

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMBILAN KEPUTUSAN PENDETEKSI KANTUK PENGEMUDI BERBASIS INTERNET OF THINGS DENGAN OUTPUT PERINGATAN MENGGUNAKAN ALGORITMA NAIVE BAYES

M. Gading Dimas Nugraha^{1*}, Mhd. Basri²

¹⁻² Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

*Penulis Korespondensi: mhd.basri@umsu.ac.id

Abstract. *Drowsiness while driving is a factor that can reduce driver concentration and alertness, thereby increasing the risk of accidents, particularly during heavy vehicle operations at construction sites. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based driver drowsiness detection system by implementing the Naive Bayes algorithm as a classification method and a buzzer as a warning device. This research employs the Research and Development (R&D) method with a descriptive quantitative approach. The developed system uses an ESP32 microcontroller, an FC-51 infrared sensor to detect eye conditions, and an MPU6050 sensor to obtain head inclination values based on pitch and roll parameters. Sensor data are transmitted via a Wi-Fi network to a Python- and Flask-based server for processing using the Naive Bayes algorithm. The classification results are divided into three categories: normal, drowsy, and very drowsy. The prediction results are sent back to the ESP32 to control the buzzer as an audible warning for the driver. Furthermore, sensor data and classification results are stored in Firebase Realtime Database and displayed on a web-based monitoring dashboard, allowing the driver's condition to be monitored remotely. The results indicate that the system was successfully implemented and can integrate sensor readings, data transmission, classification, audible warnings, data storage, and website-based monitoring. This system is expected to support efforts to improve driver safety and assist project supervisors in monitoring drivers' conditions.*

Keywords: *Internet of Things, driver drowsiness, Naive Bayes, ESP32, MPU6050, Firebase*

Abstrak. Kantuk saat mengemudi merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan konsentrasi dan kewaspadaan pengemudi sehingga meningkatkan risiko kecelakaan, khususnya pada operasional kendaraan berat di lingkungan proyek konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pendeteksi kantuk pengemudi berbasis Internet of Things (IoT) dengan menerapkan algoritma Naive Bayes sebagai metode klasifikasi serta buzzer sebagai perangkat peringatan. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor inframerah FC-51 untuk mendeteksi kondisi mata, serta sensor MPU6050 untuk memperoleh nilai kemiringan kepala berdasarkan parameter pitch dan roll. Data sensor dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke server berbasis Python dan Flask untuk diproses menggunakan algoritma Naive Bayes. Hasil klasifikasi dibagi menjadi tiga kategori, yaitu normal, mengantuk, dan sangat mengantuk. Hasil prediksi dikirimkan kembali ke ESP32 untuk mengendalikan buzzer sebagai peringatan kepada pengemudi. Selain itu, data sensor dan hasil klasifikasi disimpan melalui Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada website monitoring sehingga kondisi pengemudi dapat dipantau secara jarak jauh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil diimplementasikan dan mampu mengintegrasikan pembacaan sensor, pengiriman data, proses klasifikasi, pemberian peringatan suara, penyimpanan data, serta pemantauan melalui website. Sistem ini diharapkan dapat mendukung upaya peningkatan keselamatan pengemudi dan membantu proses pemantauan kondisi pengemudi oleh pengawas proyek.

Kata kunci: Internet of Things, kantuk pengemudi, Naive Bayes, ESP32, MPU6050, Firebase

1. LATAR BELAKANG

Keselamatan kerja merupakan aspek krusial dalam proyek konstruksi, terutama terkait dengan operasional kendaraan berat seperti truk pengangkut material. Pengemudi truk sering bekerja dalam durasi panjang dan di lingkungan kerja yang berat, meningkatkan risiko kelelahan dan kantuk saat berkendara. Kondisi ini dapat menurunkan tingkat konsentrasi dan kewaspadaan, yang berujung pada kecelakaan kerja yang membahayakan pengemudi dan pekerja lain serta dapat menimbulkan kerugian material bagi perusahaan.

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kelelahan dan kantuk adalah penyebab utama kecelakaan kendaraan, karena dapat mengurangi kemampuan pengemudi dalam mengendalikan kendaraan dan merespons lingkungan secara cepat. Pada sektor transportasi kendaraan berat, perilaku pengemudi menjadi faktor penting yang mempengaruhi keselamatan berkendara. Kelelahan, stres kerja, dan durasi mengemudi yang panjang meningkatkan risiko kecelakaan kendaraan, terutama di area proyek konstruksi yang penuh dengan aktivitas.

Seiring perkembangan teknologi, penelitian telah mengembangkan sistem pendeteksi kantuk pengemudi yang memanfaatkan berbagai sensor dan metode pemantauan. Salah satu pendekatan yang banyak dipakai adalah penggunaan sensor gerakan seperti Inertial Measurement Unit (IMU) yang dapat mendeteksi perubahan sudut dan gerakan kepala pengemudi. Sensor IMU yang terdiri dari accelerometer dan gyroscope mampu memantau gerakan kepala secara real-time dan memberikan akurasi tinggi dalam mendeteksi kondisi kantuk.

Selain sensor gerakan, Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam pengembangan sistem monitoring berbasis sensor. IoT memungkinkan berbagai perangkat elektronik dan sensor untuk terhubung melalui jaringan internet, sehingga data yang diperoleh dapat dikirim dan diproses secara real-time. Dengan menggunakan teknologi ini, informasi mengenai kondisi pengemudi dapat dikumpulkan dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis web untuk pemantauan jarak jauh.

Meskipun banyak penelitian sebelumnya fokus pada sistem peringatan lokal yang hanya memberikan alarm kepada pengemudi, sistem tersebut tidak cukup efektif dalam

konteks proyek konstruksi. Diperlukan sistem yang tidak hanya mendeteksi kantuk tetapi juga mengirimkan informasi secara real-time kepada pengawas proyek. Hal ini penting agar pengawasan terhadap kondisi pengemudi dapat dilakukan dengan lebih baik.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pendeteksi kantuk pengemudi truk proyek berbasis IoT yang terintegrasi dengan sistem monitoring berbasis web. Dengan sensor MPU6050 dan sensor IR, diharapkan sistem ini dapat meningkatkan keselamatan kerja pada operasional kendaraan proyek dan meminimalkan risiko kecelakaan akibat kantuk saat mengemudi.

2. KAJIAN TEORITIS

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan paradigma teknologi yang memungkinkan perangkat fisik terhubung melalui jaringan internet untuk saling bertukar data secara otomatis. IoT mengintegrasikan komponen seperti sensor, aktuator, perangkat lunak, dan teknologi komunikasi, sehingga objek fisik dapat mengumpulkan dan mengirimkan data secara real-time. Implementasi IoT telah diterapkan di berbagai bidang, termasuk industri, transportasi, kesehatan, dan lingkungan. Secara arsitektur, IoT terdiri dari tiga lapisan utama: perception layer, network layer, dan application layer, yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam proses pengumpulan, pengiriman, dan analisis data. Meskipun memiliki potensi besar, IoT juga menghadapi tantangan seperti keamanan data, privasi pengguna, dan interoperabilitas antar perangkat.

Kantuk Pada Pengemudi

Kantuk pada pengemudi adalah kondisi di mana tingkat kewaspadaan menurun akibat kelelahan fisik atau mental. Hal ini dapat berdampak pada konsentrasi, waktu reaksi, dan kemampuan pengambilan keputusan saat berkendara. Beberapa faktor penyebab kantuk antara lain kurang tidur, durasi mengemudi yang panjang, dan lingkungan yang monoton. Penurunan kewaspadaan ini berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas, sehingga pemahaman akan aspek fisiologis dan perilaku kantuk sangat penting dalam mengembangkan pendekatan preventif.

Sensor Inframerah

Sensor inframerah bekerja dengan memanfaatkan gelombang inframerah untuk mendeteksi objek atau perubahan kondisi tertentu. Pada sistem pendeteksi kantuk pengemudi, sensor ini digunakan untuk mengukur durasi dan frekuensi penutupan mata. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada perbedaan intensitas pantulan cahaya inframerah, yang dapat menunjukkan apakah mata terbuka atau tertutup. Penggunaan sensor ini sebagai indikator utama kantuk memungkinkan identifikasi kondisi mengantuk secara lebih akurat.

Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 adalah sensor Inertial Measurement Unit (IMU) yang mengintegrasikan accelerometer dan gyroscope. Sensor ini digunakan untuk mengukur percepatan dan kecepatan sudut, yang dapat membantu mengetahui perubahan posisi dan orientasi secara real-time. Kemampuannya dalam mendeteksi gerakan dan orientasi membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk sistem monitoring gerakan. MPU6050 berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan protokol I2C, sehingga memudahkan integrasi dengan platform mikrokontroler.

Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dirancang untuk mendukung sistem embedded dan IoT. Dikenal karena kemampuannya dalam pemrosesan data yang tinggi dan fitur komunikasi nirkabel seperti WiFi dan Bluetooth, ESP32 memungkinkan perangkat terhubung dengan jaringan internet. Mikrokontroler ini memiliki berbagai fitur pendukung yang memudahkan integrasi dengan sensor. Dengan dukungan platform pengembangan seperti Arduino IDE, ESP32 menjadi pilihan populer dalam pengembangan sistem IoT.

Active Buzzer

Active buzzer adalah komponen elektronik yang berfungsi sebagai perangkat output untuk menghasilkan suara atau bunyi sebagai indikator atau alarm. Berbeda dengan passive buzzer, active buzzer memiliki rangkaian osilator internal, sehingga dapat menghasilkan bunyi secara langsung saat diberi tegangan listrik. Penggunaan active buzzer dalam berbagai sistem elektronik membantu pengguna merespons kondisi tertentu

dengan cepat, menjadikannya komponen penting dalam aplikasi sistem alarm dan monitoring.

Algoritma Naive Bayes

Naïve Bayes adalah algoritma klasifikasi berbasis probabilitas yang menggunakan Teorema Bayes dengan asumsi independensi fitur. Metode ini menghitung probabilitas data termasuk dalam kelas tertentu berdasarkan probabilitas awal dan kemunculan fitur. Keunggulan Naïve Bayes terletak pada struktur yang sederhana dan proses komputasi yang cepat, sehingga banyak diterapkan dalam machine learning dan data mining. Meskipun memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam asumsi independensi, algoritma ini tetap populer karena kemudahan implementasi dan kinerja yang baik.

Baterai Lithium Polymer (Li-Po)

Baterai Lithium Polymer (Li-Po) adalah jenis baterai isi ulang yang menggunakan elektrolit berbasis polimer. Keunggulan baterai ini terletak pada bobot ringan, bentuk fleksibel, dan kepadatan energi yang tinggi, membuatnya ideal untuk perangkat elektronik portabel. Prinsip kerja baterai Li-Po melibatkan perpindahan ion lithium antara anoda dan katoda, yang mendukung pengisian dan pengosongan energi. Meskipun memiliki kelebihan, baterai Li-Po juga sensitif terhadap kondisi tertentu, sehingga memerlukan sistem pengaman.

Modul Charger Baterai TP4056

Modul charger TP4056 dirancang khusus untuk mengisi baterai lithium-ion atau lithium polymer dengan konfigurasi single cell. Menggunakan metode pengisian constant current dan constant voltage, modul ini menjamin proses pengisian yang stabil dan efisien. Dilengkapi dengan fitur proteksi untuk mencegah overcharging dan arus pendek, TP4056 banyak digunakan dalam perangkat portabel dan IoT, meningkatkan keamanan serta memperpanjang umur pakai baterai.

Firebase

Firebase adalah platform pengembangan aplikasi berbasis cloud yang menyediakan layanan backend untuk aplikasi web dan mobile. Dengan fitur seperti Realtime Database, Authentication, dan Cloud Storage, Firebase memfasilitasi pengelolaan data aplikasi secara efisien. Realtime Database memungkinkan penyimpanan dan sinkronisasi data

secara langsung antara perangkat yang terhubung. Kemampuannya dalam mendukung komunikasi data secara real-time menjadikan Firebase pilihan populer dalam pengembangan sistem berbasis IoT.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan produk serta menguji keefektifan produk tersebut sebelum digunakan secara luas. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pendeteksi kantuk pengemudi berbasis Internet of Things (IoT), yang memanfaatkan berbagai sensor untuk mendeteksi kondisi pengemudi. Dengan meningkatnya risiko kecelakaan lalu lintas akibat pengemudi yang mengantuk, penelitian ini berusaha memberikan solusi yang relevan dan inovatif.

Desain penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif, di mana data numerik dari pembacaan sensor dianalisis untuk menentukan efektivitas sistem. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dengan ketersediaan fasilitas yang memadai untuk pengembangan dan pengujian sistem. Proses penelitian mencakup perancangan, pemrograman, integrasi sensor, dan pengujian sistem.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium yang dipilih berdasarkan fasilitas yang mendukung perancangan dan pengujian perangkat IoT. Jadwal penelitian diatur untuk memastikan bahwa setiap tahapan, mulai dari penulisan proposal hingga penyusunan laporan akhir, dapat dilakukan dengan sistematis dan terarah. Hal ini membantu menjaga kelancaran proses penelitian.

Prosedur penelitian mengikuti tahapan sistematis dalam pengembangan sistem. Tahap awal melibatkan identifikasi masalah dan potensi teknologi yang dapat digunakan untuk menyelesaikannya. Permasalahan utama yang dihadapi adalah tingginya angka kecelakaan lalu lintas akibat pengemudi yang mengantuk. Teknologi IoT dimanfaatkan untuk mendeteksi kondisi pengemudi dan memberikan peringatan secara otomatis.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi informasi dari sensor infrared yang mendeteksi kedipan mata dan sensor MPU6050 yang membaca kemiringan kepala. Data tersebut kemudian dilabeli menjadi dua kategori: mengantuk dan tidak mengantuk.

Metode studi literatur serta pengambilan data sensor mendukung pengumpulan informasi yang diperlukan dalam perancangan sistem.

Tahap desain produk mencakup perancangan arsitektur sistem, perangkat keras, dan perangkat lunak yang diperlukan. Sistem terdiri dari beberapa komponen utama seperti mikrokontroler ESP32, sensor infrared, dan sensor MPU6050. Validasi desain dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

Uji coba produk dilakukan untuk menilai kinerja sistem dalam kondisi pengujian yang sudah ditentukan, dengan memonitor kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi pengemudi. Proses ini mencakup simulasi kondisi normal dan mengantuk, serta pengaktifan buzzer sebagai peringatan. Hasil pengujian dicatat untuk evaluasi efektivitas sistem.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif untuk menentukan tingkat efektivitas sistem. Pengujian sistem dilakukan untuk menilai keberhasilan dalam mendeteksi kondisi pengemudi. Persentase keberhasilan dihitung dengan membandingkan jumlah deteksi yang benar dengan total pengujian, menggunakan rumus yang telah ditentukan.

Penelitian ini menghasilkan sistem pendeteksi kantuk pengemudi berbasis IoT yang telah melalui berbagai tahapan pengembangan dan pengujian. Dengan menggunakan metode klasifikasi Naïve Bayes, sistem dapat mendeteksi kondisi pengemudi secara efektif, yang diharapkan dapat mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi untuk meningkatkan keselamatan berkendara

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi prototipe sistem pendeteksi tingkat kantuk pengemudi yang berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini dirancang untuk mendeteksi kondisi pengemudi dengan memanfaatkan dua parameter utama, yaitu posisi kepala yang diukur menggunakan sensor MPU6050 dan kondisi mata yang dideteksi melalui sensor FC-51. Data yang diperoleh dari kedua sensor ini diproses oleh mikrokontroler ESP32, yang bertindak sebagai pusat pengendali dan penghubung

antara sensor dan server. Proses pengiriman data dilakukan melalui komunikasi HTTP menggunakan jaringan WiFi untuk selanjutnya diproses oleh server Flask yang dibangun dengan Python.

Hasil pengolahan data oleh server menggunakan metode klasifikasi Naïve Bayes membagi kondisi pengemudi menjadi tiga kategori: NORMAL, DROWSY, dan VERY_DROWSY. Setelah proses klasifikasi, hasil prediksi dikirimkan kembali ke ESP32 untuk mengendalikan buzzer sebagai perangkat peringatan. Selain itu, data sensor dan hasil prediksi juga disimpan di Firebase Realtime Database untuk ditampilkan pada dashboard monitoring, memungkinkan pemantauan kondisi pengemudi secara real-time. Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem ini menunjukkan bahwa semua proses, mulai dari pembacaan sensor hingga pengiriman data dan klasifikasi, dapat berjalan dengan baik.

Rancangan alat dari prototipe ini terdiri dari beberapa komponen perangkat keras, termasuk ESP32 yang berfungsi sebagai mikrokontroler utama, serta sensor MPU6050 dan FC-51 untuk mengukur posisi kepala dan kondisi mata. Buzzer juga ditambahkan sebagai perangkat output untuk memberikan peringatan suara saat kondisi mengantuk terdeteksi. Pengujian terhadap masing-masing komponen dilakukan untuk memastikan bahwa setiap elemen berfungsi dengan baik sebelum diintegrasikan ke dalam sistem pendeteksi tingkat kantuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MPU6050 dan FC-51 dapat memberikan data yang akurat, sedangkan buzzer berfungsi efektif dalam memberikan peringatan sesuai dengan hasil klasifikasi.

Proses pengujian tidak hanya terbatas pada perangkat keras, tetapi juga mencakup perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung pengolahan data. Pengujian komunikasi antara ESP32 dan server Flask menunjukkan bahwa data dapat dikirim dan diterima dengan baik, yang ditunjukkan dengan respons HTTP 200. Selain itu, pengujian pada Firebase Realtime Database membuktikan bahwa data hasil pembacaan dan klasifikasi berhasil disimpan dan dapat diakses untuk ditampilkan pada website monitoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dashboard monitoring dapat menampilkan data secara real-time, memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau kondisi pengemudi.

Analisis kerja sistem menunjukkan alur data yang jelas dari sensor hingga output akhir. Setelah ESP32 melakukan inisialisasi, sensor MPU6050 dan FC-51 mulai bekerja untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Data tersebut dikirimkan secara real-time ke server Flask melalui jaringan WiFi, di mana proses klasifikasi dilakukan. Hasil klasifikasi yang menunjukkan kondisi pengemudi kemudian digunakan untuk mengendalikan buzzer, serta menyimpan data ke Firebase untuk ditampilkan di dashboard. Dengan demikian, sistem ini berhasil menciptakan solusi yang efektif untuk memantau tingkat kantuk pengemudi secara otomatis, mengintegrasikan teknologi IoT dengan metode klasifikasi data

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil oleh penulis adalah sebagai berikut :

1. Sistem berbasis Internet of Things untuk mendeteksi kondisi mengantuk pengemudi berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem terdiri dari ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang terhubung dengan sensor, buzzer sebagai perangkat peringatan, server Flask sebagai media pemrosesan data, Firebase Realtime Database sebagai penyimpanan data, serta website sebagai media monitoring kondisi pengemudi.
2. Sensor inframerah dan sensor gerak berhasil diimplementasikan sebagai perangkat pendeteksi kondisi pengemudi. Sensor inframerah FC-51 digunakan untuk mendeteksi kondisi mata, sedangkan sensor gerak MPU6050 digunakan untuk memperoleh nilai pitch dan roll sebagai indikator perubahan posisi kepala. Data dari kedua sensor berhasil dikirimkan oleh ESP32 ke server melalui jaringan WiFi untuk dilakukan proses pengolahan dan klasifikasi.
3. Metode Naïve Bayes berhasil diterapkan dalam mendeteksi kondisi mengantuk pengemudi. Data berupa nilai pitch, roll, dan kondisi mata digunakan sebagai masukan dalam proses klasifikasi. Hasil klasifikasi menghasilkan kondisi NORMAL, DROWSY, dan VERY_DROWSY. Hasil prediksi berhasil dikirimkan kembali ke ESP32 untuk mengaktifkan buzzer sebagai peringatan dan juga disimpan pada Firebase untuk ditampilkan melalui website monitoring.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem selanjutnya sebagai berikut:

1. Pengembangan sensor pendeteksi mata dapat dilakukan dengan menggunakan sensor atau metode pendeteksian yang memiliki tingkat akurasi lebih baik agar pembacaan kondisi mata dapat dilakukan secara lebih optimal.
2. Jumlah dan variasi dataset dapat ditingkatkan agar model Naive Bayes memiliki lebih banyak data dalam proses pelatihan. Penambahan data dapat membantu meningkatkan kemampuan sistem dalam mengenali berbagai kondisi 878
3. Pengujian sistem dapat dilakukan dengan kondisi yang lebih beragam, baik dari perubahan posisi kepala, kondisi mata, maupun kondisi lingkungan. Pengujian dengan jumlah percobaan yang lebih banyak dapat memberikan hasil evaluasi yang lebih lengkap terhadap kinerja sistem.
4. Prototype dapat dikembangkan menjadi perangkat yang lebih portabel dengan menambahkan sistem catu daya berbasis baterai yang sesuai serta menggunakan casing untuk melindungi komponen elektronik dan memudahkan penggunaan alat.
5. Website monitoring dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur riwayat data, grafik perubahan kondisi pengemudi, dan penyimpanan hasil monitoring dalam periode waktu tertentu agar proses pemantauan dapat menjadi lebih lengka

DAFTAR REFERENSI

- Akinrolabu, O.D. and Akinpetide, A.M. (2026) "Development of a Smart , Arduino-Powered Cane with Alert-based Feedback Mechanism for Visually Impaired People," *International Journal of Computer Applications* (0975187(82), pp. 56–62.
- Al-Batah, M. *et al.* (2024) "Comparative Analysis of Advanced Data Mining Methods for Enhancing Medical Diagnosis and Prognosis," *Data and Metadata*, 3. Available at: <https://doi.org/10.56294/DM2024.465>.
- Alansari, W.A. and Mohd, M. (2024) "A Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms for Diabetes Prediction," *Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia*, 13(2), pp. 253–265. Available at: <https://doi.org/10.17576/apjitm-2024-1302-07>.
- Bakheet, S. and Al-Hamadi, A. (2021) "A framework for instantaneous driver drowsiness detection based on improved HOG features and naïve bayesian classification,"

- Brain Sciences*, 11(2), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.3390/brainsci11020240>.
- Bunn, T.L. *et al.* (2025) “Quantitative and Narrative Analysis of Dump Truck-Related Injuries and Fatalities in the United States,” *Safety*, 11(1), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3390/safety11010017>.
- Chang, T.C. *et al.* (2021) “Smart driver drowsiness detection model based on analytic hierarchy process,” *Sensors and Materials*, 33(1), pp. 485–497. Available at: <https://doi.org/10.18494/SAM.2021.3034>.
- Chang, Y.H., Wu, F.C. and Lin, H.W. (2025) “Design and Implementation of ESP32-Based Edge Computing for Object Detection,” *Sensors*, 25(6). Available at: <https://doi.org/10.3390/s25061656>.
- Chitriningrum, N. *et al.* (2024) “Design and development of aircraft cargo fire early detection simulation system using arduino nano microcontroller” *TEKNIKA: JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI* 20(01), pp. 10–16. Available at: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/ju-tek/>.
- Choosri, P. and Kittiamornkul, N. (2022) “A Development of a Portable Sugar Measuring Device for Americano Coffee Using The Electrical,” *ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS* VOL.24, NO.1, pp. 1–11.
- Choudhary, A. (2024) "Internet of Things: a comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions, Discover Internet of Things". *Springer International Publishing*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3>.
- Dewi, F.K.S. (2021) “Klasifikasi Berita Menggunakan Metode Multinomial Naïve Bayes,” *SCAN - Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 16(3), pp. 248–258. Available at: <https://doi.org/10.33005/scan.v16i3.2870>.
- Elisana, L. *et al.* (2021) “Jurnal Teknologi,” *Jurnal Teknologi*, 9(1), pp. 72–79.
- Fajriah, D. and Syaripudin, A. (2024) “Rancang Bangun Pendeteksi Kantuk Pada Pengendara Roda Empat Berbasis NodeMCU ESP8266,” *Jurnal Riset Informatika dan Inovasi* Volume 2, No. 4, September Tahun 2024 ISSN 3025-0919 (media online) Rancang 2(4), pp. 742–752.
- Gencheva, P., Hutov, I. and Genov, B. (2025) “Power Sources for Unmanned Aerial Vehicles : A Review,” *INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL "TRANS & MOTAUTO WORLD* 115(3), pp. 112–115.
- Gupta, A. and Jain, R. (2026) “Cervical Spine Posture Monitoring using Flex and IMU Sensors with Long Short Term Memory Networks,” pp. 123–145. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-96-7140-3_9.
- Karlina, F.H. *et al.* (2021) “Study of Several Types of Lithium-polymer Batteries with 3s Battery Management System,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 927(1), pp. 0–6. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/927/1/012023>.

- Kee, S.M., Sultan, M. and Ali, M. (2021) "Carbon Dioxide and Carbon Monoxide Gas Detection System for Cars," *ELEKTRIKA- Journal of Electrical Engineering*, 20(2–3), pp. 65–69. Available at: https://elektrika.utm.my/index.php/ELEKTRIKA_Journal/article/view/312.
- Litayem, N. and Al-Sa'di, A. (2023) "Exploring the Programming Model, Security Vulnerabilities, and Usability of ESP8266 and ESP32 Platforms for IoT Development," *2023 IEEE 3rd International Conference on Computer Systems, ICCS 2023*, pp. 150–157. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICCS59700.2023.10335558>.
- Maiza, M.I.F., Budi, A.S. and Dahnil, S. (2022) "Implementasi Low Power pada Sistem Notifikasi Kantuk pada Pengemudi menggunakan Finite-State Machine berbasis Arduino," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(7), pp. 3077–3084. Available at: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- Muiz, B. *et al.* (2025) "IoT-enabled Drowsiness Driver Safety Alert System with Real-Time Monitoring Using Integrated Sensors Technology." Available at: <http://arxiv.org/abs/2502.00347>.
- Natarajan, S. *et al.* (2024) "Motion Sensing Mechanism Using the Lilypad Arduino and IMU Sensors: A Pilot Study," *Trends in Health ...*, 1(1), pp. 23–30. Available at: <https://thi.reapress.com/journal/article/view/19%0Ahttps://thi.reapress.com/journal/article/download/19/12>.
- Pangestu, Y. and Basri, M. (2024) "Analisis Perbandingan Multinomial Naïve Bayes dan Adaboost dalam Mengklasifikasikan Sentimen Terkait Pinjaman Online Comparative Analysis of Multinomial Naïve Bayes and Adaboost in Classifying Sentiment Related to Online Loans," *Journal of Computing Engineering, System and Science) e-ISSN*, 9(2), pp. 2502–7131. Available at: www.jurnal.unimed.ac.id.
- Phogat, P., Dey, S. and Wan, M. (2025) "Powering the sustainable future: a review of emerging battery technologies and their environmental impact," *RSC Sustainability*, 3(8), pp. 3266–3306. Available at: <https://doi.org/10.1039/d5su00127g>.
- Plauska, I., Liutkevičius, A. and Janavičiūtė, A. (2023) "Performance Evaluation of C/C++, MicroPython, Rust and TinyGo Programming Languages on ESP32 Microcontroller," *Electronics (Switzerland)*, 12(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/electronics12010143>.
- Putra, B.A., Owen, V. and Wibowo, A. (2023) "Machine Learning Trained Drowsiness Detection using Gyroscope on a Microcontroller," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 71(5), pp. 328–335. Available at: <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V71I5P234>.
- Ronak, P.D. *et al.* (2024) "Improving Road Safety with Real-Time Monitoring: A Drowsiness Detection System Utilizing IR Sensors and Arduino Technology," *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences*, 12(2), pp. 1–8.

- Siam, S.M.K.M. *et al.* (2024) “Real-time accident detection and physiological signal monitoring to enhance motorbike safety and emergency response.” Available at: <http://arxiv.org/abs/2403.19085>.
- Sugiyono. (2020) “Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D” *Alfabeta, Bandung*.
- Susanti, W. *et al.* (2024) “Development of IoT-Based Accounting System for Automatic Environmental Data Monitoring” *Interconnection: An Economic Perspective Horizon* 2(1), pp. 50–59.
- Trung, H.N. *et al.* (2025) *EcoSentry: A Cost-Effective IoT System for Efficient Real-Time Forest Monitoring, Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer Nature Switzerland. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-93891-7_17.
- Venica, L., Irawan, E.N. and Putri, D.I.H. (2024) “IoT with Firebase: Smart Ring Android App Using MAX30100 for Fatigue Detection,” *Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology*, 6(1), p. 8. Available at: <https://doi.org/10.20961/jeeict.6.1.81312>.
- Wang, Z. *et al.* (2024) “Research on the Human Motion Recognition Method Based on Wearable,” *Biosensors*, 14(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/bios14070337>.
- Yalli, J.S., Hasan, M.H. and Badawi, A. (2024) “Internet of Things (IoT): Origin, Embedded Technologies, Smart Applications, and Its Growth in the Last Decade,” *IEEE Access*, 12(May), pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3418995>.