

MONITORING KEBISINGAN BERBASIS SENSOR AKUSTIK DENGAN VISUALISASI DATA DAN ALARM OTOMATIS UNTUK MENDUKUNG ZONA BELAJAR TENANG**Heri Yosepta Ginting¹, Lusia Rakhmawati², Raden Roro Hapsari Peni Agustin Tjahyaningtjas³, Parama Diptya Widayaka⁴**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

email : heri.19030@mhs.unesa.ac.id, lusiarakhmawati@unesa.ac.id, hapsaripeni@unesa.ac.id, paramawidayaka@unesa.ac.id**Abstract (English)**

A quiet and comfortable learning environment is an essential factor in improving concentration and the effectiveness of the learning process. However, a high noise level in the learning space can disrupt students' focus and reduce the quality of learning. Therefore, a system is needed that can monitor noise levels in real-time and provide alerts when predetermined noise thresholds are exceeded. In response to this need, a noise monitoring system was designed, based on acoustic sensors equipped with data visualization and automatic alarm features, aimed at detecting noise levels in learning environments. The acquired data is processed by a microcontroller and displayed on a digital dashboard. In addition, the system is designed to activate an automatic alarm when noise levels exceed the set limit, so that room managers or users can take necessary actions. This system utilizes an INMP411 acoustic sensor to detect noise levels in the learning environment, with the ESP32 microcontroller serving as the main processing unit, responsible for reading the acoustic sensor, processing the sound data, transmitting the data, and controlling the alarm. The results show that the system effectively monitors noise levels and provides responsive alerts. It is expected that this system can help create a quieter, more comfortable learning environment and support improvements in the quality of the learning process.

Article History

Submitted: 22 Januari 2026

Accepted: 25 Januari 2026

Published: 26 Januari 2026

Key Words

Noise Monitoring, Acoustic Sensor, Data Visualization, Automatic Alarm, ESP32, Quiet Learning Zone.

Abstrak (Indonesia)

Kondisi lingkungan belajar yang nyaman dan tenang merupakan faktor yang sangat penting dalam meningkatkan konsentrasi serta efektivitas proses pembelajaran. Namun demikian, tingkat kebisingan yang tinggi di ruang belajar dapat mengganggu fokus siswa dan menurunkan kualitas belajar. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat memantau tingkat kebisingan secara real-time serta memberikan peringatan apabila ambang batas yang ditentukan terlampaui. Sehingga dirancanglah sistem monitoring kebisingan berbasis sensor akustik yang dilengkapi dengan fitur visualisasi data dan alarm otomatis yang bertujuan untuk mendeteksi tingkat kebisingan di lingkungan belajar, kemudian data yang diperoleh diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada dashboard digital. Selain itu, sistem juga dirancang untuk mengaktifkan alarm otomatis apabila tingkat kebisingan melebihi batas yang telah ditetapkan, sehingga pengelola atau pengguna ruang belajar dapat segera melakukan tindakan yang diperlukan. Sistem ini menggunakan sensor akustik INMP411 untuk mendeteksi tingkat kebisingan di lingkungan belajar dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama yang berfungsi untuk membaca sensor akustik, memproses data suara, mengirimkan data dan mengontrol alarm. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat membantu menciptakan lingkungan belajar yang lebih tenang, nyaman, dan mendukung peningkatan kualitas proses pembelajaran.

Sejarah Artikel

Submitted: 22 Januari 2026

Accepted: 25 Januari 2026

Published: 26 Januari 2026

Kata Kunci

Monitoring Kebisingan, Sensor Akustik, Visualisasi Data, Alarm Otomatis, ESP32, Zona Belajar Tenang.

PENDAHULUAN

Lingkungan belajar yang tenang merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung konsentrasi dan efektivitas proses pembelajaran. Ruang kelas, perpustakaan, dan ruang belajar mandiri seharusnya memiliki tingkat kebisingan yang rendah agar peserta didik dapat fokus menerima dan mengolah informasi. Namun, pada praktiknya, kebisingan dari aktivitas manusia, peralatan elektronik, dan lingkungan sekitar sering kali sulit dikendalikan dan menyebabkan gangguan terhadap proses belajar.

Paparan kebisingan yang melebihi batas kenyamanan dapat berdampak negatif terhadap kemampuan kognitif, tingkat konsentrasi, serta kenyamanan psikologis. Dalam jangka panjang, kondisi lingkungan belajar yang bising berpotensi menurunkan kualitas pembelajaran dan produktivitas peserta didik. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memantau tingkat kebisingan secara objektif dan berkelanjutan sebagai dasar pengendalian lingkungan belajar.

Selama ini, pengawasan kebisingan di ruang belajar umumnya masih dilakukan secara manual melalui teguran atau pengamatan petugas. Pendekatan tersebut bersifat subjektif, tidak konsisten, dan tidak menyediakan data historis yang dapat digunakan untuk evaluasi. Penggunaan alat ukur kebisingan konvensional juga memiliki keterbatasan karena tidak terintegrasi dengan sistem pemantauan daring dan tidak mendukung pengambilan data secara real-time dalam jangka panjang.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara otomatis, real-time, dan terhubung ke jaringan internet. Dengan memanfaatkan sensor akustik digital dan mikrokontroler yang memiliki kemampuan komunikasi nirkabel, data kebisingan dapat dikumpulkan, disimpan, dan dianalisis secara berkelanjutan melalui platform berbasis cloud. Pendekatan ini membuka peluang untuk membangun sistem pemantauan kebisingan yang lebih akurat, efisien, dan mudah diakses.

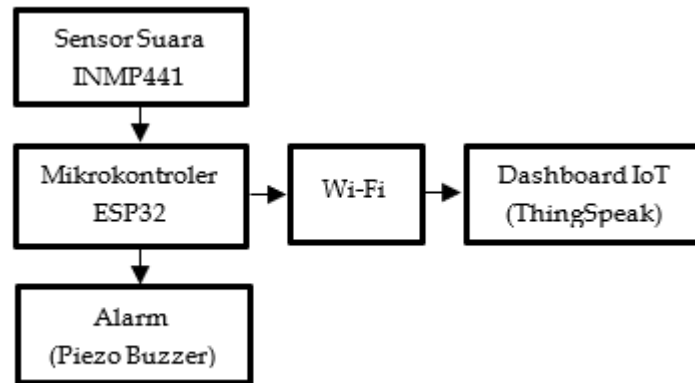
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem monitoring kebisingan berbasis IoT menggunakan sensor INMP441 dan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan alarm otomatis dan platform ThingSpeak sebagai media visualisasi data. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi tingkat kebisingan secara real-time, memberikan peringatan ketika ambang batas terlampaui, serta menyediakan data historis untuk evaluasi kondisi lingkungan belajar. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan menguji kinerja sistem monitoring kebisingan berbasis IoT dalam mendeteksi tingkat kebisingan, mengaktifkan alarm secara otomatis, serta menampilkan data kebisingan secara real-time dan historis guna mendukung terciptanya zona belajar yang lebih kondusif.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan sistem monitoring kebisingan berbasis Internet of Things (IoT) pada lingkungan pendidikan dan fasilitas umum. Sistem yang dikembangkan umumnya mampu melakukan pemantauan tingkat kebisingan secara daring dan menampilkan data hasil pengukuran. Namun, sebagian penelitian masih berfokus pada fungsi monitoring tanpa dilengkapi mekanisme peringatan otomatis dan penyimpanan data historis yang terintegrasi secara optimal. Selain itu, akurasi dan respons sistem terhadap perubahan tingkat kebisingan sering kali belum dievaluasi secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan integrasi pemantauan kebisingan secara real-time, alarm otomatis, serta evaluasi kinerja sistem melalui pengujian akurasi dan waktu respon guna mendukung pengelolaan zona belajar yang lebih efektif dan berbasis data.

METODE

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kebisingan berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendukung zona belajar tenang seperti ruang kelas dan perpustakaan. Sistem terdiri dari sensor akustik digital INMP441, mikrokontroler ESP32, buzzer sebagai alarm peringatan, dan platform ThingSpeak sebagai media penyimpanan serta visualisasi data.

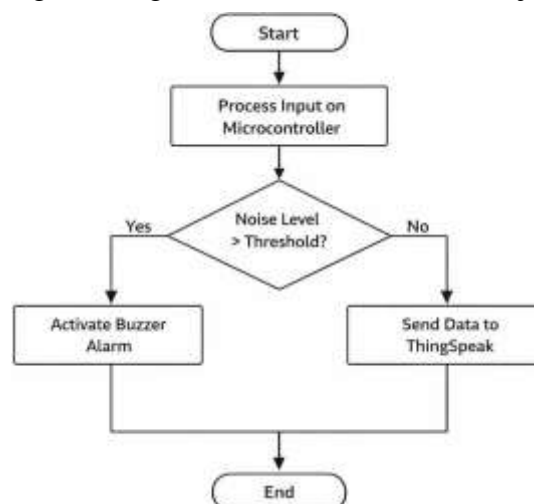
Sensor INMP441 menangkap suara lingkungan dan mengirimkan data audio digital ke ESP32 untuk diproses menjadi nilai tingkat kebisingan dalam satuan desibel (dB). Nilai tersebut dibandingkan dengan ambang batas kebisingan zona belajar sebesar 40 dB untuk menentukan aktivasi alarm dan pengiriman data ke server IoT. Gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem dan alur data pada sistem monitoring kebisingan yang dikembangkan.



Gambar 1. Blok Diagram

Berdasarkan Gambar 1, sinyal suara yang diterima oleh sensor INMP441 dikirimkan ke ESP32 sebagai unit pemrosesan utama. ESP32 berfungsi mengolah data suara menjadi nilai kebisingan, mengendalikan buzzer sebagai alarm ketika ambang batas terlampaui, serta mengirimkan data kebisingan ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi. ThingSpeak digunakan untuk menampilkan data kebisingan dalam bentuk grafik dan menyimpan data sebagai histori pemantauan, sehingga kondisi kebisingan dapat dipantau secara real-time dan berkelanjutan.

Setelah arsitektur sistem ditetapkan, proses kerja sistem monitoring kebisingan dirancang dalam bentuk algoritma yang dijalankan oleh mikrokontroler ESP32. Algoritma ini mengatur tahapan pembacaan data suara, perhitungan tingkat kebisingan, pengambilan keputusan berdasarkan ambang batas, serta pengendalian alarm dan pengiriman data ke platform IoT. Alur kerja sistem monitoring kebisingan secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Flowchart Sistem

Berdasarkan Gambar 2, sistem dimulai dengan proses inisialisasi ESP32 dan konfigurasi sensor INMP441 serta koneksi Wi-Fi. Selanjutnya, ESP32 membaca data audio dari sensor dan mengolahnya untuk memperoleh nilai kebisingan dalam satuan desibel (dB). Nilai kebisingan tersebut kemudian dibandingkan dengan ambang batas yang telah ditentukan. Apabila nilai kebisingan melebihi 40 dB, buzzer akan diaktifkan sebagai alarm peringatan,

sedangkan data kebisingan tetap dikirimkan ke ThingSpeak untuk ditampilkan dan disimpan sebagai data historis. Jika nilai kebisingan berada di bawah ambang batas, buzzer tetap dalam kondisi tidak aktif dan sistem terus melakukan pemantauan secara berulang.

Pengujian sistem dilakukan menggunakan tiga jenis sumber suara, yaitu suara percakapan, suara musik, dan suara kendaraan. Sound Level Meter (SLM) digunakan sebagai alat pembanding untuk mengevaluasi akurasi pengukuran sistem. Untuk setiap jenis sumber suara dilakukan sebanyak 30 kali pengukuran, dengan posisi sensor INMP441 dan SLM ditempatkan pada lokasi yang sama untuk memastikan kondisi pengukuran yang seragam. Nilai error rata-rata digunakan sebagai indikator tingkat ketelitian sistem. Akurasi sistem dihitung dengan membandingkan nilai kebisingan yang diukur oleh sistem dengan nilai dari SLM menggunakan persamaan persentase error, yaitu:

$$Error(\%) = \frac{|D_{sensor} - D_{SLM}|}{D_{SLM}} \times 100\%.$$

Dimana :

Error (%) : Kesalahan sensor dari sistem

D_{sensor} : Data dari sensor sistem

D_{SLM} : Data dari pembanding SLM

Pengujian waktu respon dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memberikan peringatan secara real-time. Waktu respon dihitung sebagai selisih antara waktu ketika tingkat kebisingan terdeteksi melebihi ambang batas dan waktu ketika buzzer aktif, yang dinyatakan sebagai

$$T_{respon} = T_{buzzer} - T_{deteksi}$$

Dimana :

T_{respon} : waktu respon sistem

T_{buzzer} : waktu saat buzzer aktif

$T_{deteksi}$: waktu saat terdeteksi tingkat kebisingan melampaui ambang batas

Penentuan ambang batas kebisingan sebesar 40 dB didasarkan pada standar kenyamanan ruang belajar yang merekomendasikan tingkat kebisingan rendah untuk menjaga konsentrasi dan kenyamanan pengguna. Pengujian sistem dilakukan sebanyak 30 kali pengukuran pada setiap skenario untuk memperoleh data yang representatif dan mengurangi pengaruh fluktuasi kebisingan lingkungan. Seluruh pengujian dilaksanakan pada kondisi ruangan yang sama dengan posisi sensor dan alat ukur referensi yang sejajar, sehingga perbedaan hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh faktor jarak maupun orientasi perangkat. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil evaluasi kinerja sistem mencerminkan kondisi pengujian yang konsisten dan dapat direproduksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Grafik pada ThingSpeak

Gambar 3 menunjukkan hasil pemantauan tingkat kebisingan lingkungan menggunakan platform ThingSpeak selama periode pengujian. Grafik tersebut memperlihatkan fluktuasi tingkat kebisingan pada berbagai rentang waktu, yang dipengaruhi oleh aktivitas lingkungan sekitar. Sistem mampu merekam variasi tingkat kebisingan secara kontinu dan real-time, baik pada kondisi kebisingan rendah maupun tinggi. Hasil pemantauan ini membuktikan bahwa sistem dapat beroperasi secara stabil dan berkelanjutan dalam memantau kondisi kebisingan di lingkungan belajar.

Pengujian akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor INMP441 terhadap Sound Level Meter (SLM) sebagai alat ukur referensi. Pengujian mencakup tiga jenis sumber kebisingan, yaitu suara percakapan, musik, dan kendaraan, untuk mengevaluasi konsistensi kinerja sistem pada berbagai karakteristik suara. Ringkasan hasil pengujian akurasi dari sumber kebisingan percakapan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Pengujian Sensor dengan Sumber suara Percakapan

Parameter	Nilai
Sumber kebisingan	Percakapan
Jumlah pengujian	30
Rentang pengukuran (dB)	50-60
Error minimum (%)	0,17
Error maksimum (%)	1,86
Error rata-rata (%)	$\pm 1,18$

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 30 kali pengukuran terhadap seluruh variasi sumber kebisingan menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kesalahan pengukuran yang relatif kecil. Nilai error minimum yang diperoleh sebesar 0,17% dan error maksimum sebesar 1,86%, dengan rata-rata error sekitar 1,18%.

Tabel 2. Ringkasan Pengujian Sensor dengan Sumber Suara Musik

Parameter	Nilai
Sumber kebisingan	Musik
Jumlah pengujian	30

Rentang pengukuran (dB)	51-68
Error minimum (%)	0,29
Error maksimum (%)	1,78
Error rata-rata (%)	$\pm 1,15$

Berdasarkan Tabel 2 hasil pengujian sebanyak 30 kali pengukuran dari sumber kebisingan musik, diperoleh nilai error minimum sebesar 0,29% dan error maksimum sebesar 1,78%, dengan rata-rata error sekitar 1,15%.

Tabel 3. Ringkasan Pengujian Sensor dengan Sumber Suara Kendaraan

Parameter	Nilai
Sumber kebisingan	Kendaraan
Jumlah pengujian	30
Rentang pengukuran (dB)	49-55
Error minimum (%)	0,58
Error maksimum (%)	1,96
Error rata-rata (%)	$\pm 1,18$

Berdasarkan Tabel 3 hasil pengujian sebanyak 30 kali pengukuran dari sumber kebisingan Kendaraan, diperoleh nilai error minimum sebesar 0,58% dan error maksimum sebesar 1,96%, dengan rata-rata error sekitar 1,18%. Nilai error yang relatif kecil dan konsisten menunjukkan bahwa sensor INMP441 memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat diandalkan untuk aplikasi monitoring kebisingan lingkungan. Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik sumber suara tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja sistem.

Pengujian waktu respon dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memberikan peringatan secara cepat dan tepat ketika tingkat kebisingan terdeteksi melebihi ambang batas 40 dB. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa sistem mampu merespons perubahan kondisi kebisingan secara real-time, sehingga peringatan yang diberikan tidak mengalami keterlambatan yang signifikan. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi kebisingan yang mewakili aktivitas umum di lingkungan belajar, meliputi suara percakapan, musik, dan suara kendaraan, guna menilai konsistensi kinerja sistem terhadap perbedaan karakteristik sumber suara. Ringkasan hasil pengujian waktu respon buzzer disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Pengujian Waktu Respon Real-time Buzzer

Parameter	Nilai
Jumlah pengujian	30
Waktu respon minimum (ms)	32
Waktu respon maksimal (ms)	714

Rata-rata waktu respon (ms)	± 430
Kategori	Real-time

Berdasarkan hasil pengujian, sistem memiliki waktu respon minimum sebesar 32 ms dan waktu respon maksimum sebesar 714 ms, dengan rata-rata waktu respon sekitar 430 ms. Seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa buzzer dapat aktif dalam waktu kurang dari 1 detik setelah tingkat kebisingan terdeteksi melebihi ambang batas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan secara real-time dan efektif digunakan sebagai sistem peringatan dini pada zona belajar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi karakteristik sumber kebisingan, seperti percakapan, musik, dan suara kendaraan, tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kinerja sistem. Hal ini ditunjukkan oleh nilai error pengukuran yang relatif konsisten pada seluruh skenario pengujian. Konsistensi tersebut mengindikasikan bahwa sensor INMP441 dan algoritma pemrosesan yang digunakan mampu merespons berbagai pola suara dengan baik, sehingga sistem tidak hanya efektif pada satu jenis sumber kebisingan tertentu, tetapi juga dapat diterapkan pada kondisi lingkungan belajar yang dinamis.

Selain itu, integrasi pemantauan real-time dengan penyimpanan data historis melalui platform ThingSpeak memberikan nilai tambah dalam evaluasi lingkungan belajar. Data historis memungkinkan analisis pola kebisingan berdasarkan waktu dan aktivitas tertentu, yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan ruang belajar. Dengan adanya alarm otomatis dan data yang terdokumentasi secara berkelanjutan, sistem ini memberikan pendekatan yang lebih objektif dan sistematis dibandingkan metode pengawasan kebisingan secara manual yang bergantung pada pengamatan subjektif.

Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring kebisingan berbasis IoT yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi dan waktu respon yang kompetitif dibandingkan dengan penelitian sejenis. Beberapa studi sebelumnya melaporkan sistem monitoring kebisingan berbasis mikrokontroler dan platform IoT yang mampu melakukan pemantauan kebisingan secara daring, namun masih memiliki keterbatasan pada aspek respon sistem atau tidak dilengkapi dengan mekanisme peringatan otomatis. Dengan rata-rata error pengukuran sekitar 1,18% dan waktu respon alarm kurang dari 1 detik, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini menunjukkan kinerja yang sebanding atau lebih baik dalam hal ketepatan pengukuran dan kecepatan respon. Selain itu, integrasi pemantauan real-time, alarm otomatis, serta penyimpanan data historis memberikan nilai tambah dibandingkan sistem yang hanya berfokus pada visualisasi data tanpa fungsi peringatan, sehingga sistem ini lebih aplikatif untuk pengelolaan lingkungan belajar secara langsung.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring kebisingan berbasis IoT yang dikembangkan mampu bekerja secara akurat, responsif, dan konsisten pada berbagai sumber kebisingan. Integrasi antara pemantauan real-time, alarm otomatis, serta penyimpanan data historis melalui platform ThingSpeak menjadikan sistem ini lebih efektif dibandingkan metode pengawasan kebisingan manual. Dengan demikian, sistem ini berpotensi mendukung terciptanya lingkungan belajar yang lebih tenang dan kondusif.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil, pengujian dan pembahasan yang sudah dilakukan, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring kebisingan berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendukung terciptanya zona belajar yang lebih tenang dan kondusif. Sistem yang dibangun menggunakan sensor akustik INMP441 dan mikrokontroler ESP32 mampu memantau tingkat kebisingan secara real-time, mengaktifkan alarm otomatis ketika ambang batas 40 dB

terlampau, serta mengirim dan menyimpan data kebisingan pada platform ThingSpeak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara stabil dan berkelanjutan dalam memantau kondisi kebisingan lingkungan belajar.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja, sistem memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata error pengukuran sekitar 1,18% dibandingkan Sound Level Meter serta waktu respon alarm rata-rata sekitar 430 ms yang tergolong real-time. Kinerja tersebut menunjukkan bahwa sistem layak digunakan sebagai alat pemantauan dan peringatan dini kebisingan di lingkungan belajar. Ke depan, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur analisis data, notifikasi berbasis aplikasi, serta integrasi dengan sistem manajemen lingkungan belajar yang lebih luas.

Selain itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT pada pemantauan kebisingan dapat menjadi solusi yang efektif dan praktis dalam menjaga kualitas lingkungan belajar. Keberadaan sistem monitoring yang bekerja secara otomatis dan terdokumentasi secara digital memungkinkan pengelolaan kebisingan dilakukan secara lebih objektif, terukur, dan berkelanjutan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat peringatan, tetapi juga sebagai sarana pendukung dalam perencanaan dan pengelolaan zona belajar yang berorientasi pada kenyamanan dan peningkatan konsentrasi pengguna ruang belajar.

Saran

1. Pengembangan sistem selanjutnya dapat diarahkan pada penambahan fitur notifikasi berbasis aplikasi mobile atau layanan pesan instan, seperti email atau platform perpesanan daring, sehingga peringatan kebisingan tidak hanya mengandalkan buzzer sebagai indikator lokal. Dengan adanya notifikasi jarak jauh, pengelola ruang belajar dapat menerima informasi kebisingan secara real-time meskipun tidak berada di lokasi, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efektif.
2. Akurasi sistem monitoring kebisingan berpotensi ditingkatkan melalui proses kalibrasi sensor yang lebih komprehensif dengan alat ukur standar atau melalui penerapan metode kalibrasi berkala. Selain itu, penggunaan lebih dari satu sensor akustik pada satu area pengukuran dapat dipertimbangkan untuk mengurangi pengaruh noise lokal dan meningkatkan kestabilan hasil pengukuran pada berbagai kondisi lingkungan yang dinamis.
3. Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan pengujian sistem dalam rentang waktu yang lebih panjang serta pada lebih banyak lokasi dengan karakteristik kebisingan yang beragam, seperti ruang kelas, perpustakaan, dan area terbuka. Pengujian jangka panjang dan multisite ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai keandalan, konsistensi, dan daya tahan sistem dalam penggunaan nyata.
4. Sistem monitoring kebisingan berbasis IoT yang dikembangkan pada penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi dengan sistem manajemen lingkungan belajar atau dashboard pemantauan terpusat. Integrasi tersebut memungkinkan visualisasi data yang lebih terstruktur dan analisis tren kebisingan secara menyeluruh, sehingga dapat menjadi dasar pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan zona belajar yang kondusif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Valendra, K., Tasmi, & Setiawan, C. (2024). *Pengembangan Sistem Pendeteksi Kebisingan Otomatis pada Perpustakaan Menggunakan Google Assistant dan ESP32 berbasis Voice Recognition*. Journal of Intelligent Networks and IoT Global, 2(1).
- Purwanto, A., & Widodo, S. (2020). *Pengembangan Sistem Pemantauan Kebisingan Berbasis IoT pada Area Perpustakaan*. Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, 8(3), 219–226.

- Wibowo, A., & Supriyanto, A. (2018). *Perancangan Sistem Pemantauan Suara Berbasis Arduino dan ESP8266 pada Ruang Belajar*. Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan, 6(2), 72–78.
- Suryanto, B., & Anggraini, D. (2020). *Implementasi Sistem Peringatan Dini Kebisingan Ruang Belajar Menggunakan Sensor Suara dan Buzzer Berbasis IoT*. Jurnal Inovasi Teknologi, 10(2), 87–94.
- Mylonas, G., Pocero Fraile, L., Tsampas, S., & Kalogeras, A. (2023). *A Study on Indoor Noise Levels in a Set of School Buildings in Greece utilizing an IoT infrastructure*. ArXiv.
- Arija, I. (2025). *Perancangan Sistem Pemantauan Kebisingan Berbasis IoT dengan Metode Komunikasi Half-Duplex Menggunakan ESP32 di Masjid Fathun Qarib dan Perpustakaan UIN Ar-Raniry* (Tesis). UIN Ar-Raniry.
- Zepriyadi, I., Yacoub, R. R., Marpaung, J., Imansyah, F., & Saleh, M. (2022). *Implementasi Sistem Monitoring Jarak Jauh Tingkat Kebisingan Suara Menggunakan Transceiver SX1278*.
- Fadhil, T., Hayati, R., & Misriana, M. (2021). *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebisingan Suara dan Pemberi Peringatan di Perpustakaan Politeknik Negeri Lhokseumawe berbasis IoT Notifikasi Telegram*. Jurnal TEKTRON, 7(2).
- Zepriyadi, I., Yacoub, R. R., Marpaung, J., Imansyah, F., & Saleh, M. (2022). *Implementasi Sistem Monitoring Jarak Jauh Tingkat Kebisingan Suara Menggunakan Transceiver SX1278*.
- Fitri, S., Siradjuddin, I., Permatasari, D. A., Wahono, W. T., & Albastomi, A. Y. (2024). *Perancangan Prototype Monitoring dan Akuisi Data Pengujian Noise Trafo Berbasis ESP32*. Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, 11(3), 196–200.