

PERANGKAT KESEHATAN MULTISENSOR BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK PEMANTAUAN TANDA VITAL DAN DETEKSI JATUH

Hana Hamidah Johara Humaira^{1*)}, Yohanes Leonardo Sinaga¹, Abdurakhman Hamid Al-Azhari¹, Djuniadi Djuniadi¹

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

E-mail: yohanesleo5890@students.unnes.ac.id

Abstrak

Tingginya angka kematian dan kecacatan akibat henti jantung, desaturasi oksigen, dan jatuh pada pasien berisiko tinggi yang belum tertangani optimal oleh pemantauan manual dan sistem *Internet of Things (IoT)* yang masih terfragmentasi. Masalah utama yang diangkat adalah ketiadaan perangkat rumah rawat yang sekaligus memantau tanda vital dan kejadian jatuh dengan notifikasi darurat yang terukur latensinya untuk pasien stroke dan jantung. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi perangkat kesehatan multisensor *HEALINK* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor MAX30102 untuk detak jantung dan SpO₂, sensor MPU6050 untuk deteksi jatuh, tampilan lokal LCD, serta kanal peringatan otomatis melalui aplikasi *Blynk* sehingga memberikan pemantauan kontinu dan alarm kritis jarak jauh. Metode meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak dengan arsitektur *super-loop*, pengambilan data real time, pengujian akurasi *Heart Rate* dan SpO₂ terhadap oximeter rujukan, evaluasi deteksi jatuh menggunakan *confusion matrix*, serta pengukuran latensi end-to-end melalui pencatatan waktu di *Serial Monitor* dan analisis di *Google Colab*. Hasil menunjukkan akurasi HR mendekati 94 persen, akurasi SpO₂ sekitar 97 persen, deteksi jatuh dengan akurasi 85 persen dan spesifitas 100 persen, serta latensi notifikasi sekitar 5 detik dengan jitter rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa *HEALINK* layak sebagai prototipe pemantauan rumah rawat berbiaya rendah, dengan implikasi perlunya peningkatan algoritma dan konfigurasi sensor terutama untuk modul SpO₂ dan sensitivitas deteksi jatuh agar pendukung keputusan klinis menjadi lebih andal.

Kata kunci: Pemantauan Kesehatan, MAX30102, MPU6050, Blynk.

Abstract

High mortality and disability caused by cardiac arrest, oxygen desaturation, and falls in high risk patients that are not adequately covered by manual observation and fragmented Internet of Things (IoT) monitoring solutions. The main problem addressed is the absence of a home care device that concurrently tracks vital signs and fall events while providing emergency alerts with measurable latency for stroke and cardiac patients. This study aims to design and evaluate the multisensor health device HEALINK based on ESP32, integrating a MAX30102 sensor for heart rate and SpO₂, an MPU6050 sensor for fall detection, a local LCD display, and automatic warning delivery through the Blynk application to enable continuous monitoring and remote critical alarms. The method comprises hardware and software design using a non RTOS super-loop architecture, real time data acquisition, heart rate and SpO₂ accuracy testing against a reference oximeter, fall detection evaluation using a confusion matrix, and end-to-end latency measurement by timestamp logging in the Arduino Serial Monitor followed by analysis in Google Colab. Experimental results show heart rate accuracy close to 98 percent, SpO₂ accuracy around 68–70 percent, fall detection accuracy of 85 percent with 100 percent specificity, and alert latency of about 5 seconds with low jitter. These findings indicate that HEALINK is feasible as a low cost home care monitoring prototype, with implications that further improvement of algorithms and sensor configuration is needed, especially for SpO₂ estimation and fall sensitivity, to strengthen its role as a reliable clinical decision support tool.

Keywords: Health Monitoring, MAX30102, MPU6050, Blynk.

1. Pendahuluan

Pasien berisiko tinggi seperti penderita stroke dan penyakit jantung memerlukan pemantauan berkesinambungan karena wearable atau *Internet of Things* (IoT) kini memungkinkan pemantauan tanda vital secara kontinu dan non-invasif serta deteksi dini memburuknya kondisi [1]. Keterbatasan kapasitas fasilitas serta jeda observasi di luar rumah sakit memperkuat kebutuhan pemantauan jarak jauh berbasis IoT yang mengalirkan data real-time untuk mendukung keselamatan, kepatuhan, dan keputusan klinis saat transisi perawatan ke rumah [2]. Keterlambatan penanganan henti jantung berdampak fatal, bukti *American Heart Association* (AHA) menunjukkan peluang bertahan hidup menurun tiap menit defibrilasi tertunda dan penundaan inisiasi CPR oleh penolong berkorelasi dosis-respon dengan penurunan survival [3]. Penurunan saturasi oksigen juga krusial untuk dideteksi dini karena ambang $SpO_2 < 90\%$ lazim dipakai sebagai indikator hipoksemia dan waktu berada di bawah 90% digunakan dalam pedoman sebagai ukuran keparahan desaturasi [4]. Pasien pascastroke memiliki risiko jatuh tinggi dalam tahun pertama dan penelitian menunjukkan sensor inersial/wearable mampu mengkuantifikasi risiko jatuh secara akurat pada penyintas stroke [1]. Karena itu, integrasi sistem pemantauan jarak jauh berbasis IoT, menggabungkan sensor kardiopulmoner dan deteksi jatuh dengan peringatan otomatis, berpotensi menutup kesenjangan pemantauan dan mempercepat respons klinis pada kejadian henti jantung, desaturasi, maupun jatuh [2]. Sistem pelacakan berbasis NodeMCU (ESP8266) yang mengirim data lokasi ke Firebase dan menampilkan riwayat pada aplikasi mobile menunjukkan pendekatan efektif untuk telemetri real-time dan integrasi antarmuka pengguna [5]. Studi pengembangan sistem akuisisi data berbasis telemetri menegaskan praktik sampling periodik dan batas jangkauan komunikasi praktis sebagai pertimbangan penting ketika merancang strategi pengambilan data dan arsitektur transmisi pada sistem monitoring jarak jauh [6]. Riset terkini menunjukkan pemantauan detak jantung dan saturasi oksigen berbasis MAX30102 sudah banyak diimplementasikan pada wearable/IoT, dengan pengambilan *Heart Rate* (HR) dan SpO_2 real-time pada papan terintegrasi sebagai bukti kelayakan untuk pemantauan kontinu [7]. Di sisi lain, deteksi jatuh umumnya memanfaatkan akselerometer *Inertial Measurement Unit* (IMU) seperti MPU6050 pada platform IoT untuk mengklasifikasikan kejadian jatuh dan mengirim notifikasi kepada pendamping secara segera [8]. Tinjauan [9] merangkum jenis sensor, algoritma, dan metrik performa untuk sistem pendekripsi jatuh berbasis wearable, serta menekankan trade-off antara sensitivitas dan false-alarm yang relevan untuk penentuan ambang MPU6050. Meskipun demikian, tinjauan bidang ini menekankan celah bahwa banyak prototipe masih unimodal sehingga dibutuhkan integrasi multi-sensor dengan arsitektur IoT yang mendukung analitik waktu nyata serta peringatan darurat otomatis agar respons klinis

lebih cepat dan andal. Review jaringan bibliometrik [10] menunjukkan tren integrasi *multi-sensor* dan *edge-computing* untuk meningkatkan sensitivitas deteksi jatuh serta mengurangi false negative, mendukung rekomendasi Anda untuk fusi data IMU dan metode berbasis LSTM/*edge*. Implementasi kontrol suhu menggunakan sensor DS18B20 dan Arduino menunjukkan bahwa pengukuran berulang dengan *set-point* dan pengendalian relay mampu mempertahankan suhu air pada nilai yang diinginkan [11].

Kebaruan yang diusulkan adalah perangkat IoT tunggal berbasis ESP32 yang mengintegrasikan MAX30102 untuk pemantauan detak jantung dan SpO_2 bersama MPU6050 untuk deteksi jatuh, dilengkapi pengiriman peringatan darurat otomatis melalui Blynk agar tenaga medis dan pendamping menerima notifikasi segera pada kejadian kritis pada pasien berisiko tinggi seperti pascastroke dan henti jantung. Implementasi monitoring PLTB berbasis NodeMCU, sensor INA219, dan platform Blynk membuktikan bahwa integrasi IoT sederhana dapat menghasilkan pembacaan tegangan/arus dan tampilan dashboard real-time yang berguna untuk evaluasi performa turbin dalam prototipe [12]. Arsitektur yang diusulkan menutup celah sistem sebelumnya yang umumnya hanya memantau satu parameter atau belum mengikat alarm darurat end-to-end, dengan memanfaatkan ESP32 dan layanan Blynk untuk kanal notifikasi real time yang telah dibuktikan pada prototipe pemantauan kesehatan terdahulu [13]. Pada sisi bandingan, studi berbasis MAX30100 melaporkan keberhasilan pembacaan HR dan SpO_2 namun tetap terpapar keterbatasan seperti artefak gerak dan interferensi cahaya ambien, sehingga pendekatan yang memakai MAX30102 + MPU6050 dan kontrol eksekusi soft/hard real-time di ESP32 ditujukan untuk meningkatkan keandalan deteksi dan ketepatan waktu alarm klinis [14], [15].

2. Metode

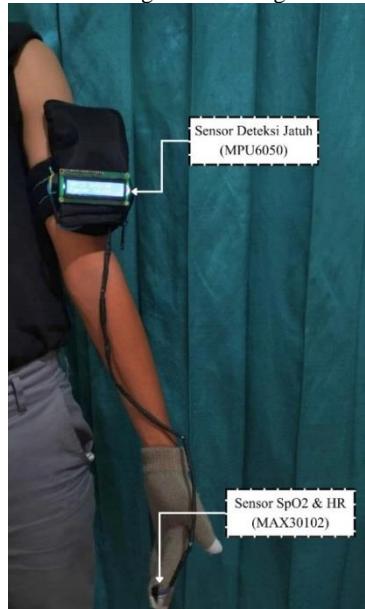
Sistem yang diusulkan adalah perangkat IoT terintegrasi berbasis ESP32 (Wi-Fi) yang memantau HR dan SpO_2 dengan MAX30102, mendekripsi jatuh dengan MPU6050, menampilkan status pada LCD I2C 16×2 , dan mengirim notifikasi darurat via Blynk saat ambang kritis (mis. $SpO_2 < 90\%$ atau indikasi jatuh) terdeteksi; perangkat lunak dikembangkan di Arduino IDE dengan pustaka sensor dan rutin konektivitas Wi-Fi, dieksekusi dalam super-loop tanpa *Real-Time Operating System* (RTOS) untuk latensi rendah, sementara dokumentasi visual menyertakan Gambar 1 menunjukkan pengaturan perangkat keras, Gambar 2 pengaturan eksperimen pada subjek, Gambar 3 diagram alir loop program sistem, dan Gambar 4 blok diagram aliran data sensor-ESP32-LCD-Blynk serta jalur notifikasi ke aplikasi. Dokumentasi fisik perangkat dapat ditambahkan sebagai Gambar 5 bila diperlukan. Penerapan FreeRTOS pada ESP32 mendemonstrasikan kemampuan

multitasking deterministik untuk tugas-tugas real-time (pembacaan sensor, kontrol aktuator, UI) [16].

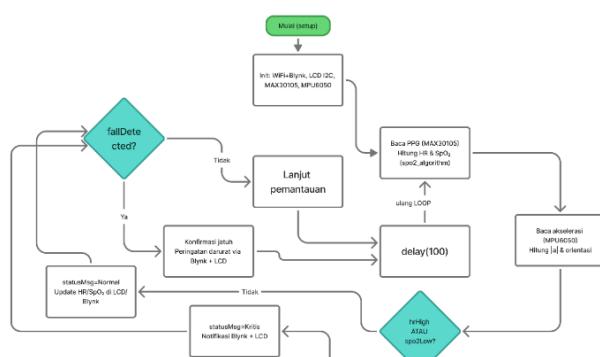
Dilakukan validasi akurasi detak jantung (HR) dan saturasi oksigen (SpO_2) perangkat HEALINK berbasis ESP32 dan MAX30102 terhadap alat rujukan dengan desain head-to-head. Pengukuran dilakukan serempak selama 3 menit per kondisi dan 10 detik awal dibuang untuk stabilisasi sinyal. Metrik yang dihitung meliputi *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan simpangan baku error. Dilakukan pengukuran latensi notifikasi *end-to-end* dan reliabilitas terhadap variasi *received signal strength indicator* (RSSI) untuk menilai kesiapan sistem dalam skenario darurat.



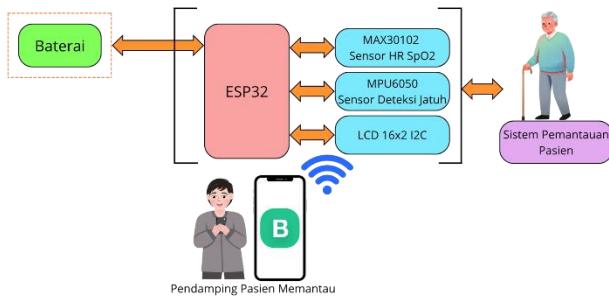
Gambar 1. Pengaturan Perangkat Keras



Gambar 2. Pengaturan eksperimen pada subjek



Gambar 3. Loop Program Sistem



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Baterai sebagai sumber daya yang menyulurkan tegangan ke rangkaian pengisian TP4056 dan penstabil MT3608, kemudian diteruskan ke papan utama ESP32, seperti pada Gambar 4. ESP32 menjadi pusat pengolahan data yang menerima sinyal fotoplethysmografi dari sensor MAX30102 untuk menghitung nilai detak jantung dan SpO_2 serta sinyal percepatan dari sensor MPU6050 untuk mendeteksi gerakan jatuh. Hasil pengolahan data ditampilkan secara lokal pada LCD 16x2 I2C sehingga pengguna dapat memantau kondisi secara langsung, sekaligus dikirimkan melalui koneksi WiFi ke aplikasi Blynk di ponsel pendamping sebagai bagian dari sistem pemantauan pasien berbasis IoT yang terus menerus.

Setelah perangkat dinyalakan, ESP32 melakukan inisialisasi modul WiFi, LCD, MAX30102, dan MPU6050, kemudian masuk ke loop pemantauan, dirincikan pada diagram alir pada Gambar 3. Pada setiap siklus, sistem membaca sinyal *photoplethysmography* (PPG) dari MAX30102 untuk menghitung HR dan SpO_2 , lalu membaca data percepatan dari MPU6050 untuk memperoleh nilai resultan dan orientasi lengan. Nilai ini dibandingkan dengan ambang normal, sehingga apabila tidak terdeteksi jatuh dan parameter vital masih dalam batas aman maka perangkat hanya memperbarui tampilan LCD serta mengirim data periodik ke Blynk. Jika algoritma mendeteksi pola percepatan yang memenuhi kriteria jatuh atau menemukan HR maupun SpO_2 yang melewati ambang kritis, sistem mengubah status menjadi keadaan darurat, menuliskan pesan peringatan pada LCD, dan mengirim notifikasi ke aplikasi Blynk agar pendamping atau tenaga kesehatan segera merespons.

Setup eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2, modul ESP32, MAX30102, MPU6050, MT3608, dan TP4056 ditempatkan di dalam sebuah kantong kecil yang dipasang dengan strap pada lengan atas pasien, sementara baterai berada di kompartemen terpisah di sisi kantong agar distribusi massa tetap nyaman. LCD 16x2 dipasang menghadap keluar sehingga mudah dibaca tanpa melepas perangkat, dan rangkaian kabel dibungkus selubung pelindung yang menuju ke sarung tangan tempat sensor MAX30102 menyentuh ujung jari subjek untuk memperoleh sinyal PPG, sedangkan MPU6050 diposisikan dekat lengan atas agar gerakan tubuh bagian atas saat jatuh terekam dengan jelas. Pada saat uji coba, subjek mengenakan perangkat di lengan yang sama secara konsisten, berdiri di depan tirai seperti pada foto, kemudian diminta melakukan aktivitas duduk, berjalan, serta skenario jatuh terkontrol sehingga data HR, SpO₂, dan respons deteksi jatuh dapat direkam dengan konfigurasi fisik yang selalu sama.

Metode eksperimen perangkat yang diusulkan ini sejalan dengan penelitian [17] yang merancang perangkat *telemedicine* berbasis ESP32 dan MAX30102 untuk memantau *Beats Per Minute* (BPM) dan SpO₂ secara real time ke platform cloud lalu mengevaluasi kinerja melalui pengukuran berulang yang dibandingkan dengan rentang klinis normal dan abnormal. Penelitian [18] yang mengembangkan prototipe deteksi jatuh lansia menggunakan sensor akselerometer MPU6050 dan mikrokontroler ESP8266 dengan penentuan ambang percepatan dan skenario jatuh terkontrol sebagai pemicu notifikasi otomatis ke pendamping sehingga mendukung penggunaan konfigurasi sensor MPU6050 pada lengan atas dan pengujian jatuh terkontrol dalam sistem. Prototipe deteksi jatuh yang mengombinasikan MPU6050, sensor sentuh, GPS, dan modul SIM sehingga algoritme berbasis ambang sudut (sumbu Y) memicu notifikasi real-time via Blynk serta SMS/email. Pendekatan ini diklaim meningkatkan redundansi pemberitahuan dan biaya rendah, namun penelitian hanya menyajikan evaluasi prototipe tanpa validasi klinis skala besar [19]. Prototipe ESP32 + MAX30102 dengan validasi pilot terhadap pulse oximeter klinis yang menunjukkan akurasi tinggi (HR \approx 99.88% dan SpO₂ \approx 99.38%), namun penulis menegaskan kebutuhan validasi klinis yang lebih luas karena ukuran sampel pilot yang terbatas [20].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Akurasi HR & SpO₂ per subjek-kondisi

Pengujian SpO₂ dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor MAX30102 pada perangkat HEALINK terhadap oximeter digital sebagai alat rujukan. Sensor ditempelkan pada ujung jari subjek, sedangkan oximeter dipasang pada jari lain pada tangan yang sama agar kondisi fisiologis yang diukur tetap serupa. Pengambilan data

dilakukan secara serentak, setiap 5 detik diambil satu sampel SpO₂ dari HEALINK dan satu sampel dari alat rujukan, sehingga pada akhir sesi terbentuk deret pasangan data untuk masing masing subjek. Dari pasangan data ini dihitung galat absolut setiap sampel, kemudian dirata-ratakan menjadi MAE dan diubah ke bentuk persentase untuk *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), sedangkan akurasi diperoleh dari seratus persen dikurangi MAPE. Hasil ringkasan eksperimen SpO₂ ditunjukkan pada Gambar 5, di mana subjek S1 memiliki MAE sekitar 1,4 persen dengan MAPE 1,43 persen dan akurasi 98,57 persen, subjek S2 memiliki MAE 1,0 persen dengan MAPE 1,01 persen dan akurasi 98,99 persen, sedangkan subjek S3 menunjukkan MAE 2,1 persen dengan MAPE 2,14 persen dan akurasi 97,86 persen. Pola ini menunjukkan bahwa pembacaan SpO₂ masih cukup fluktuatif antar subjek, sehingga kedekatan nilai terhadap alat rujukan belum konsisten pada seluruh kondisi pengukuran. Tabel 1 menunjukkan akurasi sensor Hr, Tabel 2 menunjukkan akurasi sensor SpO₂

Tabel 1. Akurasi Sensor HR.

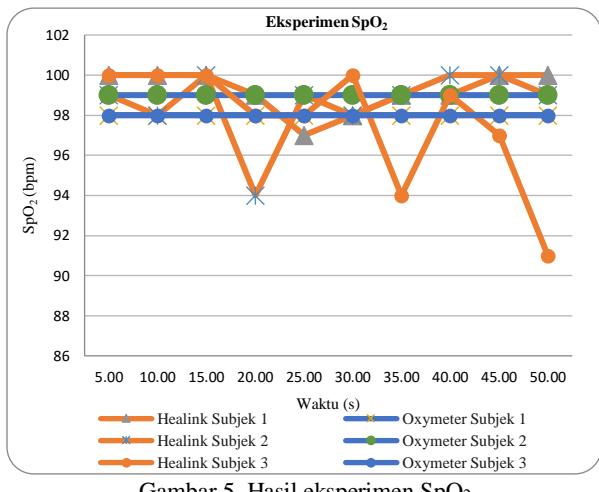
Subjek	MAE	Akurasi	MAPE
S1	1,4%	98,57%	1,43%
S2	1%	98,99%	1,01%
S3	2,1%	97,86%	2,14%

Tabel 2. Akurasi Sensor SpO₂.

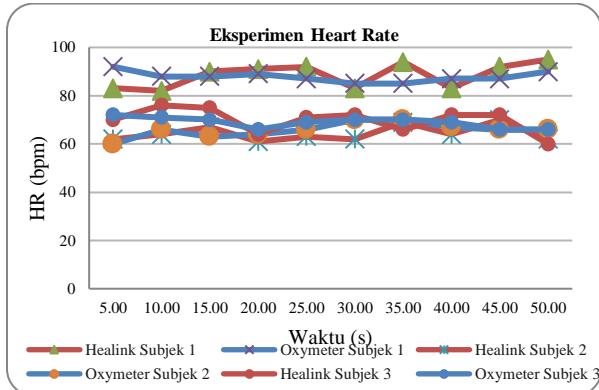
Subjek	MAE	Akurasi	MAPE
S1	4,9%	94,43%	5,57%
S2	3,4%	94,86%	5,14%
S3	3,7%	94,60%	5,40%

Ringkasan kuantitatif kinerja sensor HR disajikan pada Tabel 1, dan ringkasan hasil eksperimen SpO₂ untuk setiap subjek ditunjukkan pada Tabel 2. Eksperimen HR menggunakan konfigurasi fisik yang sama, tetapi fokus pengukuran diarahkan pada detak jantung yang diestimasi oleh MAX30102 dari sinyal fotopletismografi, kemudian dibandingkan dengan detak jantung yang dibaca oleh alat pembanding komersial. Pencatatan dilakukan dalam bentuk deret waktu, setiap 5 detik diambil satu sampel HR dari HEALINK dan satu sampel dari alat rujukan, sehingga pola perubahan detak jantung dapat diikuti sepanjang sesi pengukuran. Data yang terkumpul kemudian diolah untuk menghitung galat absolut per sampel, MAE, MAPE, dan akurasi dengan prosedur yang sama seperti pada pengujian SpO₂. Hasil ringkasan eksperimen HR disajikan pada Gambar 6 dan menunjukkan bahwa kinerja sensor untuk HR jauh lebih baik. Pada subjek S1 diperoleh MAE 4,90 persen dengan MAPE 5,57 persen dan akurasi 94,43 persen, subjek S2 memiliki MAE 3,40 persen dengan MAPE 5,14 persen dan akurasi 94,86 persen, sedangkan subjek S3 memiliki MAE 3,7 persen dengan MAPE 5,40 persen dan akurasi 94,60 persen. Rata-rata MAPE HR berada di kisaran 5,37 persen dengan rata-rata akurasi mendekati 94,63 persen, yang menunjukkan bahwa HEALINK mampu mengikuti tren detak jantung alat rujukan dengan penyimpangan relatif yang kecil. Gambar

5 menunjukkan hasil eksperimen spO₂ dan Gambar 6 menunjukkan eksperimen HR



Gambar 5. Hasil eksperimen SpO₂



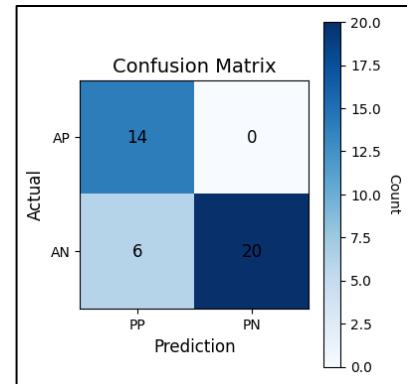
Gambar 6. Hasil eksperimen HR

Hasil pada Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan perbedaan yang jelas antara kinerja estimasi HR dan SpO₂ meskipun keduanya diukur dengan interval waktu yang sama yaitu setiap 5 detik per sampel. Salah satu penyebab perbedaan ini adalah sensitivitas SpO₂ yang lebih tinggi terhadap perfusi perifer, gerakan jari, dan variasi kondisi kulit. Modul SpO₂ masih perlu dikalibrasi ulang dan dioptimalkan baik dari sisi perangkat keras maupun algoritma pemrosesan sinyal agar galat dapat ditekan dan hasil pengukuran lebih mendukung pengambilan keputusan klinis. Studi [21] mengevaluasi akurasi *pulse-oximeter* komersial pada deteksi SpO₂ dan menunjukkan bahwa beberapa perangkat wearable dapat mencapai kesetaraan klinis dengan alat rujukan pada ambang tertentu.

3.2 Akurasi Deteksi Jatuh

Pada pengujian akurasi deteksi jatuh menggunakan sensor MPU6050, data keluaran perangkat HEALINK dibandingkan dengan label kondisi nyata sehingga Setiap sampel diklasifikasikan sebagai *true positive* (TP), *true negative* (TN), *false positive* (FP), atau *false negative* (FN)

untuk membentuk *confusion matrix* pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, sistem menghasilkan 14 kejadian *true positive* ketika subjek benar-benar jatuh dan perangkat juga menyatakan jatuh, 20 kejadian *true negative* ketika subjek tidak jatuh dan perangkat dengan benar tidak memicu alarm, tidak ditemukan *false positive* sehingga perangkat tidak pernah mengindikasikan jatuh saat subjek sebenarnya tidak jatuh, serta masih terdapat 6 kejadian *false negative* ketika terjadi jatuh nyata tetapi algoritma perangkat tidak mengenali jatuh sebagai jatuh. Dari distribusi ini diperoleh akurasi deteksi keseluruhan sekitar 85 persen dengan keberhasilan mengenali kejadian jatuh sekitar 70 persen dan spesifitas 100 persen, yang menunjukkan bahwa pendekatan ambang percepatan dan perubahan orientasi lengan atas yang digunakan pada metode cukup andal untuk menghindari alarm palsu pada aktivitas harian normal, tetapi masih dapat ditingkatkan agar lebih sensitif terhadap variasi pola jatuh yang tidak persis sama dengan skenario kalibrasi, misalnya jatuh yang lebih lambat atau sebagian tertahan, sehingga pada pengembangan berikutnya perlu penyesuaian ambang atau penambahan fitur gerakan agar jumlah FN dapat dikurangi tanpa mengorbankan rendahnya FP. Gambar 7 menunjukkan *confusion matrix* deteksi jatuh



Gambar 7. Confusion Matrix Deteksi Jatuh

3.3 Latensi Perangkat

Pengukuran latensi dilakukan dengan merekam keluaran Serial Monitor Arduino IDE yang memuat waktu kejadian lokal (t_1), waktu diterimanya notifikasi di aplikasi (t_2), dan latensi total (L). Data mentah tersebut kemudian diolah di Google Colab menggunakan skrip Python berbasis *regular expression* dan NumPy untuk mengekstrak nilai numerik serta menghitung nilai median dan maksimum sehingga alur antara metode dan hasil tetap selaras. Hasil rekapitulasi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa dari 20 sampel t_1 berada di kisaran 4,99 detik t_2 sekitar 70 milidetik dan latensi total L sekitar 5,06 detik dengan selisih yang sangat kecil antara median dan nilai maksimum. Kedekatan nilai ini menandakan latensi yang stabil dengan jitter yang rendah sehingga respon perangkat relatif dapat diprediksi dan prosedur pengukuran berbasis monitoring Serial Arduino IDE yang dijelaskan

pada bagian metode terbukti mampu menggambarkan karakteristik waktu tunda sistem dengan baik.

Tabel 3 menunjukkan reliabilitas pengiriman notifikasi blynk, Tabel 4 menunjukkan analisis komparasi instrument dan kinerja

Tabel 3. Reliabilitas Pengiriman Notifikasi Blynk.

Parameter	Nilai	Satuan
n	20	Percobaan
T1 Median	4991	ms
T1 Max	4993	ms
T2 Median	69	ms
T2 Max	71	ms
L Median	5060	ms
L Max	5062	ms

Tabel 4. Analisis komparasi instrumen dan kinerja.

	Sistem	Instrumen	Metode Pengujian	Key Performance
[22]	Sistem yang diusulkan	ESP32, MAX30102, MPU6050	HR dan SpO ₂ dibandingkan dengan oximeter, deteksi jatuh diuji dengan skenario jatuh/bukan jatuh, dan latensi.	HR mendekati akurasi 94%, SpO ₂ sekitar 97%, deteksi jatuh akurasi 85%, dengan latensi notifikasi ≈5,06 s.
[23]		MAX30102, NodeMCU, ESP8266	HR diukur dengan MAX30102 pada ujung jari dan dibandingkan langsung dengan pulse oximeter.	Rata rata deviasi HR 1,176 bpm dengan akurasi sekitar 98,8%.
[24]		MAX30102 (SpO ₂ dan HR), AD8232 (ECG), NodeMCU, ESP32	Perangkat monitoring HR dan SpO ₂ saat tidur. Sensor MAX30102 dan AD8232 terpasang di tubuh.	Rata rata error HR 1,63 persen dan SpO ₂ 2 persen.
[25]		MAX30102, NodeMCU, ESP8266	Sistem monitoring HR dan SpO ₂ real time.	Rata rata error antara nilai di LCD dan Blynk 0,4 persen untuk HR dan 0,2 persen untuk SpO ₂ , pada remaja sehat.
	MPU6050, GPS Neo 6M, NodeMCU, ESP32, aplikasi Android, Google Maps	Sistem detektor jatuh untuk lansia.	MPU6050 dipakai untuk mendeteksi pola percepatan jatuh, GPS untuk menentukan posisi. Saat jatuh terdeteksi, sistem mengirim koordinat ke pendamping melalui aplikasi Android dan menampilkan lokasi di peta.	Rata rata error posisi sekitar 4,63 meter dan rata rata waktu tunda notifikasi sekitar 4,71 detik.

Jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sejenis, seperti pada Tabel 4 yang menggunakan kombinasi sensor MAX30102 dan MPU6050 berbasis IoT, HEALINK menunjukkan kinerja detak jantung yang kompetitif, namun akurasi SpO₂ dan sensitivitas deteksi jatuh masih di bawah beberapa studi rujukan sehingga menjadi fokus pengembangan lanjutan.

4. Kesimpulan

Kesimpulan

HEALINK adalah prototipe *monitoring* berbiaya rendah dengan kinerja berbeda antar modul, seperti estimasi detak jantung (HR) menunjukkan akurasi tinggi (rata-rata mendekati 94%) dan cocok untuk pemantauan tren, sedangkan estimasi SpO₂ masih memiliki kinerja terbatas (akurasi 97%) sehingga belum memadai untuk pengambilan keputusan klinis tanpa kalibrasi dan perbaikan sinyal, deteksi jatuh mencapai akurasi keseluruhan sekitar 85% dengan spesifikasi 100% tetapi sensitivitas masih menurun (masih terdapat false-negative), dan waktu latensi notifikasi end-to-end berada di kisaran 5,06 detik dengan jitter rendah sehingga memenuhi kebutuhan pemberitahuan darurat secara real-time pada skenario rumah rawat. Modul SpO₂ dan peningkatan sensitivitas deteksi jatuh perlu menjadi fokus perbaikan sebelum perangkat ini digunakan sebagai alat bantu keputusan klinis. Pada modul deteksi jatuh, skema ambang percepatan dan orientasi dapat ditingkatkan menjadi model sekuensial berbasis LSTM yang memanfaatkan fusi data akselerometer dan giroskop dari IMU, lalu dijalankan langsung di ESP32, sehingga pola aktivitas harian, gerakan cepat, maupun jatuh yang lambat atau tertahan dapat dibedakan lebih baik sekaligus menekan alarm palsu, seperti pendekatan sistem *wearable* ESP32 untuk lansia yang mengolah data IMU secara real time di sisi edge. Pada modul vital sign, akurasi detak jantung dan terutama SpO₂ dapat ditingkatkan dengan mengadopsi sensor hub oximeter. Secara keseluruhan, HEALINK memenuhi tujuan awal sebagai sistem IoT terpadu untuk pemantauan tanda vital dan deteksi jatuh.

Referensi

- [1] E. G. Bignami *et al.*, “Wearable Devices in Healthcare Beyond the One-Size-Fits All Paradigm,” *Sensors*, vol. 25, no. 20, p. 6472, Oct. 2025, doi: 10.3390/s25206472.
- [2] S. Y. Tan, J. Sumner, Y. Wang, and A. Wenjun Yip, “A systematic review of the impacts of remote patient monitoring (RPM) interventions on safety, adherence, quality-of-life and cost-related outcomes,” *npj Digit. Med.*, vol. 7, no. 1, p. 192, Jul. 2024, doi: 10.1038/s41746-024-01182-w.
- [3] R. M. Merchant *et al.*, “The American Heart Association Emergency Cardiovascular Care 2030 Impact Goals and Call to Action to Improve Cardiac Arrest Outcomes: A Scientific Statement From the American Heart Association,” *Circulation*, vol. 149, no. 8, Feb. 2024, doi: 10.1161/CIR.0000000000001196.
- [4] M. Abdollahi, E. Rashedi, S. Jahangiri, P. M. Kuber, N. Azadeh-Fard, and M. Dombovy, “Fall Risk Assessment in Stroke Survivors: A Machine Learning Model Using Detailed Motion Data from Common Clinical Tests and Motor-Cognitive Dual-Tasking,” *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 812, Jan. 2024, doi: 10.3390/s24030812.
- [5] P. C. Aditiya and D. Djuniadi, “SISTEM PELACAKAN DAN KEAMANAN KENDARAAN BERMOTOR SECARA REAL-TIME BERBASIS NODEMCU ESP8266 DENGAN APLIKASI MOBILE,” 2025.

- [6] D. Djuniadi, S. Anis, and F. S. Pribadi, "SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS TELEMETRI".
- [7] A. Xiong, T. Wu, and J. Jia, "Design of a Real-Time Monitoring System for Electroencephalogram and Electromyography Signals in Cerebral Palsy Rehabilitation via Wearable Devices," *Electronics*, vol. 13, no. 15, p. 2902, Jul. 2024, doi: 10.3390/electronics13152902.
- [8] L. Fitriandini, S. Suhardi, and K. Sari, "Fall Detector pada Lansia berbasis IoT Menggunakan Sensor MPU-6050 dan Sensor GPS Neo 6M," *J. Telecomm. Electr. Control Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 10–22, Jan. 2025, doi: 10.20895/jtece.v7i1.1496.
- [9] J. Liu *et al.*, "A review of wearable sensors based fall-related recognition systems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 121, p. 105993, May 2023, doi: 10.1016/j.engappai.2023.105993.
- [10] Y. Li *et al.*, "A Decade of Progress in Wearable Sensors for Fall Detection (2015–2024): A Network-Based Visualization Review," *Sensors*, vol. 25, no. 7, p. 2205, Mar. 2025, doi: 10.3390/s25072205.
- [11] M. Imam, E. Apriaskar, and D. Djuniadi, "PENGENDALIAN SUHU AIR MENGGUNAKAN SENSOR SUHU DS18B20," *Computer Science*, no. 01, 2019.
- [12] D. H. Wicaksono, D. Djuniadi, and E. Apriaskar, "Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis Internet of Things," *JTE*, vol. 14, no. 2, p. 118, Jul. 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i2.010.
- [13] Department of Biomedical Engineering, Collage of Engineering, University of Thi-Qar, Thi-Qar 64001, Iraq and S. Habib Mnaathr, "Design Remote Monitoring System for Patients atReal-Time based on Internet of Things (IoT)," *IJEM*, vol. 13, no. 5, pp. 1–10, Oct. 2023, doi: 10.5815/ijem.2023.05.01.
- [14] K. V. S. S. Ganesh, S. P. S. Jeyanth, and A. R. Bevi, "IOT based portable heart rate and SpO2 pulse oximeter," *HardwareX*, vol. 11, p. e00309, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00309.
- [15] E. M. G. Rodrigues, R. Godina, C. M. P. Cabrita, and J. P. S. Catalão, "Experimental low cost reflective type oximeter for wearable health systems," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 31, pp. 419–433, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.bspc.2016.09.013.
- [16] F. R. Daniy, T. D. H. Mulia, A. W. Al-Azhari, and D. Djuniadi, "Implementasi Sistem Multitasking pada Mobil RC Berbasis ESP32 dan FreeRTOS," no. 03.
- [17] A. H. F. Hazadi, H. Hassan, and M. Kamalrulzaman, "Telemedicine Device Using IoT for Health Monitoring".
- [18] Ade Ayu Rahmawati, Rio Rahagung, and Fajar Gumilang, "PROTOTYPE ALAT PENDETEKSI GERAKAN JATUH UNTUK LANSIA MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER MPU6050 BERBASIS INTERNET OF THINGS," *jvote*, vol. 8, no. 1, pp. 28–33, Jul. 2025, doi: 10.21009/jvote.v8i1.59462.
- [19] M. Chukwudi, E. Omede, A. E. Edje, and D. I. Alamarefa, "Fall Detection System Using IoT," vol. 11, 2024.
- [20] G. Krishnapriya, PhD and P. S., "Cost-Effective IoT-Based Real-Time Vital Sign Monitoring: An Affordable Telehealth Solution," *THMT*, vol. 10, no. 4, Dec. 2025, doi: 10.30953/thmt.v10.611.
- [21] S. Marinari *et al.*, "Accuracy of a New Pulse Oximetry in Detection of Arterial Oxygen Saturation and Heart Rate Measurements: The SOMBRERO Study," *Sensors*, vol. 22, no. 13, p. 5031, Jul. 2022, doi: 10.3390/s22135031.
- [22] M. Muthmainnah and D. B. Tabriawan, "Prototipe Alat Ukur Detak Jantung Menggunakan Sensor MAX30102 Berbasis Internet of Things (IoT) ESP8266 dan Blynk," *JISKA*, vol. 7, no. 3, pp. 163–176, Sep. 2022, doi: 10.14421/jiska.2022.7.3.163-176.
- [23] R. O. Fiyanto, M. Djaohar, M. Subekti, and A. Sunawar, "Design and Development of a Heart Rate and Blood Oxygen Saturation Monitoring Device in Humans During Sleep Condition Based on the Internet of Things," *JEVET*, vol. 7, no. 1, pp. 55–66, Jun. 2024, doi: 10.21009/JEVET.0071.05.
- [24] Y. Inayatullah, A. H. Ginting, and S. Y. Doo, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Menggunakan Oximeter Max30102," vol. 1, no. 2, 2024.
- [25] L. Fitriandini, S. Suhardi, and K. Sari, "Fall Detector pada Lansia berbasis IoT Menggunakan Sensor MPU-6050 dan Sensor GPS Neo 6M," *J. Telecomm. Electr. Control Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 10–22, Jan. 2025, doi: 10.20895/jtece.v7i1.1496.