengan algoritma *machine learning* untuk menghasilkan prediksi potensi lonjakan populasi. Hasil uji coba menunjukkan sistem mampu memberikan informasi akurat, cepat, dan dapat diakses dari jarak jauh melalui *dashboard* berbasis web. Dengan sifatnya yang portabel dan ramah lingkungan, sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan di rumah tangga, fasilitas kesehatan, dan area publik sebagai alat mitigasi dini risiko wabah.

Kata kunci— deteksi nyamuk, Internet of Things, *machine learning*, ESP32, prediksi wabah.

I. PENDAHULUAN

Nyamuk merupakan salah satu vektor penyakit yang memiliki dampak kesehatan paling signifikan di dunia, karena kemampuannya menularkan berbagai penyakit mematikan seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), chikungunya, dan virus Zika [1]. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan bahwa setiap tahun jutaan orang terinfeksi akibat gigitan nyamuk, dan ratusan ribu di antaranya meninggal dunia. Risiko ini semakin tinggi di wilayah tropis dan subtropis yang memiliki kondisi iklim ideal bagi perkembangbiakan nyamuk [2]. Ancaman tersebut tidak hanya berdampak pada kesehatan individu, tetapi juga menimbulkan beban ekonomi dan sosial yang signifikan di negara terdampak [3].

Di Indonesia, DBD merupakan penyakit endemik yang jumlah kasusnya berfluktuasi setiap tahun. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk curah hujan, kelembapan udara, dan suhu lingkungan yang mendukung perkembangan populasi nyamuk Aedes aegypti [4]. Data dari berbagai surveilans kesehatan menunjukkan bahwa lonjakan

kasus biasanya terjadi pada musim hujan, ketika banyak ditemukan genangan air yang menjadi tempat berkembang biak nyamuk [5]. Keterlambatan dalam mendeteksi kenaikan populasi nyamuk menyebabkan langkah pengendalian sering dilakukan setelah wabah mulai menyebar luas [6].

Metode pengendalian tradisional, seperti fogging atau penyemprotan insektisida, telah menjadi langkah utama dalam memutus siklus penularan penyakit yang dibawa nyamuk [7]. Meskipun metode ini efektif untuk jangka pendek, efektivitasnya semakin menurun karena adanya resistensi nyamuk terhadap bahan kimia yang digunakan. Selain itu, penggunaan insektisida dalam jumlah besar dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan baru yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan mampu memberikan informasi kondisi populasi nyamuk secara cepat dan akurat.

Perkembangan teknologi informasi, terutama Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan, membuka peluang besar untuk merancang sistem pemantauan nyamuk yang lebih efektif. IoT memungkinkan perangkat sensor terhubung dalam satu jaringan untuk mengumpulkan data secara otomatis dan real-time. Sementara itu, *machine learning* dapat memproses data tersebut untuk menemukan pola dan memprediksi tren populasi nyamuk, sehingga pihak terkait dapat melakukan tindakan pencegahan sebelum populasi mencapai tingkat yang membahayakan kesehatan masyarakat. Kombinasi kedua teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengendalian vektor penyakit melalui sistem pemantauan yang lebih cerdas dan terintegrasi.

II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah paradigma teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke jaringan internet sehingga memungkinkan pertukaran data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung [8]. Perangkat ini dapat berupa sensor, aktuator, atau sistem tertanam yang dilengkapi modul komunikasi nirkabel. Pada konteks pemantauan nyamuk, IoT berperan penting dalam mengintegrasikan sensor suhu, kelembapan, karbon dioksida, dan sensor suara ke dalam satu sistem perangkap nyamuk elektrik [9]. Melalui konektivitas ini, data dari sensor dapat dikirim secara real-time ke server pusat atau layanan *cloud*, sehingga proses pemantauan dapat dilakukan dari jarak jauh

dengan tingkat keandalan yang tinggi. Keunggulan teknologi IoT meliputi skalabilitas sistem, pemantauan berkesinambungan, serta kemampuannya untuk diintegrasikan dengan metode analisis cerdas seperti machine learning [10].

B. Machine Learning

Machine learning merupakan salah satu cabang kecerdasan buatan yang memungkinkan komputer belajar dari data historis untuk melakukan prediksi atau klasifikasi [11]. Dalam sistem pemantauan nyamuk, algoritma machine learning dilatih untuk mengenali keterkaitan antara variabel lingkungan — seperti suhu udara, kelembapan, dan kadar gas tertentu — dengan tingkat aktivitas nyamuk. Model prediksi dapat memanfaatkan berbagai algoritma seperti decision tree, random forest, atau neural network, yang dipilih berdasarkan kriteria akurasi, waktu pelatihan, dan efisiensi komputasi [12]. Dengan penerapan machine learning, sistem mampu memperbarui model prediksinya secara adaptif ketika data baru terus masuk, sehingga tingkat akurasi klasifikasi populasi nyamuk dapat meningkat seiring waktu [13].

C. Sensor Lingkungan dan Suara

Sensor lingkungan digunakan untuk mengukur parameter fisik yang mempengaruhi perilaku dan aktivitas nyamuk [14]. Sensor DHT11, misalnya, digunakan untuk mencatat suhu dan kelembapan udara, sedangkan sensor MQ135 berfungsi mendeteksi konsentrasi karbon dioksida yang menjadi salah satu pemicu nyamuk mencari inang. Di sisi lain, sensor suara seperti MAX4466 berperan dalam menangkap bunyi letusan yang terjadi saat nyamuk tersengat arus listrik pada perangkap. Sinyal suara yang ditangkap kemudian diproses menggunakan teknik pengolahan sinyal digital untuk memisahkan karakteristik suara nyamuk dari kebisingan lingkungan. Kombinasi data dari sensor lingkungan dan suara memberikan representasi yang lebih akurat mengenai tingkat aktivitas nyamuk di lokasi tertentu, yang selanjutnya dapat digunakan untuk analisis tren populasi [15].

D. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berkemampuan tinggi yang dilengkapi prosesor ganda Xtensa LX6, memori yang memadai, serta dukungan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth untuk komunikasi data secara nirkabel [8]. Kemampuannya mengintegrasikan beragam sensor — mulai dari sensor lingkungan, sensor gas, hingga sensor suara — menjadikannya sangat ideal untuk aplikasi pemantauan berbasis IoT. Selain itu, ESP32 kompatibel dengan berbagai protokol komunikasi seperti MQTT, HTTP, dan WebSocket, yang memungkinkan pengiriman data ke server atau cloud secara real-time dengan latensi rendah [9]. Konsumsi dayanya yang relatif rendah menjadikan perangkat ini cocok untuk pengoperasian jangka panjang di lapangan. Kombinasi fleksibilitas pemrograman, harga yang terjangkau, serta komunitas pengembang yang luas membuat ESP32 menjadi salah satu pilihan utama dalam perancangan sistem deteksi nyamuk yang efisien dan berkelanjutan.

III. METODE

Pendekatan kuantitatif diterapkan untuk membangun model klasifikasi tingkat populasi nyamuk dengan memanfaatkan metode *supervised learning* berbasis

algoritma Random Forest. Pemilihan algoritma ini didasarkan pada reputasinya yang mampu memberikan hasil prediksi dengan akurasi tinggi, ketahanan yang baik terhadap *overfitting*, serta kemampuannya dalam menilai tingkat kepentingan setiap variabel input secara otomatis. Karakteristik ini membuat Random Forest cocok digunakan dalam pengolahan data sensor yang memiliki tingkat variasi tinggi dan potensi keterkaitan antarfitur yang kompleks. Dalam konteks sistem pemantauan nyamuk, metode klasifikasi digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam tiga kategori tingkat populasi — rendah, sedang, dan tinggi — sekaligus mengidentifikasi hubungan tersembunyi antarparameter lingkungan yang mungkin tidak terungkap melalui analisis manual atau metode konvensional.

Sumber data diperoleh secara langsung dari sistem pemantauan berbasis IoT yang telah diintegrasikan dengan berbagai sensor. Komponen utamanya meliputi sensor suhu dan kelembapan DHT11 yang berfungsi untuk merekam kondisi termal dan kelembapan udara, sensor gas MQ135 yang digunakan untuk mengukur konsentrasi karbon dioksida di lingkungan sekitar, serta sensor suara MAX4466 yang mendeteksi bunyi letusan nyamuk saat terperangkap dan terkena sengatan listrik. Seluruh sensor ini dihubungkan ke perangkap nyamuk elektrik yang beroperasi secara terus-menerus selama periode pengumpulan data.

Pengambilan data dilakukan di lingkungan uji tertutup dengan tujuan mengurangi gangguan suara latar, seperti kebisingan dari aktivitas manusia atau hewan lain, sehingga kualitas data suara yang diperoleh tetap optimal. Proses pencatatan berlangsung dengan interval tetap setiap 60 detik, baik dalam kondisi terdapat nyamuk yang terdeteksi maupun tidak. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan variasi dataset yang memadai, mencakup kondisi lingkungan dengan aktivitas nyamuk tinggi hingga kondisi tanpa aktivitas sama sekali. Keberagaman data ini menjadi kunci dalam meningkatkan kemampuan model untuk membedakan pola-pola unik yang berkaitan dengan fluktiasi populasi nyamuk, sehingga hasil klasifikasi dapat lebih andal saat diterapkan pada kondisi nyata.

A. A. Pra-pemrosesan Data

Tahap ini mencakup normalisasi nilai numerik, penghapusan *outlier*, serta pembagian data menjadi data latih dan data uji menggunakan teknik *holdout* dengan proporsi 70:30. Tujuan dari tahapan ini adalah memastikan bahwa data berada dalam kondisi optimal untuk proses pelatihan model. Selain itu, data suara diproses terlebih dahulu menggunakan *fast Fourier transform* (FFT) untuk mengekstrak fitur frekuensi yang relevan, sehingga mempermudah algoritma dalam membedakan suara nyamuk dari kebisingan lingkungan.

B. B. Pemodelan dengan Random Forest

Model klasifikasi dibangun menggunakan algoritma Random Forest, yang merupakan *ensemble* dari beberapa pohon keputusan. Model ini dirancang untuk memetakan kombinasi data sensor (suhu, kelembapan, kadar CO₂, dan intensitas suara) ke dalam tiga kategori tingkat populasi nyamuk. Parameter model seperti jumlah pohon (*n_estimators*) dan kedalaman maksimum (*max_depth*) dioptimalkan melalui serangkaian eksperimen.

C. C. Evaluasi Model

Kinerja model dievaluasi menggunakan metrik evaluasi klasifikasi yaitu *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (4)$$

dengan:

- TP = True Positive
- TN = True Negative
- FP = False Positive
- FN = False Negative

Selain itu, dilakukan analisis feature importance untuk mengetahui kontribusi relatif masing-masing fitur (suhu, kelembapan, kadar CO₂, dan intensitas suara) dalam proses klasifikasi. Evaluasi dilakukan pada data uji untuk memastikan model tidak mengalami *overfitting*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

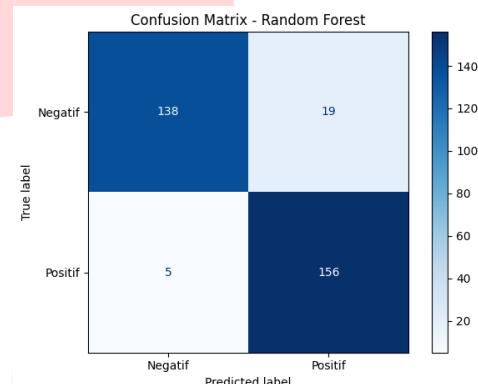
Penelitian Sistem deteksi nyamuk berbasis Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) yang dikembangkan mampu mendeteksi keberadaan nyamuk secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi. Rangkaian sistem dirancang dengan memodifikasi perangkap nyamuk elektrik agar dapat berfungsi tidak hanya sebagai perangkap penangkap, tetapi juga sebagai media pengumpul data lingkungan dan aktivitas nyamuk. Perangkat ini dilengkapi sensor suhu dan kelembapan DHT11, sensor gas MQ135 untuk mengukur kadar karbon dioksida (CO₂), serta sensor suara MAX4466 yang bertugas merekam bunyi letusan saat nyamuk terkena sengatan listrik. Seluruh data yang dihasilkan oleh sensor dikirim secara berkala ke layanan Firebase untuk penyimpanan dan pengolahan lebih lanjut sebelum dianalisis menggunakan algoritma Random Forest.

Pengujian sistem dilakukan selama 14 hari berturut-turut di lingkungan tertutup guna meminimalkan gangguan kebisingan eksternal dan menjaga konsistensi data. Data yang terkumpul kemudian dipisahkan menjadi dua kelompok, yaitu data latih sebesar 80% dan data uji sebesar 20%. Proses pelatihan model Random Forest bertujuan untuk mengklasifikasikan keberadaan nyamuk berdasarkan kombinasi parameter lingkungan dan data suara yang terekam. Kinerja model dievaluasi menggunakan empat metrik utama, yaitu *precision*, *recall*, *F1-score*, dan akurasi, yang hasilnya disajikan pada Tabel 1. Pendekatan ini memastikan bahwa evaluasi performa sistem tidak hanya mempertimbangkan tingkat ketepatan prediksi, tetapi juga kemampuan model dalam mengidentifikasi nyamuk secara konsisten di berbagai kondisi lingkungan.

TABEL 1
Hasil Pengujian Model

Model	Precision	Recall	F1-Score	Akurasi
Random Forest	0.97	0.88	0.92	0.92

Berdasarkan Tabel 1, model *Random Forest* menunjukkan performa yang cukup baik dengan akurasi 92% dan *precision* yang sangat tinggi (0.97). Nilai *recall* yang lebih rendah (0.88) mengindikasikan bahwa model masih melewatkannya sebagian kecil kasus nyamuk yang benar-benar ada (*false negative*). Namun, tingginya *precision* menunjukkan bahwa prediksi keberadaan nyamuk oleh sistem sangat jarang salah.



GAMBAR 1

Hasil *confusion matrix* pada Gambar 1 menunjukkan bahwa dari total data uji, model berhasil mengklasifikasikan 138 sampel negatif dan 156 sampel positif secara benar. Terdapat 19 *false positive* di mana sistem memprediksi nyamuk ada padahal tidak, serta 5 *false negative* di mana sistem tidak mendeteksi nyamuk yang sebenarnya ada.

Dari kombinasi hasil tabel dan *confusion matrix*, dapat disimpulkan bahwa sistem ini sangat baik dalam meminimalkan kesalahan deteksi positif palsu, meskipun masih ada ruang perbaikan dalam mendeteksi semua kasus nyamuk yang benar-benar ada. Untuk peningkatan, metode *feature extraction* seperti *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) dapat diintegrasikan untuk membedakan suara nyamuk dengan kebisingan lingkungan secara lebih akurat.

V. KESIMPULAN

Prototipe sistem deteksi nyamuk berbasis Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) dengan algoritma Random Forest telah berhasil dirancang dan diimplementasikan secara fungsional. Sistem ini mampu melakukan deteksi keberadaan nyamuk secara *real-time*, mengumpulkan data lingkungan melalui kombinasi sensor suhu dan kelembapan (DHT11), kadar karbon dioksida (MQ135), serta sensor suara (MAX4466) yang merekam letusan saat nyamuk terperangkap. Data yang diperoleh dikirim secara otomatis ke platform Firebase, kemudian diolah dan dianalisis untuk menghasilkan prediksi tingkat keberadaan nyamuk. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem ini menunjukkan bahwa konsep

pemantauan berbasis multi-sensor dapat diimplementasikan secara efektif dalam satu platform yang terhubung.

Pengujian yang dilakukan selama 14 hari di lingkungan tertutup menunjukkan bahwa model Random Forest yang dilatih mampu mencapai akurasi sebesar 92%, *precision* 0,97, *recall* 0,88, dan *F1-score* 0,92. Capaian ini menandakan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam mengidentifikasi keberadaan nyamuk dengan kesalahan prediksi yang relatif rendah. Analisis data juga menunjukkan adanya korelasi positif antara parameter suara dan suhu dengan probabilitas kehadiran nyamuk, yang mengindikasikan bahwa kedua parameter tersebut merupakan indikator penting dalam model prediksi.

Efektivitas sistem semakin diperkuat oleh kemampuan pengiriman data secara *real-time* ke pusat penyimpanan berbasis cloud, sehingga pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh dengan akses cepat terhadap informasi terbaru. Hal ini membuka peluang besar untuk pemanfaatan sistem dalam pemantauan lapangan secara berkelanjutan, khususnya dalam mendukung program mitigasi dan pencegahan penyakit berbasis vektor seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, atau chikungunya.

Meskipun sistem telah menunjukkan kinerja yang baik, peluang peningkatan masih terbuka lebar. Optimalisasi metode ekstraksi ciri, misalnya melalui penerapan Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) atau *wavelet transform*, berpotensi meningkatkan akurasi dan konsistensi hasil deteksi. Selain itu, pengujian di lingkungan terbuka dengan variasi kondisi suhu, kelembapan, kebisingan, dan keberadaan spesies nyamuk yang berbeda akan memberikan gambaran performa sistem pada situasi yang lebih kompleks. Peningkatan pada aspek catu daya dan konektivitas jaringan juga akan mendukung penerapan sistem secara lebih luas, termasuk pada area terpencil yang minim infrastruktur.

Secara keseluruhan, rancangan dan implementasi sistem ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi pemantauan nyamuk yang lebih modern, efisien, dan adaptif. Dengan pengembangan lanjutan, sistem berpotensi menjadi bagian integral dari strategi pengendalian populasi nyamuk berbasis teknologi yang dapat membantu mengurangi beban penyakit vektor di berbagai wilayah endemik.

REFERENSI

- [1] K. L. V. Ooi, L. M. Gubler, and C. C. Liu, "Dengue prevention and 35 years of vector control in Singapore," *Emerging Infectious Diseases*, vol. 15, no. 8, pp. 1231–1236, Aug. 2009.
- [2] S. Li, L. D. Xu, and S. Zhao, "The internet of things: a survey," *Information Systems Frontiers*, vol. 17, pp. 243–259, Apr. 2015.

- [3] M. A. Sayed, M. M. Rahman, and M. M. Hossain, "IoT-based mosquito monitoring system for controlling dengue outbreak," *International Journal of Computer Applications*, vol. 180, no. 45, pp. 15–20, Apr. 2018.
- [4] P. Domingos, "A few useful things to know about machine learning," *Communications of the ACM*, vol. 55, no. 10, pp. 78–87, Oct. 2012.
- [5] F. Kurniawan and A. S. Prabowo, "Implementation of ESP32-based IoT devices for environmental monitoring," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 11, no. 5, pp. 432–438, 2020.
- [6] G. P. Joshi, S. B. Tripathi, and A. Shukla, "An intelligent mosquito repellent and monitoring system using IoT," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 1064–1069, Jan. 2020.
- [7] M. A. Rahman, S. A. Hossain, and M. A. H. Chowdhury, "Design and development of a smart mosquito control and monitoring system," *International Journal of Computer Applications*, vol. 178, no. 32, pp. 20–25, Aug. 2019.
- [8] J. Aira, T. O. Montes, F. M. Delicado, and D. Vezzani, "MosquIoT: A system based on IoT and machine learning for the monitoring of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)," 2024.
- [9] S. K. Sharma, A. Singh, and M. Prasad, "IoT-based smart mosquito trap with integrated environmental sensors for vector surveillance," *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 11, pp. 1–10, 2023.
- [10] M. S. Fernandes, W. Cordeiro, and M. Recamonde-Mendoza, "Detecting *Aedes aegypti* mosquitoes through audio classification with convolutional neural networks," 2020.
- [11] I. Kiskin, H. Li, K. Sinka, and S. Roberts, "Mosquito detection with neural networks: The buzz of deep learning," 2017.
- [12] K. O. Paim, L. R. Lima, and J. P. Almeida, "Acoustic identification of *Aedes aegypti* mosquitoes using smartphone apps and residual convolutional neural networks," 2023.
- [13] A. Kumar and R. Singh, "Smart environmental monitoring using ESP32 microcontroller," *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 7–12, 2023.
- [14] P. S. Gupta and M. K. Verma, "Air quality monitoring and control system using ESP32 microcontroller," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 224–231, 2025.
- [15] R. A. Khan, F. Ahmad, and N. Ali, "IoT-enabled intelligent framework for real-time mosquito detection and monitoring," *SN Computer Science*, vol. 6, no. 2, pp. 1–12, 2025.