

IMPLEMENTASI GAME HOROR 2D ADAPTIF “SUKMA” BERBASIS BIOFEEDBACK DETAK JANTUNG DAN FINITE STATE MACHINE BERBASIS IOT

Naufal Zacky Arditya^{1*}, Asril Adi Sunarto², Fathia Frazna Az-Zahra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi; Jl. R. Syamsudin, S.H. No. 50, Sukabumi; 0266-218345

Keywords:

ESP32; Finite State Machine; Game Horror; Internet of Things; Sensor Detak Jantung

Correspondent Email:

nauvalzacky05@ummi.ac.id

Abstrak. Pengembangan game horor konvensional yang statis sering kali gagal mempertahankan tingkat ketegangan pemain. Penelitian ini mengimplementasikan prototipe serious game horor 2D adaptif "SUKMA" menggunakan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC). Sistem mengintegrasikan ESP32, *Pulse Sensor Amped*, broker MQTT Eclipse Mosquitto, dan Godot Engine (.NET/C#) dengan algoritma *Finite State Machine* (FSM). Logika FSM membagi kondisi biologis pemain menjadi tiga state: *Calm* (<85 BPM; 5 NPC hantu aktif), *Tense* (85–100 BPM), dan *Panic* (>100 BPM) yang memicu penyesuaian berupa pengurangan hantu, penurunan agresivitas, dan efek visual *red vignette*. Pengujian *Black Box* (11 skenario) mencapai tingkat keberhasilan 100%. Latensi transmisi data MQTT berlangsung secara *real-time* dengan rata-rata 42,5 ms ($\sigma = 4,82$ ms). Sementara itu, *User Acceptance Test* (UAT) terhadap 20 responden menghasilkan nilai penerimaan 84,80% (Sangat Baik). Hasil ini membuktikan efektivitas integrasi sensor detak jantung, MQTT, dan FSM dalam menciptakan pengalaman bermain horor yang adaptif dan personal.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Conventional horror game development is often static and fails to maintain consistent player tension. This study implements "SUKMA", an adaptive 2D horror serious game prototype developed using the *Game Development Life Cycle* (GDLC) method. The system integrates an ESP32 microcontroller, *Pulse Sensor Amped*, Eclipse Mosquitto MQTT broker, and Godot Engine (.NET/C#) powered by *Finite State Machine* (FSM) logic. The FSM categorizes player physiological conditions into three states: *Calm* (<85 BPM; 5 active ghost NPCs), *Tense* (85–100 BPM), and *Panic* (>100 BPM), which triggers negative adaptations including reduced ghost count, decreased aggressiveness, and a red-vignette visual effect. Black Box testing across 11 scenarios achieved a 100% success rate. Data transmission latency via MQTT averaged 42.5 ms ($\sigma = 4.82$ ms), well below the 100 ms real-time threshold. Furthermore, User Acceptance Testing (UAT) with 20 student respondents yielded an 84.80% approval score (Very Good category). The results demonstrate that combining heart-rate biofeedback, MQTT protocol, and FSM effectively creates a real-time, adaptive, and personalized horror gaming experience.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *video game* akhir-akhir ini mengalami pergeseran fungsi, dari yang semula sekadar sarana hiburan menjadi permainan berorientasi tujuan spesifik atau *serious game*, yang kini banyak diterapkan pada domain pelatihan, pendidikan, hingga terapi kesehatan [1]. Transformasi ini didorong oleh integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan perangkat sensor mengukur indikator fisiologis manusia secara langsung dan menghubungkannya dengan lingkungan virtual permainan, sehingga menghasilkan pengalaman bermain yang *affect-adaptive* atau responsif terhadap dinamika emosional pemain [2].

Pada genre game horor, kemampuan mengelola tingkat ketegangan emosional (*emotional tension*) secara optimal merupakan faktor penentu keberhasilan imersi permainan. Meskipun demikian, mayoritas game horor konvensional masih menerapkan alur naratif serta elemen ketegangan yang bersifat statis, sehingga tingkat ketegangan yang dirasakan pemain cenderung tidak konsisten, khususnya bagi pemain yang telah memahami pola permainan [3]. Penerapan teknologi *biofeedback* menjadi solusi potensial atas kendala tersebut melalui penyesuaian elemen permainan secara dinamis berdasarkan respons tubuh pemain, alih-alih bergantung pada pemicu kejadian (*fixed triggers*) yang kaku.

Ketiadaan mekanisme *dynamic difficulty adjustment* (DDA) berpotensi memicu ketidakseimbangan antara tekanan permainan dengan toleransi stres individual pemain, yang pada akhirnya menurunkan kepuasan serta kenyamanan bermain [4]. Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji konsep adaptasi berbasis parameter emosional pemain, namun mayoritas studi masih berfokus pada evaluasi persepsi subjektif pengguna dan belum secara mendalam menganalisis kinerja *real-time* dari infrastruktur IoT penunjangnya. Kebaruan (*novelty*) dan perbedaan utama dari penelitian ini terletak pada fokus optimasi teknis, yakni penerapan mekanisme "adaptasi negatif" yang dievaluasi secara kuantitatif melalui pengujian latensi transmisi protokol komunikasi MQTT pada *Godot Engine*, sehingga transisi alur

permainan dapat berlangsung secara responsif tanpa hambatan keterlambatan data.

Sinyal detak jantung dipilih sebagai indikator *biofeedback* utama karena sifatnya yang peka dan cepat bereaksi terhadap kondisi emosional seperti gairah, stres, maupun rasa takut [5]. Ambang batas 100 BPM ditetapkan sebagai parameter kritis karena secara klinis, lonjakan detak jantung di atas angka tersebut pada posisi tubuh istirahat mengindikasikan timbulnya respons stres [6]. Sistem pemantauan kesehatan berbasis sensor IoT ini bertugas mengumpulkan data detak jantung secara *real-time* dan mentransmisikannya ke *game engine* via mikrokontroler ESP32 dan broker MQTT, memungkinkan logika kendali permainan merespons kondisi biologis pemain secara instan [7],[8].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe *serious game* horor 2D adaptif bernama "SUKMA" yang mengintegrasikan sensor detak jantung berbasis IoT dengan algoritma *Finite State Machine* (FSM) pada Godot Engine, serta mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian fungsionalitas, analisis kuantitatif latensi transmisi MQTT, dan uji penerimaan pengguna (*User Acceptance Test*). Ruang lingkup penelitian dibatasi pada penggunaan satu jenis sensor *biofeedback* (*Pulse Sensor Amped*) yang terhubung melalui mikrokontroler ESP32 pada jaringan Wi-Fi lokal 2,4 GHz untuk platform desktop.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Serious Game dan Sistem Adaptif Berbasis IoT*

Serious game didefinisikan sebagai media permainan interaktif yang dikembangkan untuk memberikan dampak fungsional terukur di luar tujuan rekreasi semata, mencakup ranah edukasi, pelatihan, hingga evaluasi respons fisiologis [1]. Melalui integrasi antara instrumen *biofeedback* dan sistem perangkat lunak, *serious game* mampu memfasilitasi mekanisme umpan balik dua arah yang memungkinkan skenario permainan berfungsi secara adaptif [3]. Dalam konteks penelitian ini, arsitektur adaptif beroperasi dengan cara mengolah masukan data fisiologis pemain yang diterima secara *real-time*, kemudian

mengeksekusi logika kendali untuk mentransformasi parameter *gameplay*, seperti penyesuaian pencahayaan lingkungan visual, modulasi audio latar, serta frekuensi kemunculan entitas musuh. Fungsionalitas utama sistem ini difokuskan pada penerapan mekanisme "adaptasi negatif", yaitu reduksi otomatis terhadap tingkat ketegangan dan elemen kejutan saat kondisi emosional pemain terdeteksi melampaui batas ambang stres.

2.2. Sensor Detak Jantung dan mikrokontroler ESP32

Sensor detak jantung berbasis photoplethysmogram (PPG) bekerja dengan memancarkan cahaya ke pembuluh darah dan mengukur intensitas pantulan cahaya yang berubah sesuai denyut nadi [9]. Sensor jenis ini memiliki keterbatasan berupa kepekaan terhadap *motion artifact*, yaitu gangguan sinyal akibat pergeseran posisi jari pemain yang dapat menghasilkan lonjakan data sesaat [9]. ESP32 dipilih sebagai unit pemroses karena harganya terjangkau, hemat energi, serta memiliki modul *Wi-Fi* terintegrasi yang memungkinkan koneksi langsung ke broker MQTT tanpa modul tambahan, sehingga data dapat dikirimkan dengan latensi rendah [10].

2.3. Protokol MQTT dan Finite State Machine (FSM)

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi *publish-subscribe* yang ringan dan cocok digunakan pada perangkat IoT dengan sumber daya terbatas dan kondisi jaringan yang tidak selalu stabil [11]. *Finite State Machine* (FSM) adalah model komputasi yang merepresentasikan sistem sebagai kumpulan status (*state*) dan aturan transisi antar-status berdasarkan kondisi tertentu. Dalam pengembangan game, FSM banyak digunakan untuk mengendalikan perilaku *non-playable character* (NPC) agar responsif terhadap kondisi permainan [12].

2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh [4] mengembangkan mekanisme *dynamic difficulty adjustment* berbasis *biofeedback* pada game horor, namun berfokus pada penilaian kepuasan pengguna tanpa menganalisis kinerja *real-time* sistem IoT. Penelitian [9] berhasil merekam dan membedakan kondisi detak jantung saat istirahat dan beraktivitas menggunakan *Pulse Sensor* dan ESP32 dengan tingkat akurasi yang

sebanding dengan alat medis, namun tidak diarahkan pada aplikasi permainan. Penelitian [13] menerapkan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC) dalam pengembangan game horor 2D *side-scrolling* dan membuktikan bahwa metode tersebut menghasilkan proses pengembangan yang terstruktur. Penelitian yang dipublikasikan pada JITET oleh Kartadinata dan Akbar [14] menerapkan *Hierarchical Finite State Machine* (HFSM) pada *Godot Engine* untuk mengendalikan *character controller* dan *combat system* pada game *Action RPG* 2D, dan membuktikan bahwa pendekatan FSM pada *Godot Engine* mampu menghasilkan sistem kendali karakter yang modular, responsif, dan stabil. Penelitian tersebut menegaskan kesesuaian penggunaan FSM pada *Godot Engine* untuk mengendalikan perilaku karakter berdasarkan input tertentu, namun input yang digunakan masih terbatas pada aksi pemain di dalam game (tombol kendali), berbeda dengan penelitian ini yang memperluas input FSM dengan data *biofeedback* fisiologis (detak jantung) dari perangkat IoT eksternal. Penelitian ini melanjutkan temuan-temuan tersebut dengan menggabungkan sensor detak jantung, protokol MQTT, dan logika FSM secara terintegrasi, sekaligus mengukur kinerja teknis sistem melalui pengujian latensi transmisi data secara kuantitatif.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC) yang terdiri atas enam tahap, yaitu inisiasi, pra-produksi, produksi, pengujian, beta, dan rilis [13]. Tahap inisiasi digunakan untuk menetapkan konsep dasar permainan horor 2D *adaptif* serta target pengguna berusia 18–25 tahun. Tahap pra-produksi mencakup perancangan naskah cerita, desain karakter, dan perancangan logika FSM menggunakan pendekatan terstruktur agar transisi status berjalan optimal [15]. Tahap produksi meliputi implementasi aset visual ke dalam *Godot Engine* menggunakan bahasa C#, pemrograman mikrokontroler ESP32, serta pembuatan sistem *publisher-subscriber* MQTT. Tahap pengujian dilakukan untuk memvalidasi fungsionalitas sistem dan mengukur latensi transmisi data, dilanjutkan dengan tahap beta yang melibatkan responden terbatas, dan

diakhiri dengan tahap rilis dalam bentuk aplikasi *desktop* (.exe).

Perangkat keras yang digunakan terdiri dari mikrokontroler ESP32 dan *sensor Pulse Sensor Amped* yang dipasang pada jari pemain menggunakan finger clip. Sebelum sesi pengujian, setiap responden menjalani kalibrasi baseline selama 3–5 menit dalam kondisi tenang untuk memverifikasi ambang batas transisi FSM. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Godot Engine versi .NET (C#) sebagai mesin permainan, Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, serta *broker MQTT Eclipse Mosquitto* sebagai perantara pengiriman data pada jaringan *Wi-Fi* 2,4 GHz.

Logika FSM membagi kondisi permainan menjadi tiga state berdasarkan ambang batas BPM, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Implementasi Transisi State FSM dan Trigger Entitas Hantu

State FSM	Ambang BPM	Hantu Aktif	Aksi Adaptif (DDA)
Calm State	< 85 BPM	5 hantu	Horor maksimal, agresivitas penuh
Tense State	85–100 BPM	3 hantu	Agresivitas sedang, jumpscare terkontrol
Panic State	> 100 BPM	1–2 hantu	Agresivitas diredam, red vignette, jumpscare nonaktif

Nilai latensi transmisi data MQTT dihitung berdasarkan selisih antara waktu penerimaan paket data di *Godot Engine* dan waktu pengiriman paket data dari ESP32, sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (1).

$$Latensi = T_{received} - T_{published} \quad (1)$$

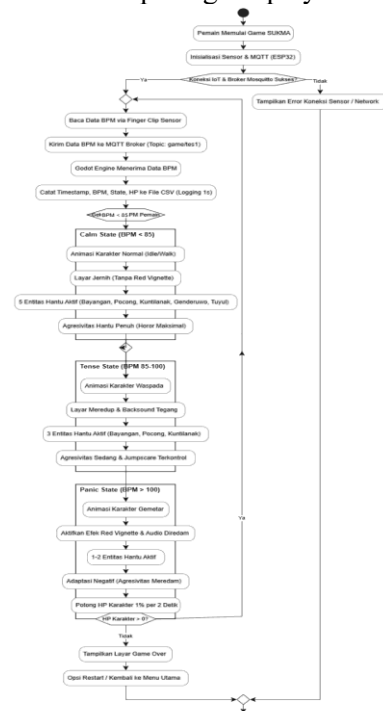
Pengujian sistem dilakukan melalui dua metode, yaitu *Black Box Testing* untuk memverifikasi fungsionalitas sistem berdasarkan luaran yang dihasilkan, serta *User Acceptance Test* (UAT) menggunakan kuesioner *skala Likert* (1–5) terhadap 20 responden mahasiswa berusia 18–25 tahun untuk mengukur kenyamanan perangkat, efektivitas visual, dan stabilitas aliran data. Sistem dinyatakan layak apabila persentase skor UAT mencapai ambang batas $\geq 80\%$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem

Sistem SUKMA berhasil diimplementasikan dengan menghubungkan *Pulse Sensor Amped* dan mikrokontroler ESP32 sebagai *publisher* data BPM melalui *broker MQTT Eclipse Mosquitto* menuju *Godot Engine* sebagai *subscriber*. *Firmware* ESP32 dilengkapi dua filter otomatis untuk menjaga kualitas data, yaitu filter jari lepas (nilai ADC < 300 dikirim sebagai 0) dan filter fisiologis yang memvalidasi rentang klinis 40–180 BPM sebelum data dipublikasikan ke topik game/tes1. Log aktivasi *Mosquitto Broker* menunjukkan koneksi ESP32_SUKMA_Publisher berhasil terjalin dan mengirimkan paket data secara berkelanjutan dengan ukuran 1–2 *byte* per paket, membuktikan arsitektur komunikasi yang ringan (*lightweight*) dan efisien.

Data BPM yang diterima *Godot Engine* ditampilkan secara *real-time* pada indikator *Health Bar* dan digunakan sebagai variabel pengambilan keputusan logika FSM, sekaligus disimpan otomatis ke berkas CSV lokal yang memuat kolom *timestamp*, nilai BPM, dan game state. Gambar 1 menunjukkan alur rancangan sistem permainan secara keseluruhan, mulai dari akuisisi data sensor hingga eksekusi adaptasi gameplay oleh FSM.



Gambar 1. Perancangan Alur Sistem Game SUKMA

4.2. Pengujian Fungsional (Black Box Tasting)

Pengujian fungsional dilakukan terhadap 11 skenario, meliputi tampilan menu utama, konektivitas IoT dan MQTT, respons *adaptif* pada *Panic State* dan *Calm State*, animasi karakter, efek *visual red vignette*, mekanisme *game over*, mekanisme *happy ending*, penyimpanan data CSV, latensi MQTT, dan galeri *log* data pemain. Seluruh skenario pengujian dinyatakan berhasil (*success rate* 100%), yang menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras IoT, protokol komunikasi, dan logika permainan berjalan sesuai rancangan

4.3. Analisis Latensi Transmisi MQTT

Pengujian latensi dilakukan terhadap 20 sampel paket data pada jaringan *Wi-Fi 2,4 GHz* dengan jarak antar-perangkat 1–3 meter. Hasil analisis statistik disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Hasil Pengujian Latensi Transmisi MQTT

Parameter	Nilai
Latensi Minimum	35,0 ms
Latensi Maksimum	58,0 ms
Rata-rata (Mean)	42,5 ms
Simpangan Baku (σ)	4,82 ms

Nilai rata-rata latensi sebesar 42,5 ms dengan simpangan baku yang kecil ($\sigma = 4,82$ ms) menunjukkan bahwa transmisi data biologis melalui protokol MQTT berlangsung stabil dan konsisten, jauh di bawah ambang batas toleransi interaktif sebesar 100 ms [11]. Hal ini membuktikan bahwa *arsitektur publish-subscribe* MQTT layak digunakan untuk aplikasi *biofeedback real-time* pada *game engine*.

4.4. Respons Visual Adaptif Berdasarkan State FSM

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan perbandingan antarmuka permainan pada dua kondisi FSM yang berbeda. Pada Gambar 2, sistem mendeteksi kondisi tenang (*Calm State*) dengan *output sensor* 77 BPM, sehingga tampilan layar tetap bersih tanpa intervensi efek visual bahaya. Sebaliknya, pada Gambar 3, detak jantung pemain melonjak hingga 177 BPM akibat adegan *jumpscare*, sehingga sistem FSM secara instan mengeksekusi transisi ke *Panic State* dengan mengaktifkan efek visual

red vignette dan animasi karakter gemetar sebagai indikator intuitif bagi pemain.



Gambar 2. Antarmuka Game pada *Calm State* (77 BPM)



Gambar 3. Antarmuka Game dengan Efek *Red Vignette* pada *Panic State* (177 BPM)

Evaluasi terhadap data *log* CSV juga mengidentifikasi fenomena *motion artifact*, yaitu lonjakan nilai BPM secara tidak wajar (misalnya dari 137 BPM menjadi 47 BPM dalam rentang satu detik) akibat pergeseran posisi *sensor* optik akibat gerakan refleks jari pemain saat terkejut. Temuan ini menjadi dasar evaluasi bahwa diperlukan algoritma pemfilteran sinyal tambahan untuk pengembangan selanjutnya.

4.5. User Acceptance Test (UAT)

Pengujian UAT melibatkan 20 responden mahasiswa berusia 18–25 tahun yang memiliki minat pada genre horor dan tidak memiliki riwayat gangguan jantung. Hasil rekapitulasi kuesioner UAT dengan *skala Likert* (1–5) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi *Post-Test* UAT (*Skala Likert* 1-5)

Aspek yang Diukur	Skor (%)
Kenyamanan sensor finger-clip	79,00%
Efektivitas efek visual (red vignette)	88,00%
Akurasi pengurangan hantu pada <i>Panic State</i>	78,00%
Rasa aman dari risiko stres berlebihan	83,00%
Personalisasi pengalaman horor	96,00%

Aspek yang Diukur	Skor (%)
Rata-rata Keseluruhan	84,80%

Rata-rata keseluruhan skor UAT sebesar 84,80% (kategori Sangat Baik/Diterima) menunjukkan bahwa sistem adaptif berbasis IoT berhasil memberikan pengalaman bermain yang personal dan interaktif. Meskipun demikian, dua indikator memperoleh skor di bawah ambang batas 80%, yaitu kenyamanan perangkat finger-clip (79,00%) yang disebabkan oleh kabel penghubung ke ESP32 yang sedikit membatasi keluwesan gerakan jari, dan akurasi transisi FSM (78,00%) yang dipengaruhi oleh motion artifact sehingga menyebabkan lagging transition selama 1–2 detik. Temuan ini konsisten dengan keterbatasan sensor PPG yang dilaporkan pada penelitian sebelumnya [9], dan menegaskan perlunya algoritma pemfilteran sinyal tambahan seperti Moving Average Filter pada pengembangan berikutnya.

5. KESIMPULAN

1. Sistem biofeedback berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan menghubungkan *Pulse Sensor Amped* dan ESP32 sebagai *publisher* data BPM melalui broker MQTT menuju *Godot Engine* sebagai *subscriber*, dilengkapi filter jari lepas dan filter fisiologis untuk menjaga stabilitas data.
2. Algoritma *Finite State Machine* (FSM) berhasil mengklasifikasikan kondisi emosional pemain ke dalam tiga state (*Calm*, *Tense*, *Panic*) dan secara otomatis menyesuaikan jumlah entitas hantu, agresivitas, serta efek visual dan audio permainan.
3. Pengujian *Black Box* terhadap 11 skenario fungsional menghasilkan tingkat keberhasilan 100%, sementara analisis *latensi* transmisi MQTT menghasilkan rata-rata 42,5 ms ($\sigma = 4,82$ ms), jauh di bawah ambang batas 100 ms.
4. Pengujian UAT terhadap 20 responden menghasilkan rata-rata skor 84,80% (kategori Sangat Baik), meskipun aspek kenyamanan perangkat fisik dan akurasi transisi FSM masih perlu ditingkatkan akibat pengaruh *motion artifact*.
5. Integrasi sensor detak jantung, protokol MQTT, dan logika FSM terbukti efektif

digunakan untuk menciptakan pengalaman bermain horor yang *adaptif*, personal, dan *real-time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, serta seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan terhadap penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ahmad, F. Mehmood, F. Khan, and T. K. Whangbo, "Architecting Intelligent Smart Serious Games for Healthcare Applications: A Technical Perspective," *Sensors*, vol. 22, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/s22030810.
- [2] M. Croissant, G. Schofield, and C. McCall, "Theories, methodologies, and effects of affect-adaptive games: A systematic review," *Entertain. Comput.*, vol. 47, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.entcom.2023.100591.
- [3] G. N. Yannakakis and D. Melhart, "Affective Game Computing: A Survey," Sep. 2023, doi: 10.1109/JPROC.2023.3315689.
- [4] P. Moschovitis and A. Denisova, "Keep Calm and Aim for the Head: Biofeedback-Controlled Dynamic Difficulty Adjustment in a Horror Game," Jun. 2022, doi: 10.1109/TG.2022.3179842.
- [5] T. Pham, Z. J. Lau, S. H. A. Chen, and D. Makowski, "Heart rate variability in psychology: A review of hrv indices and an analysis tutorial," Jun. 02, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s21123998.
- [6] M. J. Kang and Y. C. Hwang, "Exploring the Factors Affecting the Continued Usage Intention of IoT-Based Healthcare Wearable Devices Using the TAM Model," *Sustain.*, vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/su141912492.
- [7] M. Praneeth, M. Gopi Krishna, K. Kavyalahari, and V. S. Kumar, "AN IoT BASED INTELLIGENT FALL DETECTION AND HEALTH MONITORING SYSTEM," 2021. Accessed: Jul. 27, 2026. [Online]. Available: <http://annalsofscsb.ro/index.php/journal/article/view/9027>
- [8] H. H. Alshammari, "The internet of things healthcare monitoring system based on MQTT protocol," *Alexandria Eng. J.*, vol. 69, pp. 275–287, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.01.065.
- [9] A. Hermansyah, R. Hardiyanti, and A. P. P. Prasetyo, "Sistem Perekam Detak Jantung Berbasis Internet Of Things (IoT) dengan Menggunakan Pulse Heart Rate Sensor," *JTEV*

- (*Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional*), vol. 8, no. 2, p. 338, Jul. 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.116677.
- [10] M. A. Rahman, Y. Li, T. Nabeed, and M. T. Rahman, "Remote monitoring of heart rate and ECG signal using ESP32," in *Proceedings - 2021 4th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering, AEMCSE 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Mar. 2021, pp. 604–610. doi: 10.1109/AEMCSE51986.2021.00127.
- [11] D. Silva, L. I. Carvalho, J. Soares, and R. C. Sofia, "A performance analysis of internet of things networking protocols: Evaluating MQTT, CoAP, OPC UA," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/app11114879.
- [12] J. Khatib Sulaiman Dalam No, J. Wiratama, M. Evelin Johan, and H. Santoso, "Enhancing Gaming Engagement through the Integration of Game Design Document and Finite State Machine: A Study on Optimizing Non-playable Character Responsiveness," *Indones. J. Comput. Sci. Attrib.*, vol. 12, no. 4, pp. 2023–1627, Aug. 2023, doi: 10.33022/ijcs.v12i4.3328.
- [13] A. A. Pratama, I. M. Ghufro, R. Ferdian Maulana, and I. F. Anshori, "Perancangan Game 2D Side Scrolling Other Side dengan Model GDLC," vol. 4, no. 1, 2023, Accessed: Jul. 27, 2026. [Online]. Available: <https://eprosiding-old.ars.ac.id/index.php/pti/article/view/954>
- [14] A. Kartadinata and M. Akbar, "IMPLEMENTASI SISTEM CHARACTER PLAYER PADA GAME RPG 2D MENGGUNAKAN GAME ENGINE GODOT," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, Jul. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.7163.
- [15] E. Kristian and I. A. Mastan, "Penerapan Algoritma Finite State Machine Pada Game 'Knight And King' Dengan Metode Game Development Life Cycle Implementation Of Finite State Machine Algorithm For Game 'Knight And King' Using Game Development Life Cycle Method," vol. 6, no. 2, pp. 58–66, Aug. 2023, doi: 10.30813/jbase.v6i1.4675.