

PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAN RESPON DETEKSI KELELAHAN DAN KANTUK BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SMARTWATCH, KAMERA, DAN NOTIFIKASI AUDIO, ALARM, SERTA TELEGRAM UNTUK KESELAMATAN BERKENDARA

Nabilla Fawzia Kironowarni
 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Rizaldi Anugrah Perwira
 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Chivo Argama Geniero
 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Sugiono
 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Alamat:
 Program Studi Informatika
 Fakultas Teknik
 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

ABSTRACT. *Fatigue and drowsiness are major causes of accidents, particularly in activities that require high levels of concentration, such as driving. To address this issue, this research focuses on designing an early warning system capable of effectively detecting signs of drowsiness and fatigue using Internet of Things (IoT) technology. The research method employed is system engineering, which includes needs identification, hardware and software design, implementation, and system testing and evaluation. The proposed solution is an IoT-based automatic monitoring system that integrates a Raspberry Pi camera for drowsiness detection, a smartwatch for monitoring fatigue through heart rate tracking, and an ESP32 microcontroller as the central control unit. The system provides three levels of response based on the user's condition: normal (Telegram notification), slightly drowsy or fatigued (Telegram notification, buzzer beeps twice, and mild audio alert), and severely drowsy or fatigued (Telegram notification, buzzer beeps five times, and main audio alert). The system implementation includes the MP3-TF-16P module, passive speaker, and Telegram bot for alert delivery. Trial results indicate that the system is capable of responding to user conditions in real time and delivering effective warnings, thereby potentially reducing the risk of accidents caused by fatigue and drowsiness.*

Keywords: *IoT, Drowsiness Detection, Fatigue Monitoring, ESP32, Telegram*

ABSTRAK. Kelelahan dan rasa mengantuk adalah penyebab utama terjadinya kecelakaan, terutama pada kegiatan yang membutuhkan fokus tinggi seperti mengemudi. Untuk menangani masalah ini, penelitian ini membahas cara mendesain sistem peringatan awal untuk mendeteksi kantuk dan kelelahan secara efektif dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah rekayasa sistem yang meliputi langkah-langkah identifikasi kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pelaksanaan, serta pengujian dan evaluasi sistem. Solusi yang diusulkan adalah sistem monitoring otomatis berbasis IoT yang menggabungkan kamera Raspberry Pi sebagai detektor mengantuk, smartwatch untuk mendeteksi kelelahan melalui pemantauan detak jantung, dan ESP32 sebagai pengendali utama. Sistem ini memberikan tiga tingkat respons berdasarkan kondisi pengguna: normal (notifikasi Telegram), mulai mengantuk atau lelah (notifikasi Telegram, buzzer 2 kali, audio peringatan ringan), dan sangat mengantuk atau lelah (notifikasi Telegram, buzzer 5 kali, audio peringatan utama). Pengimplementasian sistem mencakup modul MP3-TF-16P, speaker pasif, dan bot Telegram untuk pengiriman peringatan. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem dapat merespons keadaan pengguna secara langsung dan memberikan peringatan secara efektif, sehingga berpotensi mengurangi risiko kecelakaan yang disebabkan oleh kelelahan dan rasa mengantuk.

Kata kunci : IoT, Deteksi Kantuk, Deteksi Kelelahan, ESP32, Telegram.

PENDAHULUAN

Mengantuk dan kelelahan merupakan masalah umum yang dialami banyak orang, terutama para pekerja yang bekerja dengan jam kerja yang panjang dan tidak teratur. Kelelahan dapat mengakibatkan penurunan produktivitas dan peningkatan risiko kecelakaan kerja (Sari, R. A. & Prabowo, H., 2020). Dalam konteks ini, penting untuk mengembangkan sistem yang mampu mendeteksi dan merespons rasa kantuk dan kelelahan secara efektif, untuk mencegah terjadinya insiden yang tidak diinginkan.

Sistem monitoring yang diusulkan pada penelitian ini menggabungkan berbagai komponen perangkat keras dan lunak, seperti kamera Grove Vision AI V2, smartwatch MiBand, serta mengintegrasikan beberapa komponen respon seperti alarm, suara audio,

dan notifikasi melalui aplikasi Telegram. Meskipun alarm dan suara berfungsi sebagai peringatan instan untuk menarik perhatian Anda, notifikasi Telegram memberikan cara yang lebih fleksibel untuk memberitahu Anda bahkan saat Anda jauh dari perangkat utama. Hal ini sesuai dengan penelitian (Nugroho, A. S. & Handayani, S., 2022) menunjukkan bahwa penggunaan notifikasi digital meningkatkan daya tanggap individu terhadap kondisi kesehatan. penerapan sistem deteksi kantuk ini dapat dilihat pada kendaraan-kendaraan modern yang dilengkapi dengan teknologi deteksi kelelahan. Misalnya, beberapa mobil kini sudah dilengkapi dengan fitur yang dapat mendeteksi gerakan kepala pengemudi. Jika sistem mendeteksi bahwa kepala pengemudi cenderung menunduk atau tidak stabil, maka akan muncul peringatan untuk mengingatkan pengemudi agar beristirahat sejenak. Ini adalah langkah preventif yang sangat efektif untuk mengurangi resiko kecelakaan akibat microsleep.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, digunakan berbagai jenis bahan dan alat yang memiliki peranan penting dalam membangun sistem tanggapan otomatis terhadap kantuk dan kelelahan yang berbasis pada Internet of Things (IoT). Pemilihan bahan dan alat dilakukan dengan selektif, berdasarkan kriteria kompatibilitas, efisiensi, ketersediaan di pasaran, dan kemudahan dalam mengintegrasikan pengembangan sistem prototipe. Semua alat dan bahan yang diaplikasikan tidak hanya berfungsi sebagai komponen fisik, tetapi juga sebagai dasar dalam pelaksanaan dan pengujian sistem secara keseluruhan.

Bahan dan alat yang dipakai ditempatkan dalam dua kategori utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari mikrokontroler ESP32-WROOM-32E, smartwatch, modul kamera OV5647, Raspberry PI, Groove Vision AI V2, modul pemutar audio MP3-TF-16P, buzzer aktif sebagai alat alarm, speaker pasif untuk mengeluarkan suara audio, kamera Raspberry Pi untuk deteksi kantuk, smartwatch untuk mengukur denyut nadi, serta breadboard dan kabel jumper untuk merakit sirkuit. Setiap komponen tersebut memiliki fungsi khusus dan saling mendukung dalam membangun suatu sistem yang terintegrasi dan berfungsi secara bersamaan. Penggunaan breadboard memudahkan perakitan tanpa perlu penyolderan

permanen, sedangkan kabel jumper dipakai untuk menghubungkan komponen secara fleksibel dalam skema prototipe.

Kamera Raspberry Pi berfungsi untuk memantau wajah pengguna dan mendeteksi perubahan pada mata, terutama ketika mulai terpejam sebagai tanda kantuk. Kamera ini bekerja bersamaan dengan Grove Vision AI yang bertugas menjalankan model klasifikasi hasil pelatihan. Sementara itu, smartwatch digunakan untuk mengukur denyut jantung sebagai indikator kelelahan. Data dari kedua sistem ini akan diproses oleh ESP32 untuk menentukan tindakan respons yang tepat. Respons yang diberikan mencakup tiga level kondisi: normal, mulai mengantuk/lelah, dan sangat mengantuk/kelelahan, yang masing-masing akan memicu output berupa suara buzzer, audio peringatan, dan notifikasi dari bot Telegram.

Studi ini menerapkan metode rekayasa sistem yang dilakukan secara teratur dan bertahap untuk menciptakan sebuah sistem yang sesuai dengan tujuan desain. Metode ini dipilih karena sanggup mengakomodasi kebutuhan dalam proses desain, pengujian, dan penilaian dalam pengembangan sistem IoT yang rumit. Se tiap langkah diambil dengan cara yang terorganisir agar pengembangan sistem dapat berjalan dengan efektif, efisien, dan terkontrol dengan baik.

Langkah pertama adalah mengidentifikasi kebutuhan sistem secara menyeluruh, yaitu dengan menganalisis input dan output yang diperlukan. Pada fase ini, dilakukan penelitian terhadap sistem deteksi yang telah ada, seperti sistem deteksi kantuk menggunakan kamera Raspberry Pi dan sistem deteksi kelelahan yang memanfaatkan data detak jantung dari smartwatch. Analisis ini mencakup cara penggunaan data dari kedua sistem untuk sistem respon, serta jenis peringatan atau notifikasi yang dibutuhkan oleh pengguna.

Langkah kedua adalah mendesain sistem, yang dibagi menjadi dua komponen utama: desain perangkat keras dan perangkat lunak. Pada bagian perangkat keras, terdapat kombinasi komponen seperti mikrokontroler ESP32-WROOM-32E, modul MP3-TF-16P, buzzer, dan kartu SD yang dirakit menggunakan breadboard dan kabel

jumper. Rangkaian ini dirancang untuk menerima input dan menghasilkan output secara langsung. Untuk sisi perangkat lunak, dilakukan pengembangan logika pemrograman menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE. Logika ini meliputi pembacaan sinyal dari sistem deteksi, pengambilan keputusan berdasarkan kondisi pengguna, serta pengaktifan notifikasi seperti suara alarm, audio, dan pesan melalui Telegram.

Langkah ketiga adalah implementasi, yang mencakup proses pelaksanaan desain menjadi sebuah prototipe nyata. Semua komponen dirakit dan diprogram sesuai dengan rencana sistem yang telah disusun. Prototipe ini selanjutnya diuji fungsional untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai tugasnya, mulai dari pengumpulan data hingga pelaksanaan respon.

Langkah keempat melibatkan pengujian dan validasi sistem, di mana sistem dievaluasi dalam berbagai kondisi pengguna: kondisi normal, mulai merasa kantuk/lelah, dan sudah dalam kondisi kantuk/lelah. Uji coba dilakukan dalam lingkungan yang terkontrol untuk memastikan keakuratan sistem dalam mengeluarkan respon sesuai dengan data yang masuk. Proses validasi mencakup perbandingan antara hasil respon dengan kondisi yang diharapkan muncul berdasarkan skenario yang telah dibuat.

Langkah terakhir adalah evaluasi, yang merupakan proses penilaian terhadap seluruh kinerja sistem. Evaluasi ini meliputi aspek ketepatan sistem dalam merespons kondisi pengguna, keandalan pemberitahuan, serta efektivitas penggunaan modul seperti MP3-TF-16P dan Telegram Bot. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut, serta mendukung penyusunan dokumentasi akhir dari penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian ini, dilakukan penyatuan berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak, yang selanjutnya digabungkan menjadi sebuah sistem terintegrasi dengan hasil yang saling terhubung. Proses ini dimulai dengan pelatihan citra menggunakan kamera, dimana kamera mengumpulkan sejumlah gambar yang sudah

dikelompokkan sesuai dengan kategori tertentu. Kategori-kategori ini mencerminkan keadaan pengguna, seperti tidak mengantuk, mulai mengantuk, dan benar-benar mengantuk. Setelah pelatihan selesai, model yang telah dilatih tersebut akan diterapkan, dan model itu akan dimasukkan ke dalam perangkat Grove Vision AI V2. Peranan Grove Vision AI V2 dalam sistem ini sangat krusial, karena perangkat ini akan menyimpan data model dari hasil pelatihan dan menggunakannya sebagai acuan untuk mengenali keadaan pengguna secara langsung. Grove Vision kemudian akan memproses gambar yang direkam oleh kamera dan melakukan klasifikasi berdasarkan data yang sudah diprogram sebelumnya. Ketika sistem berhasil mendeteksi keadaan pengguna, informasi tersebut akan ditampilkan di serial monitor melalui Arduino IDE. Di sinilah proses identifikasi berlangsung: apakah pengguna dalam kondisi sepenuhnya sadar, mulai mengantuk, atau benar-benar mengantuk. Deteksi ini akan dilanjutkan untuk mengaktifkan berbagai jenis output sesuai dengan hasil klasifikasi yang diterima. Misalnya, ketika sistem menemukan pengguna dalam keadaan mengantuk, buzzer akan menyala secara otomatis sebagai peringatan suara yang langsung dan mengejutkan. Selain itu, modul pemutar MP3 yang sudah disiapkan sebelumnya akan mengeluarkan suara peringatan yang telah ditentukan dan disimpan dalam memori internal alat. Selain itu, sistem juga telah terhubung dengan layanan bot Telegram yang telah dikonfigurasi berdasarkan SSID WiFi tertentu. Dengan cara ini, saat kondisi mengantuk terdeteksi, bot tersebut akan mengirimkan pesan peringatan ke akun Telegram pengguna atau pengawas.

Selanjutnya, sistem ini juga melibatkan perangkat wearable seperti smartwatch. Di dalamnya terdapat fungsi pemantauan detak jantung yang sudah diprogram untuk membaca dan mengklasifikasikan denyut jantung pengguna. Denyut jantung yang terukur akan dibandingkan dengan rentang nilai yang sudah ditentukan, sehingga dapat diketahui apakah pengguna dalam keadaan tidak lelah, mulai lelah, atau benar-benar kelelahan. Data ini juga ditampilkan di serial monitor Arduino IDE, bersamaan dengan output dari deteksi visual yang berbasis kamera. Jika kondisi lelah atau mengantuk terkonfirmasi oleh data denyut jantung, sistem akan memicu kembali rangkaian output yang sama: buzzer berbunyi, MP3 player mengeluarkan suara, pesan dikirim melalui

bot Telegram, dan notifikasi dikirimkan ke smartwatch. Melalui seluruh proses ini, sistem pengujian tidak hanya fokus pada satu jenis sensor atau metode, tetapi juga menggabungkan beberapa pendekatan sekaligus mulai dari pengolahan citra hingga pemantauan kondisi fisiologis untuk membangun sistem deteksi mengantuk yang komprehensif dan responsif secara real-time. Harapannya adalah untuk memberikan tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi dalam mendeteksi dan merespons keadaan pengguna yang mungkin membahayakan akibat mengantuk atau kelelahan.

Untuk hasil keluaran dari kedua sistem pendeteksi akan mengeluarkan output yang berbeda pada setiap tahap deteksi. Berikut adalah susunan keluaran dari masing-masing sistem pendeteksi oleh sistem respon:

Tabel 1
Output Respon Sistem Pendeteksi Kantuk

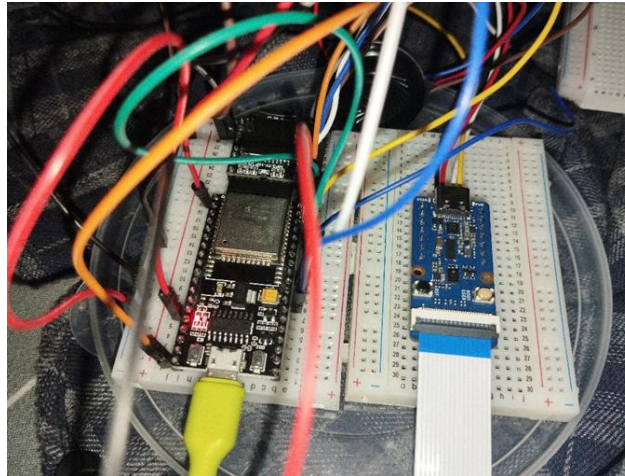
KONDISI	KATEGORI	OUTPUT
Kondisi normal	Normal	Bot Telegram “Kondisi stabil”
Mulai mengantuk/lelah	Yawn / Heart rate : >80	1. Bot telegram 2. Buzzer 2 kali 3. Output audio peringatan 1
Tahap kantuk/lelah berat	Eyeclosed / Heart rate : >100	1. Bot telegram 2. Buzzer 5 kali 3. Output audio peringatan 2

Pengujian fitur dilakukan secara manual terlebih dahulu untuk memastikan pesan dapat dikirim dan diterima melalui Telegram Bot tanpa kendala, serta untuk memverifikasi format dan isi pesan sesuai dengan tujuan sistem. Dari hasil percobaan, pesan rekomendasi berhasil diterima dengan akurasi dan responsifitas yang sangat baik, yakni kurang dari 3 detik setelah sistem ESP32 mengirimkan permintaan HTTP ke server bot Telegram. Ini menunjukkan bahwa sistem cukup cepat dalam menyampaikan informasi penting kepada pengguna. Pesan yang dikirim juga tertata dengan baik dan jelas, sehingga pengguna tidak akan merasa bingung saat membacanya, termasuk dalam situasi darurat.

Perancangan perangkat keras juga merupakan tahapan penting dalam sistem IoT karena berfungsi sebagai landasan fisik dari semua proses logika dan komunikasi digital. Pada sistem respon otomatis terhadap kantuk dan kelelahan ini, berbagai komponen elektronik dirangkai secara presisi agar dapat menjalankan fungsinya masing-masing secara terintegrasi. Dalam hasil perakitan awal dari sisi satu perangkat keras yang digunakan dalam proyek ini. Perancangan dilakukan menggunakan media breadboard, yang memungkinkan sambungan antar-komponen elektronik dilakukan tanpa penyolderan permanen, sehingga sangat cocok digunakan untuk tahap pengembangan dan pengujian awal sistem.

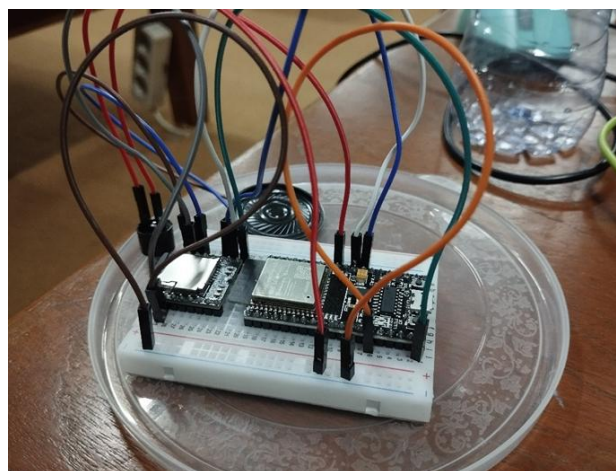
Dalam perancangan perangkat keras, komponen ESP32-WROOM-32E sebagai komponen utama yang tertanam di bagian tengah rangkaian. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali dan komunikasi data. Ia menerima sinyal dari sistem pendeteksi eksternal seperti kamera Raspberry Pi dan smartwatch, kemudian memproses informasi tersebut untuk menentukan jenis respon yang sesuai berdasarkan logika sistem. ESP32 terhubung langsung ke berbagai komponen lainnya melalui kabel jumper, yang disusun sedemikian rupa pada breadboard untuk meminimalkan interferensi sinyal dan memudahkan penelusuran kesalahan (debugging).

Gambar 1
Rangkaian Perangkat Keras



Pemilihan breadboard sebagai alat utama untuk menyusun komponen pada tahap awal desain bukan tanpa alasan. Breadboard menawarkan banyak fleksibilitas bagi peneliti untuk mengubah susunan koneksi jika terjadi kesalahan atau jika diperlukan pengembangan lebih lanjut. Selain itu, menggunakan breadboard mempercepat proses percobaan karena tidak memerlukan waktu lama untuk menyolder dan membongkar komponen. Hal ini sangat mendukung pengembangan sistem yang bersifat iteratif dan eksperimental, di mana perubahan dan modifikasi adalah hal yang umum.

Gambar 2
Rangkaian Sistem Respon



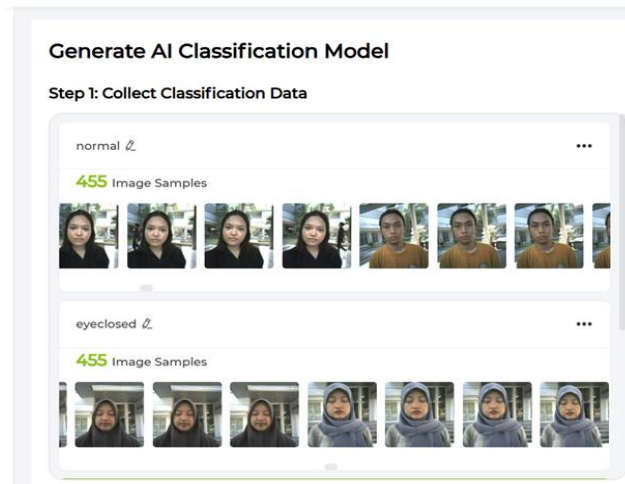
Dari sudut pandang estetika dan kerapian, rangkaian dalam Gambar 1 dan Gambar 2 memang menunjukkan kabel yang belum ditata dengan baik. Namun, kondisi ini sangat wajar dalam fase awal pengembangan, di mana fokus utama adalah memastikan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik dan sesuai dengan logika sistem. Penataan kabel yang agak rumit juga merupakan tantangan tersendiri dalam menjaga stabilitas sistem agar tidak terjadi hubungan pendek (short circuit) atau koneksi yang longgar.

Dalam fase pengujian akhir, dilakukan penggabungan menyeluruh antara berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang sebelumnya telah diuji secara terpisah. Tujuan dari proses penggabungan ini adalah untuk memastikan semua elemen dapat berfungsi dengan baik dalam satu sistem terpadu yang dapat saling berinteraksi dan berkomunikasi secara langsung. Rangkaian dimulai dengan latihan model visual yang berbasis gambar, menggunakan kamera sebagai alat utama untuk merekam ekspresi dan kondisi mata pengguna. Kamera tersebut mengumpulkan sejumlah foto atau bingkai yang telah dikelompokkan sebelumnya ke dalam tiga kategori utama sesuai dengan tingkat kewaspadaan pengguna, yaitu kondisi sepenuhnya sadar (tidak mengantuk), kondisi transisi (mulai mengantuk), dan kondisi berisiko tinggi (sudah mengantuk berat). Klasifikasi ini menjadi dasar logika yang diterapkan dalam pelatihan model pembelajaran mesin, yang kemudian akan menjadi inti dalam proses deteksi otomatis.

Setelah semua gambar di dalam dataset berhasil dilabeli dan dilatih dengan algoritma yang tepat, model yang dihasilkan kemudian di-compile dan diintegrasikan ke dalam perangkat Grove Vision AI V2. Perangkat ini berfungsi sebagai pusat pengolahan visual sistem, yang memiliki kemampuan untuk melakukan inferensi model secara langsung di dalam perangkat kerasnya. Dengan kata lain, Grove Vision AI tidak hanya berfungsi sebagai kamera, tetapi juga sebagai prosesor cerdas yang dapat menganalisis gambar secara mandiri tanpa bergantung pada komputer eksternal. Model yang telah dimuat ke dalam Grove Vision AI kemudian digunakan sebagai acuan untuk mendeteksi dan mengenali kondisi pengguna secara langsung saat sistem dioperasikan.

Gambar 3

Training Dataset



Peranan Grove Vision AI V2 sangat penting dalam keseluruhan sistem karena merupakan tempat dimana klasifikasi visual dilakukan secara real-time. Perangkat ini secara terus-menerus menerima input berupa gambar wajah pengguna, menganalisisnya berdasarkan pola yang telah dikenali selama pelatihan, dan menghasilkan output berupa label kondisi pengguna. Hasil klasifikasi tersebut akan diteruskan ke mikrokontroler dan ditampilkan dalam monitor serial melalui lingkungan Arduino IDE. Informasi ini akan memuat status pengguna dalam tiga kategori, yaitu "normal", "mulai mengantuk", atau "mengantuk berat", yang masing-masing akan memicu respons yang berbeda dalam sistem.

Gambar 4

Pengujian Deteksi Kantuk

```
ets Jul 29 2019 12:21:46
rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0030,len:4888
load:0x40078000,len:16516
load:0x40080400,len:4
load:0x40080404,len:3476
entry 0x400805b4
Menyambungkan ke WiFi..
WIFI TERHUBUNG : 192.168.109.28
Mencari Perangkat BLE...
PERANGKAT DITEMUKAN : Mi Smart Band
Deteksi Kamera:
Deteksi Kamera: Tersambung
Status mendeteksi: tidak mengantuk
```

Tidak hanya mengandalkan deteksi berbasis visual, sistem ini juga termasuk data fisiologis dari perangkat wearable berupa smartwatch. Alat ini dilengkapi dengan sensor yang dapat memantau detak jantung pengguna secara berkala. Nilai detak jantung yang tercatat kemudian dibandingkan dengan batas nilai yang sudah ditentukan sebelumnya melalui proses kalibrasi. Sebagai contoh, penurunan signifikan pada detak jantung dapat menunjukkan bahwa pengguna mengalami kelelahan atau nyaris tertidur. Data ini kemudian diproses dan dikirim ke ESP32, dan ditampilkan secara bersamaan di serial monitor bersama data visual dari Grove Vision AI. Dengan demikian, sistem memperoleh dua sumber informasi: kondisi mata (indikator kantuk) dan detak jantung (indikator kelelahan).

Gambar 5

Deteksi Kelelahan

```
Device found: 29:37:64:e5:ae:22
Device found: 80:cc:12:24:0a:2d
Device found: eb:f5:88:32:c9:0e
Device found: e3:53:8a:91:e1:01
Device found: da:c8:96:ad:66:4f
Device found: 6f:8b:e2:00:30:c4
Device found: 19:f9:2d:e5:1c:01
Device found: d0:c6:01:1e:12:f7
Device found: 47:05:8e:44:f9:7d
Device found: 1e:ec:d3:d8:8c:96
Device found: 51:e0:0c:02:4f:14
Device found: 53:7e:6a:a9:59:a5
Heart Rate: 86
Status akhir: Mulai Mengantuk/Lelah
Proses selesai.
Ble Disconnect!
```

Seluruh integrasi ini juga telah menjalani beragam pengujian untuk menilai kecepatan respon, kestabilan sinyal, ketahanan komponen, serta konsistensi komunikasi data di antara perangkat. Setiap komponen diuji tidak hanya secara terpisah, tetapi juga dalam kondisi sistem berjalan penuh, guna memastikan tidak terjadi penundaan, konflik perintah, atau kesalahan dalam interpretasi sinyal. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa pendekatan integrasi multi-komponen memberikan keuntungan dalam hal deteksi yang lebih sensitif, respon yang lebih cepat, dan potensi pengembangan yang lebih luas di masa mendatang. Sistem ini juga terbuka untuk pengembangan lebih lanjut dengan penambahan notifikasi seperti SMS, email, atau platform monitoring lainnya.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tahap pengujian dan penggabungan sistem untuk deteksi serta respons ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga memiliki dimensi strategis dalam upaya mengembangkan solusi IoT yang dapat mengurangi bahaya yang ditimbulkan oleh rasa kantuk dan kelelahan. Kombinasi antara deteksi yang menggunakan citra dan data fisiologis, serta penyampaian peringatan melalui beberapa saluran (suara, buzzer, Telegram), menghasilkan sistem yang tidak hanya cerdas, tetapi juga praktis dan siap digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada sistem ini menggabungkan berbagai komponen perangkat keras dan lunak—seperti kamera Grove Vision AI V2, smartwatch MiBand, buzzer, MP3 player, bot Telegram, dan smartwatch—untuk membentuk sistem deteksi kantuk yang terintegrasi. Dengan memanfaatkan klasifikasi citra wajah dan pemantauan denyut jantung, sistem mampu mengenali kondisi pengguna secara real-time (tidak mengantuk, mulai mengantuk, atau sangat mengantuk), lalu memberikan respons berupa alarm suara dan notifikasi otomatis. Pendekatan multimodal ini dirancang untuk meningkatkan akurasi dan keandalan deteksi kantuk demi keselamatan pengguna.

Penelitian ini juga menyarankan untuk dapat dikembangkan tindakan otomatis seperti memperlambat kendaraan (jika diintegrasikan ke mobil pintar), mengaktifkan lampu bahaya, atau mengirimkan panggilan otomatis ke pihak tertentu apabila kondisi bahaya terus berlanjut. Meskipun Telegram sudah sangat membantu, pengembangan

dashboard berbasis web atau mobile app bisa menjadi nilai tambah untuk sistem. Informasi status pengguna bisa ditampilkan dalam bentuk grafik, notifikasi waktu nyata, dan riwayat kondisi harian yang dapat diakses oleh supervisor atau keluarga.

DAFTAR PUSTAKA

- Sari, R. A., & Prabowo, H. (2020). Pengaruh Kelelahan Kerja Terhadap Produktivitas Karyawan di PT. XYZ. *Jurnal Manajemen dan Bisnis Indonesia*, 8(2), 120-130.
- Nugroho, A. S., & Handayani, S. (2022). Efektivitas Notifikasi Digital dalam Meningkatkan Responsivitas Kesehatan. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, 10(3), 201-210.
- Ali, M., Ali, I., & Badawy, W. (2015). Internet of Things: Opportunities and Challenges for Future Innovation. *Journal of Internet Technology*.
- Kumar, S., & Sharma, R. (2019). Driver Fatigue Detection Using Camera-Based System with Arduino Integration. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*.
- Saragih, J. (2007). Pengenalan Wajah dan Implementasinya dalam Sistem Biometrik. *Proceedings of the Indonesian Computer Conference*.
- Sherma, P., & Joshi, A. (2021). Eye Blink Frequency Monitoring System for Detecting Driver Drowsiness. *Journal of Advanced Research in Embedded Systems*.
- Venna, S., & Chaturverdi, A. (2020). Visual Detection of Driver Drowsiness Through Expression Analysis. *International Journal of Machine Vision and Applications*.
- Yadav, R., et al. (2023). Integration of IoT and Camera Technologies for Real-Time Drowsiness Detection. *International Journal of IoT Systems and Applications*.