

SMART INFRARED THERAPY: OPTIMALISASI TIMER DAN SENSOR IOT UNTUK EFEKTIVITAS MAKSIMAL DALAM PENGEMBANGAN ALAT ELEKTROMEDIK

Mhd Aldi Primasyukra¹⁾, Sri Ulina¹⁾, Sharfina Haslin²⁾, Muhammad Fahri Syahputra¹⁾, Roma Kristian Malau¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Elektromedik, Fakultas Sains, Teknologi, dan Informasi, Universitas Sari Mutiara Indonesia, Jalan Kapten Muslim No. 79, Kota Medan, Indonesia

²⁾Program Sarjana Kebidanan, Fakultas Farmasi dan Ilmu Kesehatan, Universitas Sari Mutiara Indonesia, Jalan Kapten Muslim No. 79, Kota Medan, Indonesia

Corresponding Author: aldiprimasyukra.map@gmail.com

ABSTRAK

Terapi inframerah banyak digunakan untuk rehabilitasi medis, namun masih terdapat risiko ketidakterkendalian suhu, jarak, dan durasi yang dapat mengurangi efektivitas maupun meningkatkan risiko bagi pasien. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem Smart Infrared Therapy berbasis mikrokontroler ESP8266 dengan integrasi sensor suhu MLX90614, sensor jarak HC-SR04, dan platform IoT Blynk untuk meningkatkan keamanan dan presisi terapi. Sistem dirancang agar mampu memantau suhu permukaan kulit dan jarak pasien secara real-time, mengendalikan durasi terapi melalui timer otomatis, serta mengirimkan notifikasi segera jika parameter aman terlampaui. Pengujian dilakukan pada tiga aspek utama, yaitu akurasi pengukuran suhu, akurasi deteksi jarak, dan kinerja integrasi IoT-timer. Hasil menunjukkan bahwa sensor MLX90614 memiliki error maksimum 0,82% dengan waktu respons <0,5 detik, sedangkan sensor HC-SR04 memiliki error 0,25–1,50% dengan tingkat keberhasilan deteksi 100%. Integrasi IoT menghasilkan latency rata-rata 0,85 detik, deviasi timer $\pm 0,8$ detik, dan tingkat keberhasilan notifikasi 100%. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pemantauan suhu berakurasi tinggi, deteksi jarak, kontrol waktu otomatis, dan konektivitas IoT dalam satu perangkat portabel. Dengan hasil yang diperoleh, sistem ini berpotensi dikembangkan sebagai prototipe perangkat elektromedik terapi inframerah yang aman, presisi, dan terhubung IoT.

Kata kunci: Terapi Inframerah Pintar; Pengaruh Waktu dan Sensor IoT; Sensor Suhu; Keamanan Terapi; Pengembangan Perangkat Elektromedis.

ABSTRACT

Infrared therapy is widely used in medical rehabilitation; however, uncontrolled temperature, distance, and duration may reduce its effectiveness and increase patient risk. This study aims to implement a Smart Infrared Therapy system based on the ESP8266 microcontroller, integrating the MLX90614 temperature sensor, the HC-SR04 distance sensor, and the Blynk IoT platform to enhance safety and precision. The system is designed to monitor skin surface temperature and patient distance in real-time, control therapy duration through an automatic timer, and provide immediate notifications when safety thresholds are exceeded. The evaluation focused on three main aspects: temperature measurement accuracy, distance detection accuracy, and IoT-timer integration performance. Results show that the MLX90614 sensor achieved a maximum error of 0.82% with a response time of <0.5 seconds, while the HC-SR04 sensor recorded an error rate of 0.25–1.50% with 100% detection success. IoT integration demonstrated an average latency of 0.85 seconds, timer deviation of ± 0.8 seconds, and 100% notification success. The novelty of this research lies in the integration of high-accuracy temperature monitoring, distance detection, automatic time control, and IoT connectivity within a single portable

device. With the demonstrated performance, this system has strong potential to be developed as a prototype of a safe, precise, and IoT-enabled infrared therapy electromedical device.

Keyword: Smart Infrared Therapy; IoT Timer and Sensor; Temperature Sensor; Therapy Safety; Electromedical Device Development.

1. PENDAHULUAN

Terapi inframerah telah menjadi salah satu metode fisioterapi yang paling banyak digunakan dalam bidang rehabilitasi medis [1][2]. Prinsip kerjanya memanfaatkan radiasi inframerah untuk menghasilkan efek pemanasan pada jaringan tubuh, yang telah terbukti mampu meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi nyeri otot, meningkatkan elastisitas jaringan, serta mempercepat penyembuhan luka [3][4]. Dengan penetrasi panas yang mencapai lapisan subkutan, terapi ini banyak diterapkan pada cedera otot, radang sendi, dan kondisi degeneratif tertentu [5].

Seiring dengan kemajuan teknologi, perangkat terapi inframerah tidak lagi hanya bergantung pada lampu pemanas konvensional, tetapi mulai mengadopsi sistem kontrol otomatis yang dilengkapi dengan sensor untuk meningkatkan keamanan dan efektivitas [6]. Penerapan Internet of Things (IoT) pada perangkat elektromedis menawarkan peluang baru dalam pemantauan jarak jauh, penyimpanan data terapi, serta pengendalian perangkat secara real-time [7][8].

Meskipun memiliki banyak manfaat, terapi inframerah juga mengandung risiko paparan panas berlebih (*overheating*), yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan, iritasi, bahkan luka bakar [9]. Pengaturan manual terhadap durasi terapi dan jarak oleh operator sering kali tidak konsisten dan rentan terhadap kesalahan manusia, terutama dalam kondisi pelayanan medis yang sibuk [10]. Selain itu, perangkat terapi konvensional umumnya tidak dilengkapi dengan sistem pemantauan suhu secara real-time, sehingga menyulitkan operator untuk merespons segera jika terjadi lonjakan suhu mendadak [11].

Penggunaan sensor inframerah non-kontak seperti MLX90614 telah terbukti memberikan akurasi tinggi dalam mengukur suhu permukaan kulit [12]. Sensor ini mampu mendeteksi suhu dalam rentang yang luas dengan respons cepat terhadap perubahan suhu, sehingga ideal untuk aplikasi medis yang membutuhkan pemantauan secara real-time. Sementara itu, sensor ultrasonik

HC-SR04 memungkinkan deteksi posisi pasien, sehingga memastikan mereka tetap berada dalam zona aman selama terapi [1][13].

Integrasi kedua sensor tersebut dengan mikrokontroler berbasis ESP8266 dan platform IoT seperti Blynk memungkinkan data suhu dan jarak dipantau secara langsung melalui perangkat seluler atau komputer [14]. Hal ini memungkinkan tenaga medis untuk mengawasi proses terapi dari jarak jauh dan mengambil tindakan segera bila diperlukan [15].

Penelitian ini mengusulkan sistem Smart Infrared Therapy yang menggabungkan sensor suhu MLX90614 dan sensor jarak HC-SR04 dengan modul ESP8266 yang terhubung ke platform Blynk [16]. Sistem ini dilengkapi dengan pengatur waktu otomatis yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan terapi, sehingga memastikan kontrol durasi paparan panas yang tepat. Selain itu, data dari sensor dikirimkan ke aplikasi Blynk untuk memberikan pemantauan secara real-time dan peringatan apabila suhu melebihi ambang batas keamanan [17].

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penerapan IoT pada perangkat fisioterapi. Mahmoud menekankan bahwa integrasi teknologi inframerah dengan Wireless Sensor Networks (WSN) meningkatkan regulasi intensitas cahaya dan durasi paparan, sehingga dapat mengurangi risiko paparan berlebih [18]. Demikian pula, penelitian Pradhan menunjukkan potensi perangkat IoT untuk pemantauan kesehatan berbasis data secara real-time, yang sangat relevan bagi pengembangan sistem terapi inframerah [14].

Kebaruan penelitian ini terletak pada optimalisasi sensor MLX90614 untuk pemantauan suhu permukaan kulit secara akurat, integrasi dengan sensor HC-SR04 untuk deteksi jarak pasien yang aman, serta konektivitas IoT menggunakan Blynk untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh [19]. Kombinasi ini belum ditemukan pada penelitian sebelumnya yang mengintegrasikan seluruh fitur tersebut dalam satu perangkat portabel dan ramah

pengguna. Potensi pengembangan di masa depan mencakup integrasi algoritma kecerdasan buatan untuk menyesuaikan parameter terapi secara otomatis berdasarkan kondisi pasien [18][20].

2. TINJAUAN PUSTAKA (Heading)

2.1 Terapi Inframerah

Terapi inframerah merupakan metode fisioterapi yang banyak digunakan untuk menghasilkan efek panas terapeutik yang dapat meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi nyeri, dan mempercepat proses penyembuhan jaringan [1][13]. Mekanisme biologisnya melibatkan aktivasi saluran ion yang peka terhadap cahaya dan panas, bahkan dilaporkan mampu menstimulasi osteogenesis pada *mesenchymal stem cells* [13][15]. Penggunaannya juga meluas pada pasien kronis, misalnya meningkatkan maturasi akses vaskular pada hemodialisis [8] serta memperbaiki kondisi kardiovaskular pada pasien peritoneal dialisis [26]. Meski demikian, penggunaan yang tidak terkontrol dapat menimbulkan risiko, sebagaimana dilaporkan kasus luka bakar tingkat tiga akibat pemakaian lampu inframerah secara *off-label* [4].

Seiring dengan kemajuan teknologi, terapi inframerah semakin banyak dikombinasikan dengan perangkat berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan keamanan dan efektivitasnya. Pemanfaatan sensor suhu MLX90614 dan sensor jarak HC-SR04 pada sistem mikrokontroler memungkinkan pengendalian otomatis terhadap suhu, jarak, dan durasi terapi sehingga lebih presisi dan aman [1][22][25]. Integrasi ini sejalan dengan tren IoT di bidang kesehatan yang menekankan pemantauan real-time dan efisiensi sumber daya [6][9][14][19]. Dengan demikian, pengembangan terapi inframerah berbasis IoT menjadi penting untuk menjawab kebutuhan akan perangkat elektromedik yang cerdas, efektif, dan berorientasi pada keselamatan pasien.

2.2 ESP8266

ESP8266 merupakan salah satu mikrokontroler populer yang dilengkapi modul Wi-Fi terintegrasi sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT). Keunggulannya terletak pada konsumsi daya yang rendah, biaya relatif murah,

serta dukungan pemrograman yang luas melalui Arduino IDE maupun platform lainnya [6][14]. Dalam berbagai penelitian, ESP8266 terbukti handal untuk menghubungkan perangkat sensor dengan layanan cloud maupun aplikasi mobile secara real-time [9][10][19].

Pemanfaatan ESP8266 telah banyak diimplementasikan di bidang kesehatan dan elektromedik. Misalnya, pada pengembangan sistem kontrol pompa dan aerator berbasis IoT untuk efisiensi energi [2], monitoring rumah kaca aeroponik dengan sensor terintegrasi [9], hingga perangkat medis portabel yang mampu mendeteksi anomali dan memfasilitasi prediksi kondisi pasien melalui *machine learning* [10], [18]. Dukungan konektivitas nirkabel menjadikan ESP8266 sebagai pilihan ideal untuk perangkat terapi modern, termasuk dalam pengembangan sistem terapi inframerah yang membutuhkan pemantauan jarak jauh dan kontrol otomatis.

Dengan karakteristik tersebut, integrasi ESP8266 pada perangkat terapi inframerah memungkinkan terciptanya sistem cerdas yang tidak hanya mampu menjaga keamanan pasien melalui monitoring suhu dan jarak secara real-time, tetapi juga mendukung pencatatan data terapi pada platform berbasis cloud [6][14][19]. Hal ini menunjukkan bahwa ESP8266 memiliki peran strategis dalam mengoptimalkan inovasi perangkat elektromedik berbasis IoT.

2.3 Sensor MLX90614

MLX90614 adalah sensor inframerah non-kontak yang dirancang untuk mengukur suhu permukaan objek secara akurat tanpa memerlukan kontak fisik. Keunggulan sensor ini adalah sensitivitas tinggi, respon cepat, serta kemampuannya membaca suhu dengan presisi baik dalam rentang dekat maupun menengah [25]. Dalam aplikasi medis, sensor ini sangat relevan karena dapat mengurangi risiko kontaminasi silang antar pasien, sehingga banyak digunakan untuk monitoring suhu tubuh maupun perangkat elektromedik.

Beberapa penelitian telah memanfaatkan MLX90614 pada perangkat kesehatan. Misalnya, pengembangan alat ukur suhu tubuh berbasis pyrometric device untuk skrining massal [22], serta evaluasi dan kalibrasi pengukuran suhu pada inkubator neonatal menggunakan black-body emulator [25]. Kemampuan sensor ini untuk

diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP8266 menjadikannya pilihan utama dalam perancangan sistem terapi inframerah yang membutuhkan pengendalian suhu secara otomatis dan real-time [1].

2.4 Sensor HC-SR04

HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik yang banyak digunakan untuk mengukur jarak dengan memanfaatkan prinsip pantulan gelombang suara ultrasonik. Sensor ini bekerja dengan mengirimkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu pantulan kembali untuk menentukan jarak objek. Keunggulan HC-SR04 adalah harga yang terjangkau, kemudahan implementasi, serta akurasi yang cukup tinggi untuk berbagai aplikasi teknis [1].

Dalam bidang kesehatan, sensor ini digunakan untuk memastikan jarak optimal antara perangkat terapi dan tubuh pasien. Pengaturan jarak yang tepat penting dalam terapi inframerah untuk mencegah paparan berlebih yang dapat menimbulkan efek samping seperti luka bakar [4]. Penelitian terbaru bahkan mengembangkan sistem pengukuran jarak berbasis ultrasonik dengan pendekatan *artificial neural network* untuk meningkatkan akurasi [24]. Oleh karena itu, HC-SR04 menjadi komponen penting dalam mendukung keselamatan penggunaan terapi inframerah.

2.5 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan untuk bertukar data dan melakukan kontrol secara otomatis. IoT telah berkembang pesat di berbagai sektor, termasuk kesehatan, karena mampu menghadirkan sistem monitoring yang real-time, efisien, dan berbasis data [6]. Dalam konteks medis, integrasi sensor dengan IoT dapat meningkatkan kualitas layanan, memungkinkan intervensi lebih cepat, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Berbagai penelitian menunjukkan penerapan IoT di bidang kesehatan, seperti monitoring rumah kaca aeroponik dengan sensor terintegrasi [9], deteksi anomali berbasis *ensemble learning* untuk sistem kesehatan real-time [10], serta wearable sensing systems untuk pemantauan bioparameter pasien [14], [19]. Dengan kemampuannya mengintegrasikan sensor MLX90614 dan HC-

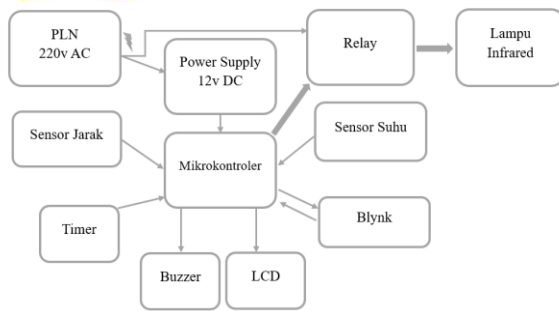
SR04 pada perangkat terapi, IoT memberikan nilai tambah berupa keamanan, efektivitas, serta fleksibilitas pemantauan jarak jauh.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk menggabungkan fungsi pemantauan suhu permukaan kulit, deteksi jarak pasien, dan kontrol waktu terapi inframerah otomatis [21]. Komponen utama terdiri dari:

1. Sensor Suhu MLX90614, digunakan untuk mengukur suhu permukaan kulit pasien secara non-kontak. Sensor ini bekerja dengan prinsip mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh suatu objek dan mengubahnya menjadi nilai suhu digital. Keunggulannya meliputi akurasi tinggi, respons cepat, serta tahan terhadap gangguan lingkungan.
2. Sensor Ultrasonik HC-SR04, berfungsi untuk mendeteksi jarak antara perangkat dan pasien, memastikan pasien tetap berada dalam zona aman selama terapi. Sensor ini memancarkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu pantulannya untuk menentukan jarak.
3. Mikrokontroler ESP8266, bertindak sebagai pusat kontrol untuk membaca data sensor, mengoperasikan lampu inframerah, mengatur *timer*, serta mengirimkan data ke *platform* IoT Blynk.
4. Modul Lampu Inframerah, menghasilkan radiasi panas yang digunakan untuk terapi. Lampu ini dipasang padaudukan yang dapat diatur untuk mendapatkan sudut terapi yang optimal [22].
5. Unit Catu Daya (*Power Supply*), menyediakan tegangan stabil untuk seluruh rangkaian, dengan perlindungan terhadap lonjakan arus [23].
6. Rangka dan *Casing*, dirancang agar perangkat bersifat *portabel*, ergonomis, serta melindungi komponen elektronik dari kerusakan fisik [24].



Gambar 1. Diagram blok sistem perangkat keras.

3.2 Desain Perangkat Lunak

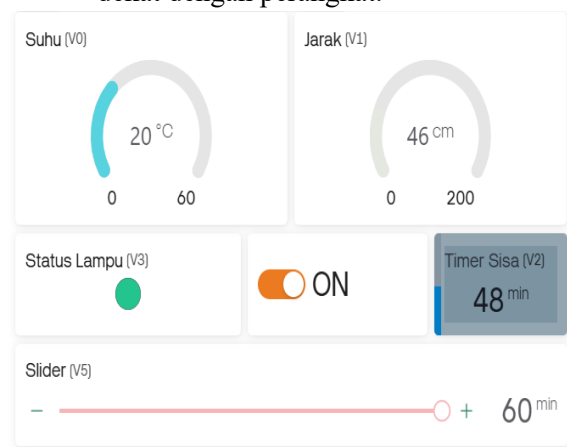
Perangkat lunak untuk sistem *Smart Infrared Therapy* dikembangkan untuk mengintegrasikan pembacaan sensor, kontrol aktuator, konfigurasi timer, dan transmisi data ke platform IoT Blynk. Pemrograman dilakukan menggunakan bahasa C++ dengan Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan. Tahapan desain perangkat lunak meliputi:

1. Inisialisasi sensor dan variabel, meliputi konfigurasi alamat I2C untuk sensor MLX90614, konfigurasi pin untuk sensor HC-SR04, serta definisi variabel global untuk pemrosesan data.
2. Akuisisi data sensor, mikrokontroler membaca suhu dari MLX90614 dan jarak dari HC-SR04 pada interval sampling yang telah ditentukan.
3. Pemrosesan data suhu dan jarak diproses untuk menentukan kondisi operasi lampu inframerah. Misalnya, jika suhu melebihi batas aman (misalnya 42°C), sistem secara otomatis mematikan lampu.
4. Konfigurasi timer otomatis, timer dapat diatur melalui aplikasi Blynk atau secara manual pada perangkat. Durasi terapi yang ditetapkan mengontrol berapa lama lampu tetap menyala.
5. Transmisi data ke Blynk, data suhu, jarak, dan status terapi dikirim ke server Blynk melalui koneksi Wi-Fi dengan modul ESP8266.
6. Pengiriman alarm atau notifikasi, jika terjadi anomali (suhu berlebih atau jarak tidak sesuai), sistem mengirim notifikasi real-time ke aplikasi Blynk.

3.3 Integrasi IoT dan Aplikasi Blynk

Integrasi IoT pada sistem *Smart Infrared Therapy* diimplementasikan menggunakan modul ESP8266, yang berfungsi sebagai penghubung antara perangkat keras dan server Blynk. Modul ini memungkinkan transmisi dan penerimaan data secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Tahapan integrasi IoT meliputi:

- Konfigurasi Modul ESP8266, termasuk pengaturan kredensial Wi-Fi (SSID dan password) serta autentikasi menggunakan auth token dari aplikasi Blynk.
- Koneksi ke Server Blynk, memastikan mikrokontroler tetap terhubung stabil dengan server agar komunikasi data tidak terputus selama terapi.
- Transmisi Data Sensor, data suhu dari MLX90614 dan jarak dari HC-SR04 dikirim ke virtual pin di server Blynk, lalu ditampilkan sebagai grafik, indikator suhu, dan indikator jarak pada aplikasi.
- Kontrol Perangkat Jarak Jauh, operator dapat menyalakan/mematikan lampu inframerah, mengatur timer, dan mengubah parameter batas aman langsung melalui antarmuka Blynk.
- Notifikasi Otomatis, sistem mengirim push notification ke perangkat seluler jika parameter keamanan dilanggar, misalnya suhu melebihi 42°C atau pasien terlalu dekat dengan perangkat.



Gambar 3. Antarmuka aplikasi Blynk.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

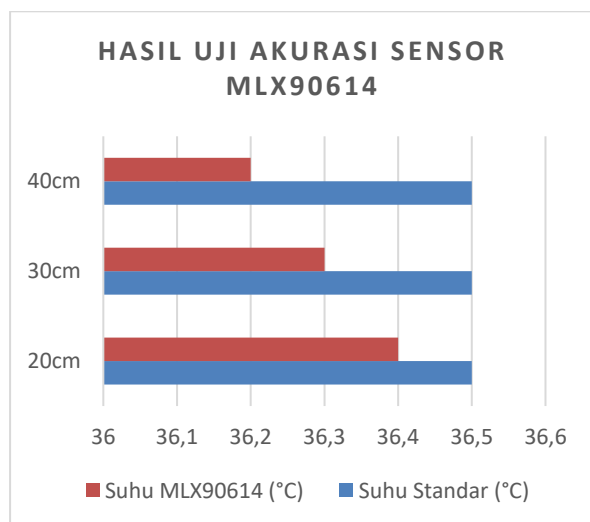
4.1. Hasil Uji Sensor MLX90614

Pengujian sensor MLX90614 dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan kecepatan respons dalam memantau suhu permukaan kulit secara real-time. Pengujian dilakukan pada tiga jarak berbeda: 20 cm, 30 cm, dan 40 cm dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap termometer inframerah medis standar. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Tabel 1** di bawah ini:

Tabel 1. Hasil uji akurasi sensor MLX90614

Jarak (cm)	Suhu Standar (°C)	Suhu MLX90614 (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
20	36.5	36.4	0.1	0.27
30	36.5	36.3	0.2	0.55
40	36.5	36.2	0.3	0.82

Dari tabel di atas terlihat bahwa deviasi pengukuran pada semua jarak berada di bawah 0,5°C, dengan error maksimum 0,82%, yang masih dalam rentang toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi medis.



Gambar 3. Grafik hasil uji akurasi sensor MLX90614

Sensor juga menunjukkan respons cepat dengan waktu pembacaan kurang dari 0,5 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MLX90614 efektif untuk pemantauan suhu real-time guna mencegah paparan panas berlebih.

4.2. Hasil Uji Sensor HC-SR04

Pengujian sensor HC-SR04 dilakukan untuk menilai akurasi deteksi jarak pasien terhadap perangkat terapi. Pengujian dilakukan pada rentang 20–60 cm dengan interval 10 cm. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan pengukuran menggunakan penggaris. **Tabel 2** menyajikan hasil pengujian:

Tabel 2. Hasil uji akurasi sensor HC-SR04

Jarak actual (cm)	Hasil Pembacaan HC-SR04 (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
20	20.3	0.3	1.50
30	30.2	0.2	0.67
40	40.1	0.1	0.25
50	50.4	0.4	0.80
60	60.5	0.5	0.83

Hasil pengujian menunjukkan error relatif berkisar antara 0,25% hingga 1,50%, yang masih dalam batas toleransi untuk aplikasi medis non-kontak. Tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100% pada semua jarak uji, menandakan bahwa sensor HC-SR04 andal dalam memastikan posisi pasien tetap aman selama terapi.

4.3. Hasil Uji Sistem IoT dan Timer

Pengujian sistem IoT dan timer dilakukan untuk mengevaluasi kinerja transmisi data suhu dan jarak secara real-time ke aplikasi Blynk, serta akurasi durasi nyala lampu inframerah sesuai pengaturan timer. Pengujian ini juga memverifikasi fungsi notifikasi otomatis ketika batas aman terlampaui. **Tabel 3** merangkum hasil pengujian:

Tabel 3. Hasil uji akurasi IoT dan Timer

Parameter Uji	Hasil Uji	Standar keberhasilan	Keterangan
Latensi data Blynk	0.85 detik	< 1 second	Memenuhi standar
Deviasi timer (5 menit)	±0.8 detik	±1 second	Memenuhi standar

Keberhasilan notifikasi suhu	100% (5/5 percobaan)	$\geq 95\%$	Semua notifikasi diterima < 2 detik
Keberhasilan notifikasi jarak	100% (5/5 percobaan)	$\geq 95\%$	Semua notifikasi diterima < 2 detik

Hasil menunjukkan bahwa sistem mencapai latensi rata-rata 0,85 detik, artinya data suhu dan jarak muncul di aplikasi Blynk hampir seketika. Timer otomatis memiliki deviasi maksimum $\pm 0,8$ detik dari durasi yang ditetapkan, menunjukkan akurasi kontrol waktu yang tinggi. Notifikasi keamanan berhasil dikirim dan diterima dalam waktu kurang dari 2 detik pada semua percobaan, membuktikan bahwa sistem IoT beroperasi secara andal dan stabil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Infrared Therapy yang mengintegrasikan sensor suhu MLX90614, sensor jarak HC-SR04, mikrokontroler ESP8266, dan platform IoT Blynk untuk meningkatkan keamanan serta efektivitas terapi inframerah.

Kesimpulan utama:

1. Akurasi Pengukuran Suhu: Sensor MLX90614 mencapai error maksimum sebesar 0,82% dengan waktu respons <0,5 detik, sehingga layak digunakan untuk pemantauan suhu kulit secara real-time.
2. Akurasi Deteksi Jarak: Sensor HC-SR04 menunjukkan error antara 0,25–1,50% dengan tingkat keberhasilan deteksi 100%, sehingga efektif menjaga jarak aman pasien.
3. Kinerja IoT dan Timer: Integrasi IoT melalui ESP8266 dan Blynk menghasilkan latensi rata-rata 0,85 detik, presisi timer otomatis $\pm 0,8$ detik, serta tingkat keberhasilan notifikasi keamanan 100%.
4. Kebaruan Sistem: Perangkat ini menggabungkan pengukuran suhu yang presisi, deteksi jarak, kontrol waktu otomatis, dan integrasi IoT dalam satu unit portabel, suatu konfigurasi yang jarang ditemukan pada perangkat terapi inframerah sebelumnya.

Dengan kinerja yang ditunjukkan, sistem ini dapat dijadikan prototipe perangkat elektromedis terapi inframerah yang aman, presisi, dan berbasis IoT. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup uji klinis yang lebih luas serta optimasi desain fisik untuk meningkatkan ergonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mhd. A. Primasyukra, K. J. Siringoringo, S. Ulina, and D. Soleha, "Rancang Bangun Sensor Hc-Sr04 Pada Alat Terapi Infrared Berbasis Arduino Uno Smd Atmega 328p," *Jurnal Mutiara Elektromedik*, vol. 8, no. 2, pp. 37–42, Dec. 2024, doi: 10.51544/elektromedik.v8i2.5516.
- [2] Mawardi, P. M. Sihombing, and N. Yudisha, "An internet of things-based pump and aerator control system," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 34, no. 2, pp. 848–860, May 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v34.i2.pp848-860.
- [3] S. Nayak, S. Srinivasan, A. Padiya, and Prof. S. Kadge, "IoT Based Automated Entry System for Covid Prevention: A Review," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 10, no. 5, pp. 4335–4342, May 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.43197.
- [4] K. Ishikawa et al., "Iatrogenic third-degree burn caused by off-label use of an infrared radiant heat lamp in a patient with accidental hypothermia," *Burns Open*, vol. 5, no. 1, pp. 21–24, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.burnso.2020.09.001.
- [5] G. Town, C. Ash, C. Dierickx, K. Fritz, P. Bjerring, and M. Haedersdal, "Guidelines on the safety of light-based home-use hair removal devices from the European Society for Laser Dermatology," *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, vol. 26, no. 7, pp. 799–811, Jul. 2012, doi: 10.1111/j.1468-3083.2011.04406.x.
- [6] R. J. Ferreira, C. Ranaweera, K. Lee, and J. G. Schneider, "Energy efficient resource management for real-time IoT applications," *Internet of Things (The Netherlands)*, vol. 30, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.iot.2025.101515.

- [7] T. Nakano et al., "Sunlight Exposure and Phototherapy: Perspectives for Healthy Aging in an Era of COVID-19," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 20, p. 10950, Oct. 2021, doi: 10.3390/ijerph182010950.
- [8] Sunny, Elizabeth et al., "A Prospective Randomised Open Labelled Study On The Role Of Far Infrared Therapy On Avf Maturation And Survival Among Hemodialysis Patients," *WCN25-2197*, *Kidney International Reports*, Volume 10, Issue 2, S295 - S296
- [9] H. A. Méndez-Guzmán et al., "IoT-Based Monitoring System Applied to Aeroponics Greenhouse," *Sensors*, vol. 22, no. 15, Aug. 2022, doi: 10.3390/s22155646.
- [10] Y. Wu, L. Liu, Y. Yu, G. Chen, and J. Hu, "Online ensemble learning-based anomaly detection for IoT systems," *Appl Soft Comput*, vol. 173, p. 112931, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.asoc.2025.112931.
- [11] P. Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Tahun et al., "DPPM 2025."
- [12] O. Zadorozhnyy et al., "Application of smartphone-based infrared thermography devices for ocular surface thermal imaging," *Med Eng Phys*, vol. 130, p. 104212, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.medengphy.2024.104212.
- [13] S. K. Sharma, S. Sardana, and M. R. Hamblin, "Role of opsins and light or heat activated transient receptor potential ion channels in the mechanisms of photobiomodulation and infrared therapy," *J Photochem Photobiol*, vol. 13, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.jpap.2023.100160.
- [14] B. Pradhan, S. Bhattacharyya, and K. Pal, "IoT-Based Applications in Healthcare Devices," *J Healthc Eng*, vol. 2021, pp. 1–18, Mar. 2021, doi: 10.1155/2021/6632599.
- [15] Y. M. Choi et al., "Far-infrared radiation emitted from eco-friendly carbon fiber composite sheet induced osteogenesis of human tonsil-derived mesenchymal stem cells," *Mater Des*, vol. 239, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.matdes.2024.112778.
- [16] X. Liu, M. F. Antwi-Afari, J. Li, Y. Zhang, and P. Manu, "BIM, IoT, and GIS integration in construction resource monitoring," Jun. 01, 2025, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.autcon.2025.106149.
- [17] E. Navarrete de Gálvez et al., "Proposal and operational evaluation of a device for external and internal photodynamic therapy treatments," *Photodiagnosis Photodyn Ther*, vol. 51, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.pdpdt.2024.104440.
- [18] M. A. Mahmoud, N. R. Md Nasir, M. Gurunathan, P. Raj, and S. A. Mostafa, "The Current State of the Art in Research on Predictive Maintenance in Smart Grid Distribution Network: Fault's Types, Causes, and Prediction Methods—A Systematic Review," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 16, p. 5078, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14165078.
- [19] R. De Fazio, M. De Vittorio, and P. Visconti, "Innovative IoT Solutions and Wearable Sensing Systems for Monitoring Human Biophysical Parameters: A Review," *Electronics (Basel)*, vol. 10, no. 14, p. 1660, Jul. 2021, doi: 10.3390/electronics10141660.
- [20] C. Alkon and A. Schmitz, "Opening The Virtual Window: How On-Line Processes Could Increase Access To Justice In The Criminal Legal System." [Online]. Available: <https://www.un.org/en/about-us/universal->
- [21] "Lembaran Negara Republik Indonesia Peraturan Presiden Republik Indonesia", [Online]. Available: www.peraturan.go.id
- [22] D. Shah, P. Jha, V. Awasthi, P. Mau, B. Kothari, and I. Maru, "Enhanced Pyrometric device with Long Range for mass screening based on MLX90614," in *2021 International Conference on Nascent Technologies in Engineering, ICNET 2021 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jan. 2021. doi: 10.1109/ICNTE51185.2021.9487689.
- [23] "Technical Requirements in Electrical Safety Laboratory for Electromedical Devices".
- [24] A. K. Sahoo and S. K. Udgata, "A Novel ANN-Based Adaptive Ultrasonic Measurement System for Accurate Water Level Monitoring," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 69, no. 6, pp. 3359–3369, Jun. 2020, doi: 10.1109/TIM.2019.2939932.



- [25] J. L. F. Vasquez, G. Z. Guillen, and L. J. Troncoso, "Evaluation and correction of infrared temperature readings inside a neonatal incubator with the MLX90614 sensor using a temperature controlled black-body emulating a neonatal head," in Proceedings of the 2021 IEEE 28th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Aug. 2021. doi: 10.1109/INTERCON52678.2021.9532618 .
- [26] F. Y. Chen et al., "Far-infrared therapy improves cardiovascular and infectious outcomes in peritoneal dialysis patients," Journal of the Formosan Medical Association, 2025, doi: 10.1016/j.jfma.2025.05.028.