

Rancang Bangun Indikator *Lifetime* Berbasis IoT Pada Lampu Terapi *Infrared*

Hanifan Hiroi A, Gema Romadhona, Abdul Latif, Kusnanto Mukti Wibowo, Royan

Teknologi Rekayasa Elektromedis, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. K.H. Ahmad Dahlan, Dukuwaluh, Kabupaten Banyumas, 53182

Email: gema.romadhona@ump.ac.id

Abstrak— Terapi *infrared* merupakan salah satu modalitas terapi fisik yang banyak digunakan dalam rehabilitasi medik dan fisioTerapi. Lampu terapi *infrared* memiliki masa pakai terbatas (*operational lifetime*) yang dapat menurun akibat degradasi komponen meskipun lampu masih tampak menyala. Permasalahan yang terjadi adalah tidak adanya sistem yang mampu menghitung akumulasi jam pemakaian lampu secara otomatis serta memberikan notifikasi dini sebelum lampu mencapai batas usia pakai. Penelitian ini bertujuan menguji sistem monitoring *lifetime* lampu terapi *infrared* berbasis *Internet of Things* (IoT). Metode yang digunakan adalah penelitian rekayasa dengan pendekatan *research and development* (R&D). Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mencatat waktu pemakaian lampu dan mengirimkan data ke platform IoT secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada skenario waktu 8 menit, 10 menit, dan 12,5 menit, sistem mampu memberikan notifikasi dengan selisih waktu rata-rata 0,01 menit (0,60 detik) dan *error* sebesar 0,001%, yang masih dalam rentang toleransi aplikasi medis non-kontak. Dengan demikian, sistem ini mampu melakukan monitoring *lifetime* lampu secara akurat dan mendukung pemantauan jarak jauh sebagai upaya pemeliharaan preventif alat terapi *infrared*.

Kata kunci: *Infrared*, Internet of Things, Lampu Terapi, *Lifetime*

Abstract— *Infrared therapy is widely used in medical rehabilitation and physioTherapy services. Infrared therapy lamps have a limited operational lifetime that decreases due to component degradation even though the lamp still appears functional. The main problem is the absence of a system capable of automatically calculating accumulated usage time and providing early warnings before the lamp reaches its service limit. This study aims to evaluate an Internet of Things (IoT)-based lifetime monitoring system for infrared therapy lamps. The research applies an engineering method using a research and development (R&D) approach. Testing was conducted to assess the system's ability to record operating time and transmit data to an IoT platform in real-time. Results show that at testing durations of 8, 10, and 12.5 minutes, the system generated notifications with an average deviation of 0.01 minutes (0.60 seconds) and an error of 0.001%, which is within acceptable tolerance for non-contact medical applications. Therefore, the proposed system is capable of accurately monitoring lamp lifetime and supporting remote preventive maintenance of infrared therapy equipment.*

Keywords: *Infrared*, Internet of Things, *Lifetime*, Therapy Lamp

I. PENDAHULUAN

Terapi *infrared* merupakan salah satu modalitas terapi fisik yang banyak digunakan dalam rehabilitasi medik dan fisioterapi. Terapi ini memanfaatkan radiasi *infrared* untuk menghasilkan efek pemanasan pada jaringan tubuh sehingga dapat meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi nyeri, dan membantu proses pemulihan jaringan [6]. Terapi *infrared* juga terbukti bermanfaat dalam menurunkan nyeri pada pasien *osteoarthritis* [7]. Malawat melaporkan bahwa pemberian sinar lampu *infrared* dapat mempercepat penyembuhan luka *ruptur perineum* pada ibu nifas *primipara* [8].

Sementara itu, Rahayu dkk. menunjukkan bahwa terapi *infrared* efektif membantu penyembuhan luka *perineum grade II* melalui peningkatan metabolisme jaringan, *vasodilatasi* pembuluh darah, serta suplai oksigen dan nutrisi ke jaringan yang mengalami kerusakan [9].

Lampu terapi *infrared* atau *infrared* memiliki masa pakai terbatas (*lifetime*). Penurunan performa lampu akibat penggunaan terus-menerus dapat mengurangi efektivitas terapi sehingga diperlukan pemantauan akumulasi waktu penggunaan untuk menentukan waktu penggantian yang tepat [4]. Sistem pencatatan *lifetime*

juga dapat membantu menjaga kualitas terapi yang diberikan [12].

Pada praktiknya, pemantauan penggunaan lampu terapi masih banyak dilakukan secara manual sehingga teknis kesulitan mengetahui total waktu penggunaan lampu secara akurat. Rozzaq menunjukkan bahwa lama penggunaan lampu dapat memengaruhi masa efektif sumber cahaya pada perangkat *phototherapy* [4]. Royan dkk. juga menjelaskan bahwa pemantauan jam penggunaan lampu diperlukan agar penggantian dapat dilakukan sebelum melewati batas penggunaan yang direkomendasikan [11].

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan perangkat medis dilakukan secara *real-time* dan jarak jauh melalui jaringan internet. Royan dkk. menerapkan konsep IoT pada perangkat *phototherapy* untuk memantau parameter penggunaan alat dan *lifetime* lampu [11]. Ramadhani dkk. mengembangkan perangkat *phototherapy* berbasis IoT yang mampu mengirimkan data operasional alat dan notifikasi ke aplikasi *Blynk* [10].

Penelitian Waoma dan Yulizham telah mengembangkan sistem pencatatan *lifetime* pada alat terapi *infrared* menggunakan mikrokontroler ATmega8535 [12]. Namun, sistem tersebut belum dilengkapi dengan fitur monitoring jarak jauh maupun notifikasi bertahap. Oleh karena itu, pada penelitian ini dikembangkan sistem monitoring *lifetime* lampu terapi *infrared* berbasis IoT dengan notifikasi bertahap dan pemutusan daya otomatis ketika *lifetime* lampu mencapai batas maksimum. Sistem ini diharapkan dapat membantu teknis dan tenaga kesehatan memantau kondisi lampu secara lebih akurat, terencana, dan *real-time*.

II. STUDI PUSTAKA

1. Lampu *Infrared*

Lampu *infrared* merupakan salah satu perangkat terapi fisik yang bekerja dengan memanfaatkan radiasi *infrared* untuk menghasilkan efek pemanasan pada jaringan tubuh. Terapi *infrared* banyak digunakan dalam layanan rehabilitasi medik dan *fisioTerapi* karena mampu membantu meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi nyeri otot, mempercepat relaksasi jaringan, serta membantu proses penyembuhan pada gangguan muskuloskeletal. Penggunaan terapi *infrared* secara terkontrol dapat meningkatkan kenyamanan pasien dan membantu efektivitas terapi fisik [8].

Lampu *infrared* memiliki batas usia penggunaan yang dipengaruhi oleh lamanya penggunaan selama proses terapi. Sebagai contoh, lampu *infrared* Philips HP3614 memiliki estimasi penggunaan sekitar 750 sesi terapi. Dengan asumsi satu sesi terapi berlangsung selama 10 menit, maka total waktu penggunaan lampu mencapai sekitar 7500 menit atau setara dengan 125 jam [13]. Informasi ini menunjukkan bahwa pemantauan *lifetime* lampu penting dilakukan untuk memastikan penggunaan lampu masih berada dalam batas operasional yang direkomendasikan oleh produsen. Penggunaan lampu yang melebihi batas *lifetime* dapat menyebabkan penurunan kualitas pancaran cahaya dan menurunkan efektivitas terapi. Penelitian yang lain menjelaskan bahwa lama penggunaan lampu terapi dapat memengaruhi masa efektif lampu sehingga diperlukan sistem pemantauan penggunaan secara berkala. Selain itu, pada penelitian Rozzaq di tahun 2018 menjelaskan bahwa lama penggunaan lampu terapi dapat memengaruhi masa efektif operasional lampu, sehingga pemantauan *lifetime*

menjadi penting untuk memastikan kualitas keluaran terapi tetap terjaga selama penggunaan [5].

Perkembangan teknologi terapi berbasis *infrared* juga terus meningkat pada perangkat medis modern. Ini menunjukkan bahwa penggunaan perangkat terapi cahaya secara berkelanjutan memerlukan pengendalian dan pemantauan yang baik untuk menjaga keamanan serta konsistensi penggunaan perangkat [3]. Oleh karena itu, pemantauan *lifetime* lampu *infrared* menjadi bagian penting dalam mendukung sistem preventive maintenance pada perangkat terapi medis.

2. Mikrokontroler ESP8266 sebagai Sistem Monitoring *Lifetime*

ESP8266 merupakan mikrokontroler yang memiliki fitur komunikasi *WiFi* terintegrasi sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT. Mikrokontroler ini mampu melakukan pemrosesan data, pengendalian perangkat elektronik, serta komunikasi data secara *real-time* melalui jaringan internet. Kemampuan tersebut menjadikan ESP8266 sesuai digunakan sebagai pusat kendali pada sistem monitoring *lifetime* lampu *infrared*.

Pada penelitian ini, ESP8266 digunakan untuk menghitung total akumulasi waktu penggunaan lampu *infrared*, mengendalikan relay pemutus arus listrik, serta mengirimkan data monitoring ke aplikasi *smartphone* melalui platform IoT. Sistem dirancang agar proses pencatatan *lifetime* berlangsung secara otomatis selama lampu dalam kondisi aktif. Ketika batas *lifetime* tertentu tercapai, mikrokontroler akan mengirimkan notifikasi peringatan dan melakukan pemutusan relay secara otomatis pada batas maksimum penggunaan lampu.

Penelitian yang lain menunjukkan bahwa penerapan IoT menggunakan mikrokontroler ESP8266 pada perangkat *phototherapy* mampu melakukan monitoring perangkat secara *real-time* melalui jaringan internet [12]. Selain itu, pada penelitian lain menjelaskan bahwa sistem terapi *infrared* berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan efisiensi pengendalian perangkat terapi secara otomatis dan lebih terukur [7].

3. Konsep IoT

IoT merupakan konsep komunikasi antarperangkat melalui jaringan internet yang memungkinkan proses monitoring, pengendalian, dan pertukaran data dilakukan secara *real-time*. Teknologi IoT memungkinkan perangkat elektronik mengirimkan data operasional secara otomatis sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari jarak jauh menggunakan *smartphone* atau komputer.

Penerapan IoT pada perangkat medis memberikan kemudahan dalam proses monitoring kondisi alat, pengiriman data penggunaan, serta pemberian notifikasi otomatis ketika terjadi kondisi tertentu pada sistem. Konsep ini mendukung penerapan preventive maintenance karena pengguna dapat mengetahui kondisi perangkat secara lebih cepat dan akurat tanpa harus melakukan pengecekan langsung pada alat.

Pada penelitian Ramadhani dan Susilo tahun 2022 menjelaskan bahwa integrasi teknologi IoT pada perangkat terapi mampu meningkatkan efektivitas monitoring dan pengendalian alat kesehatan secara jarak jauh [11]. Selain itu, penelitian Royan pada tahun 2020 menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT pada perangkat terapi memungkinkan proses pemantauan penggunaan perangkat dilakukan secara jarak jauh dan

real-time, sehingga dapat meningkatkan efektivitas proses monitoring dan pemeliharaan alat [12].

4. Platform *Blynk* untuk Monitoring dan Notifikasi Jarak Jauh

Blynk merupakan platform IoT berbasis cloud yang digunakan untuk melakukan monitoring dan pengendalian perangkat elektronik melalui *smartphone*. Platform ini memungkinkan mikrokontroler seperti ESP8266 mengirimkan data secara *real-time* melalui jaringan internet sehingga pengguna dapat memantau kondisi perangkat dari jarak jauh.

Pada penelitian ini, aplikasi *Blynk* digunakan sebagai media monitoring *lifetime* lampu *infrared* dan pengiriman notifikasi otomatis ketika batas penggunaan tertentu tercapai. Data *lifetime* lampu ditampilkan pada aplikasi *smartphone* sehingga teknisi maupun operator dapat mengetahui kondisi penggunaan lampu secara langsung. Selain itu, sistem juga mengirimkan notifikasi otomatis pada batas 80 jam, 100 jam, dan 125 jam penggunaan sebagai bentuk peringatan preventive maintenance.

Penggunaan platform *Blynk* pada sistem IoT dinilai efektif karena mendukung komunikasi data secara *real-time* dan memiliki antarmuka yang mudah digunakan. Penelitian terdahulu, menunjukkan bahwa integrasi *Blynk* dengan ESP8266 mampu mendukung monitoring perangkat phototherapy secara jarak jauh melalui *smartphone* dengan stabil dan responsif [12].

5. *EEPROM* sebagai Penyimpanan Data *Lifetime*

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) merupakan memori non-volatile yang digunakan untuk menyimpan data secara permanen pada mikrokontroler. Data yang disimpan pada *EEPROM* tidak akan hilang meskipun sistem dimatikan atau terjadi pemadaman listrik.

Pada penelitian ini, *EEPROM* digunakan untuk menyimpan data total akumulasi *lifetime* lampu *infrared* secara berkala. Penggunaan *EEPROM* memungkinkan sistem tetap menyimpan riwayat penggunaan lampu sehingga proses monitoring *lifetime* dapat berjalan secara kontinu tanpa kehilangan data ketika alat dimatikan.

Penyimpanan data *lifetime* menjadi bagian penting dalam sistem monitoring karena total waktu penggunaan lampu digunakan sebagai dasar penentuan batas notifikasi dan pemutusan relay otomatis. Dengan adanya penyimpanan data pada *EEPROM*, sistem monitoring *lifetime* dapat bekerja lebih stabil dan mendukung penerapan preventive maintenance pada perangkat terapi *infrared*.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*Engineering Research*) dengan pendekatan *Research and Development (R&D)* yang bertujuan untuk merancang, membangun, serta menguji sistem monitoring *lifetime* lampu pada alat terapi *infrared* berbasis IoT. Sistem yang dikembangkan difokuskan pada pencatatan waktu pemakaian lampu secara otomatis, penyimpanan data penggunaan, serta pemberian notifikasi ketika lampu mendekati atau mencapai batas usia operasionalnya. Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi dan integrasi perangkat keras serta perangkat lunak, perancangan alur kerja sistem, dan pengujian kinerja alat.

1. Implementasi dan Integrasi Sistem

Tahap implementasi diawali dengan perakitan perangkat keras (*hardware*). Komponen utama yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP8266 sebagai pusat kendali sistem, modul relay sebagai penghubung dan pemutus arus listrik menuju lampu *infrared*, *Liquid Crystal Display* (LCD) I2C sebagai media penampil informasi *lifetime*, push button sebagai tombol reset setelah penggantian lampu, serta adaptor catu daya sebagai penurun dan penstabil tegangan dari *Alternating Current* (AC) 220 Volt menjadi tegangan *Direct Current* (DC) yang sesuai untuk sistem kendali. Seluruh komponen dirangkai sesuai diagram rangkaian yang telah dirancang sebelumnya sehingga membentuk sistem monitoring yang terintegrasi, terlihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Proses Perakitan Sistem Monitoring *Lifetime* Lampu *Infrared*

Gambar 1 menunjukkan proses perakitan dan pemasangan seluruh komponen perangkat keras, termasuk pengkabelan antara ESP8266, relay, LCD I2C, push button, serta sambungan ke lampu *infrared*. Tahap selanjutnya adalah pemrograman mikrokontroler ESP8266 menggunakan bahasa pemrograman C melalui Arduino IDE. Program dirancang untuk melakukan inisialisasi sistem, membaca kondisi relay, menghitung waktu pemakaian lampu ketika aktif, serta mengakumulasi waktu tersebut sebagai nilai *lifetime*. Data *lifetime* disimpan ke dalam memori *EEPROM* agar tetap tersimpan meskipun sistem dimatikan atau terjadi pemadaman listrik, dan proses upload program Arduino IDE terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Proses Upload Program ke Mikrokontroler ESP8266

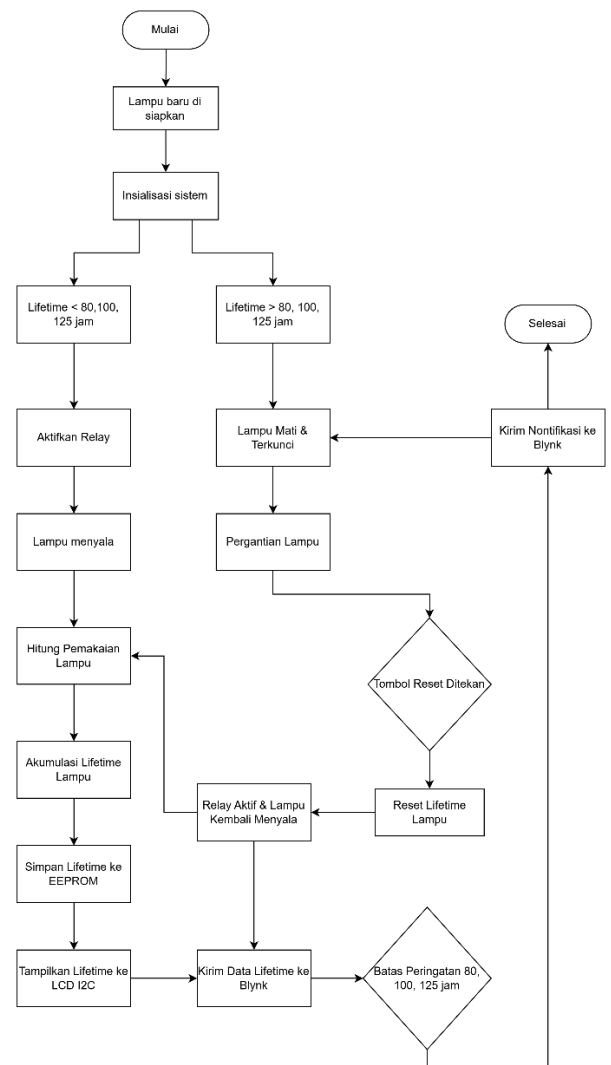
Gambar 2 memperlihatkan proses pengiriman program dari Arduino IDE ke mikrokontroler ESP8266 melalui koneksi USB sebelum sistem dijalankan. Setelah proses pemrograman selesai, sistem diintegrasikan dengan aplikasi *Blynk* sebagai media pemantauan jarak jauh. ESP8266 terhubung dengan jaringan *WiFi* untuk mengirimkan data jumlah jam penggunaan lampu dan kondisi lampu secara *real-time*. Selain itu, sistem ini dikembangkan untuk mengirimkan pemberitahuan otomatis saat *lifetime* lampu mencapai batas penggunaan tertentu, yakni 80 jam dan 100 jam sebagai tanda peringatan, serta melakukan pemutusan relay secara otomatis pada 125 jam penggunaan sebagai batas maksimum *lifetime* lampu *infrared*. Penentuan batas maksimum sebesar 125 jam pada penelitian ini mengacu pada spesifikasi penggunaan lampu *infrared* Philips HP3614 yang memiliki estimasi penggunaan sekitar 750 sesi terapi. Dengan asumsi satu sesi terapi berlangsung selama 10 menit, maka total waktu penggunaan lampu adalah 7500 menit atau setara dengan 125 jam. Oleh karena itu, *lifetime* maksimum pada penelitian ini ditetapkan sebesar 125 jam dan digunakan sebagai acuan dalam pemberian notifikasi serta pemutusan relay otomatis [13].

2. Alur Kerja Sistem

Berdasarkan *flowchart* sistem, proses dimulai pada kondisi *Start*. Setelah sistem diaktifkan, mikrokontroler melakukan inisialisasi seluruh komponen dan membaca nilai *lifetime* terakhir yang tersimpan pada *EEPROM*. Selanjutnya sistem membandingkan nilai *lifetime* dengan batas maksimum yang telah ditentukan. Apabila nilai *lifetime* masih berada di bawah 125 jam, maka relay diaktifkan sehingga lampu *infrared* dapat menyala. Ketika lampu dalam kondisi aktif, sistem mulai menghitung durasi pemakaian dan mengakumulasi nilainya sebagai total *lifetime*. Nilai *lifetime* yang diperoleh kemudian:

- Disimpan secara berkala ke *EEPROM*
- Ditampilkan pada LCD I2C sebagai informasi lokal
- Dikirimkan ke aplikasi *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh

Sistem juga melakukan pengecekan batas peringatan pada 80 jam dan 100 jam. Ketika nilai tersebut tercapai, notifikasi dikirimkan melalui aplikasi *Blynk* sebagai peringatan bahwa lampu mendekati batas usia pakainya. Apabila nilai *lifetime* mencapai atau melebihi 125 jam, sistem akan menonaktifkan relay sehingga lampu berada dalam kondisi mati dan terkunci. Pada kondisi ini sistem menunggu proses penggantian lampu dan penekanan tombol reset. Jika tombol reset ditekan, nilai *lifetime* dikembalikan ke nol dan sistem kembali ke kondisi awal. Rangkaian *flowchart* tersaji pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. *Flowchart* Sistem Monitoring *Lifetime* Lampu *Infrared*

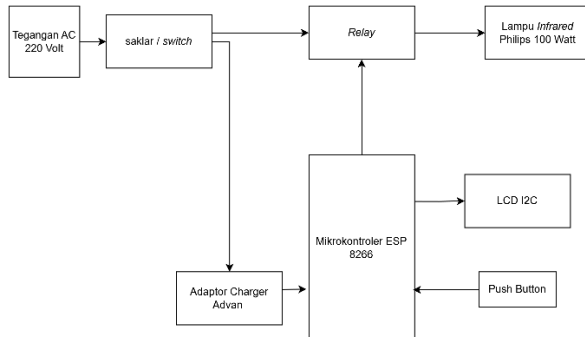
Gambar 3 menunjukkan alur logika sistem mulai dari proses inisialisasi, pengecekan nilai *lifetime*, pengaktifan relay, penghitungan waktu pemakaian, hingga proses penguncian dan reset sistem.

3. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem menggambarkan hubungan antara sumber daya listrik, rangkaian kendali, perangkat input-output, serta beban utama berupa lampu *infrared*. Sumber daya berasal dari tegangan AC 220 Volt yang melewati saklar utama sebagai pengendali manual sistem. Tegangan tersebut kemudian dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu rangkaian beban dan rangkaian kendali. Pada sisi beban, tegangan AC dialirkan menuju modul relay yang berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus listrik ke lampu *infrared*. Relay dikendalikan oleh ESP8266 melalui pin digital D4, sehingga lampu dapat dikontrol secara otomatis berdasarkan hasil perhitungan *lifetime*.

Pada sisi kendali, tegangan AC diturunkan oleh adaptor menjadi tegangan DC yang stabil untuk mensuplai ESP8266 dan perangkat pendukung lainnya.

ESP8266 bertindak sebagai pusat kendali sistem yang menjalankan logika perhitungan waktu, penyimpanan data, serta komunikasi IoT dengan aplikasi *Blynk*. LCD I2C terhubung langsung ke ESP8266 sebagai media tampilan lokal, sedangkan push button digunakan sebagai input manual untuk melakukan reset *lifetime* setelah lampu diganti, ditampilkan pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Monitoring *Lifetime* Lampu *Infrared* Berbasis IoT

Gambar 4 memperlihatkan hubungan antarblok sistem yang terdiri dari sumber daya, ESP8266, relay, lampu *infrared*, LCD I2C, dan push button dalam satu sistem terintegrasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring *lifetime* lampu *infrared* berbasis IoT yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP8266 berhasil bekerja sesuai dengan fungsi yang telah direncanakan. Sistem mampu melakukan pencatatan waktu penggunaan lampu secara otomatis, menampilkan informasi *lifetime* pada LCD I2C, menyimpan data penggunaan pada *EEPROM*, serta mengirimkan notifikasi ke aplikasi *Blynk* secara *real-time*.

Sistem berhasil memberikan notifikasi bertahap pada batas penggunaan 80 jam dan 100 jam sebagai peringatan awal sebelum lampu mencapai batas maksimum penggunaan. Ketika nilai *lifetime* mencapai 125 jam atau setara dengan 12,5 menit hasil simulasi percepatan waktu, sistem mampu memutus relay secara otomatis sehingga lampu *infrared* berada dalam kondisi mati sesuai logika pengendalian yang dirancang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan sebagai bentuk preventive maintenance untuk membantu pemantauan usia penggunaan lampu secara otomatis. Konsep pencatatan *lifetime* ini sejalan dengan penelitian Waoma dan Yulizham yang menerapkan sistem pencatatan waktu penggunaan pada alat terapi *infrared* [12]. Sementara itu, pemanfaatan teknologi IoT untuk monitoring perangkat sejalan dengan penelitian Royan dkk. yang menerapkan IoT pada perangkat *phototherapy* [11].

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghitung akumulasi waktu penggunaan lampu secara konsisten pada seluruh variasi pengujian. Rata-rata selisih waktu notifikasi sebesar 0,01 menit atau sekitar 0,60 detik dengan nilai error 0,001%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring *lifetime* berbasis

ESP8266 memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam melakukan pencatatan waktu penggunaan lampu *infrared*.

Pengujian pada jarak 30 cm, 1 meter, 3 meter, dan 5 meter dilakukan untuk memvalidasi fungsi monitoring dan pengiriman notifikasi IoT pada beberapa posisi pengguna. Pada beberapa pengujian, waktu respon notifikasi pada jarak 5 meter sedikit lebih cepat dibandingkan jarak lainnya. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kestabilan koneksi *WiFi*, latensi jaringan internet, dan proses sinkronisasi data pada server *Blynk*. Variasi kecil pada waktu respon merupakan karakteristik umum sistem komunikasi berbasis IoT dan tidak memengaruhi proses perhitungan *lifetime* lampu karena seluruh akumulasi waktu penggunaan dihitung secara internal oleh mikrokontroler. Perbedaan jeda tampilan waktu pada aplikasi *Blynk* tidak memengaruhi proses perhitungan *lifetime* lampu, karena perhitungan dilakukan secara internal oleh mikrokontroler berbasis waktu sistem.

Penelitian ini menggunakan metode simulasi percepatan waktu (*time scaling*) dengan perbandingan 1 menit simulasi setara dengan 10 jam penggunaan nyata. Metode ini mengacu pada penelitian Royan yang menerapkan percepatan waktu 1:100 pada sistem hour meter perangkat *phototherapy* berbasis IoT untuk mempercepat proses pengujian *lifetime* [11]. Pendekatan ini digunakan untuk mempercepat proses validasi sistem monitoring tanpa harus menunggu 125 jam penggunaan aktual. Pengujian difokuskan pada validasi fungsi sistem yang meliputi pencatatan *lifetime*, pengiriman notifikasi, penyimpanan data, dan pemutusan relay otomatis ketika batas *lifetime* tercapai. Oleh karena itu, penelitian ini tidak digunakan untuk memprediksi umur fisik lampu *infrared*, melainkan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring *lifetime* berbasis IoT yang dikembangkan.

Tabel 1. Perbandingan Waktu Uji dengan real-time

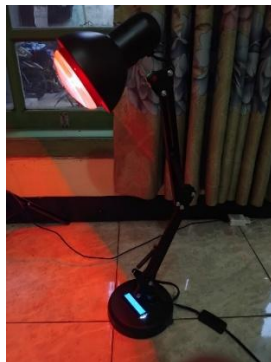
Waktu Uji	Waktu Nyata
1 menit	10 jam
8 menit	80 jam
10 menit	100 jam
12,5 menit (12 menit 30 detik)	125 jam

Pengujian pada mikrokontroler ESP8266 bertujuan untuk memastikan bahwa sistem monitoring *lifetime* lampu *infrared* mampu bekerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat, khususnya dalam proses pencatatan waktu penggunaan lampu, pengiriman notifikasi, serta pemutusan relay otomatis ketika batas *lifetime* tercapai. Pengujian dilakukan menggunakan metode simulasi percepatan waktu dengan batas *lifetime* maksimum sebesar 12,5 menit atau setara dengan 125 jam penggunaan nyata. Setiap pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengulangan untuk mengevaluasi konsistensi kinerja sistem dalam menghitung akumulasi waktu penggunaan lampu *infrared* secara otomatis.

Data yang diperoleh berupa selisih waktu antara hasil perhitungan *lifetime* oleh sistem dan waktu pengamatan aktual. Selisih tersebut digunakan sebagai parameter untuk menilai tingkat ketelitian dan kestabilan sistem monitoring *lifetime* berbasis ESP8266 dalam melakukan pencatatan waktu penggunaan lampu secara *real-time*. Pendekatan monitoring *lifetime* menggunakan mikrokontroler juga dijelaskan oleh Waoma dan

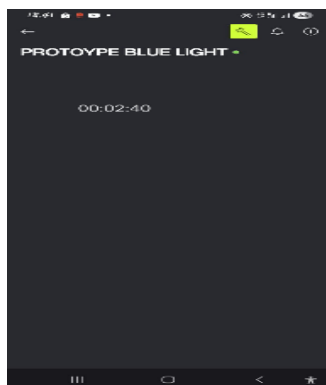
Yulizham bahwa sistem pencatatan jam operasi lampu dapat membantu proses preventive maintenance pada perangkat terapi *infrared* [11].

Selain itu, pengujian dilakukan pada variasi jarak 30 cm, 1 meter, 3 meter, dan 5 meter untuk mengevaluasi konsistensi pengiriman data dan notifikasi dari sistem IoT pada beberapa posisi pengguna terhadap alat selama proses pengujian. Variasi jarak pada penelitian ini tidak digunakan sebagai parameter utama analisis *lifetime* lampu *infrared* karena proses pencatatan waktu dilakukan secara internal oleh mikrokontroler ESP8266 dan tidak dipengaruhi oleh posisi pengguna. ESP8266 terhubung ke aplikasi *Blynk* melalui koneksi hotspot *smartphone* yang digunakan sebagai sumber akses internet, sehingga pengujian jarak difokuskan untuk mengevaluasi kestabilan komunikasi data selama proses monitoring berlangsung. Oleh karena itu, perbedaan respon notifikasi yang muncul lebih dipengaruhi oleh kualitas koneksi jaringan, latensi komunikasi data, dan kestabilan hotspot dibandingkan oleh pengaruh jarak terhadap *lifetime* lampu *infrared* itu sendiri.



Gambar 5. Prototipe Sistem Monitoring Lifetime Lampu Infrared Berbasis IoT

Gambar 7 menunjukkan *prototype* sistem monitoring *lifetime* lampu *infrared* berbasis IoT yang telah direalisasikan. Sistem terdiri atas lampu *infrared* sebagai objek monitoring, mikrokontroler ESP8266 sebagai pengendali utama, LCD I2C sebagai media penampil nilai *lifetime*, relay sebagai pemutus arus otomatis, serta *EEPROM* sebagai media penyimpanan data penggunaan lampu. Sistem dirancang untuk menghitung akumulasi waktu penggunaan lampu secara otomatis dan menyimpan data penggunaan secara berkelanjutan.



Gambar 6. Tampilan Monitoring Lifetime Lampu Infrared pada Aplikasi Blynk

Gambar 6 menunjukkan tampilan monitoring pada aplikasi *Blynk* yang digunakan sebagai media pemantauan jarak jauh. Informasi *lifetime* lampu dapat dipantau secara *real-time* melalui *smartphone* selama ESP8266 terhubung dengan jaringan internet. Penerapan konsep monitoring berbasis IoT seperti ini juga telah diterapkan pada perangkat *phototherapy* untuk meningkatkan efektivitas pemantauan operasional alat [12].



Gambar 7. Proses Pengujian Sistem Monitoring dan Penerimaan Notifikasi Menggunakan Smartphone

Gambar 7 menunjukkan proses pengujian sistem monitoring menggunakan *smartphone* sebagai penerima notifikasi. Pada penelitian ini, *smartphone* tidak hanya digunakan sebagai media monitoring, tetapi juga berfungsi sebagai sumber koneksi hotspot internet bagi ESP8266. Oleh karena itu, variasi jarak 30 cm, 1 meter, 3 meter, dan 5 meter digunakan untuk mengevaluasi kestabilan komunikasi data antara ESP8266 dan *smartphone* selama proses monitoring berlangsung. Variasi jarak tersebut tidak digunakan untuk menganalisis *lifetime* lampu *infrared*, melainkan untuk memvalidasi keberhasilan pengiriman data dan notifikasi berbasis IoT pada beberapa kondisi penggunaan.

Penerapan komunikasi berbasis IoT pada perangkat terapi telah dikembangkan pada penelitian Royan dkk. yang menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler dengan jaringan internet memungkinkan proses monitoring perangkat dilakukan secara *real-time* dan jarak jauh [11]. Selain itu, Arianto dan Widodo menjelaskan bahwa sistem terapi *infrared* berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan efektivitas pengendalian perangkat terapi secara otomatis dan terukur [6].

Tabel 2 hasil dari pengambilan data dalam berbagai jarak

Jarak	Waktu simulasi (menit)	Lifetime aktual (jam)	Selisih waktu (menit)	Error	Kondisi lampu
30 cm	8	80	0,01	0,001%	Menyala
	100	100	0,01	0,001%	Menyala
	12,5	125	0,01	0,001%	mati
1 meter	8	80	0,01	0,001%	menyala
	10	100	0,01	0,001%	menyala
	12,5	125	0,01	0,001%	Mat
3 meter	8	80	0,01	0,001%	Menyala
	10	100	0,01	0,001%	Menyala
	12,5	125	0,01	0,001%	Mat
5 meter	8	80	0,01	0,001%	Menyala
	10	100	0,01	0,001%	Menyala
	12,5	125	0,01	0,001%	mati

Keterangan:

Warna hijau berarti lampu sedang menyala

Warna merah berarti lampu sudah mati

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sistem monitoring *lifetime* lampu *infrared* berbasis IoT mampu bekerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sistem berhasil menghitung akumulasi waktu penggunaan lampu secara otomatis serta mengirimkan notifikasi pada batas *lifetime* 80 jam, 100 jam, dan 125 jam hasil simulasi percepatan waktu. Rata-rata selisih waktu notifikasi yang diperoleh sebesar 0,01 menit atau sekitar 0,60 detik dengan nilai error sebesar 0,001%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam melakukan pencatatan waktu penggunaan lampu secara real-time.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Waoma dan Yulizham yang mengembangkan sistem pencatatan *lifetime* pada alat terapi *infrared* untuk membantu pemantauan penggunaan lampu secara lebih terukur [12]. Selain itu, Royan dkk. menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT pada perangkat *phototherapy* mampu mendukung proses monitoring penggunaan alat secara real-time melalui jaringan internet [11]. Arianto dan Widodo juga menjelaskan bahwa sistem terapi *infrared* berbasis mikrokontroler dapat meningkatkan efisiensi pengendalian perangkat terapi secara otomatis [6].

Pada pengujian batas *lifetime* maksimum sebesar 125 jam, sistem berhasil melakukan pemutusan relay secara otomatis sehingga lampu *infrared* berada dalam kondisi mati ketika batas *lifetime* tercapai. Mekanisme ini dirancang untuk mencegah penggunaan lampu melebihi batas operasional yang direkomendasikan. Rozzaq menjelaskan bahwa pengawasan terhadap masa efektif penggunaan lampu terapi penting dilakukan untuk menjaga kualitas terapi dan mencegah penurunan performa lampu akibat penggunaan yang berlebihan [4].

Setelah relay diputus, sistem mengirimkan notifikasi ke aplikasi *Blynk* pada *smartphone* operator. Adanya jeda waktu penerimaan notifikasi dipengaruhi oleh kestabilan koneksi *WiFi*, latensi jaringan internet, dan proses sinkronisasi server aplikasi. Kondisi tersebut masih tergolong normal pada sistem monitoring berbasis IoT karena proses pengiriman data sangat dipengaruhi oleh kualitas komunikasi jaringan secara *real-time*.

Pengujian dilakukan pada jarak 30 cm, 1 meter, 3 meter, dan 5 meter untuk memvalidasi bahwa sistem monitoring dan pengiriman notifikasi tetap dapat bekerja dengan baik pada beberapa posisi pengguna. Perbedaan kecil pada waktu respon notifikasi dipengaruhi oleh kondisi jaringan selama proses komunikasi data, seperti kestabilan hotspot, kualitas sinyal internet, dan latensi aplikasi *Blynk*. Perbedaan tersebut tidak memengaruhi proses perhitungan *lifetime* karena akumulasi waktu penggunaan lampu dihitung secara internal oleh mikrokontroler ESP8266 berdasarkan waktu sistem.

Penelitian ini menggunakan metode simulasi *time scaling* dengan perbandingan 1 menit simulasi setara dengan 10 jam penggunaan nyata. Metode ini digunakan untuk mempercepat validasi fungsi sistem yang meliputi pencatatan *lifetime*, pengiriman notifikasi, penyimpanan

data, dan pemutusan relay otomatis ketika batas *lifetime* tercapai. Oleh karena itu, penelitian ini tidak digunakan untuk memprediksi umur fisik lampu *infrared*, melainkan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring *lifetime* berbasis IoT yang dikembangkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pencatatan jam operasi lampu, pengiriman notifikasi bertahap, serta pemutusan otomatis ketika batas *lifetime* tercapai secara konsisten. Penyimpanan data pada *EEPROM* memungkinkan data *lifetime* tetap tersimpan meskipun terjadi pemadaman daya sehingga kontinuitas pencatatan waktu penggunaan lampu tetap terjaga. Temuan ini sejalan dengan penelitian Waoma dan Yulizham yang menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler sebagai pencatat *lifetime* lampu dapat membantu proses pemeliharaan perangkat terapi menjadi lebih terukur dan efisien [12].

Penerapan monitoring *lifetime* pada perangkat terapi *infrared* dinilai penting karena kualitas terapi sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional lampu yang digunakan. Gawara dkk. menjelaskan bahwa terapi *infrared* efektif digunakan untuk membantu mengurangi nyeri pada pasien *osteoarthritis* [7]. Malawat juga menunjukkan bahwa terapi *infrared* dapat membantu mempercepat proses penyembuhan jaringan [8].

Secara keseluruhan, integrasi ESP8266, *EEPROM*, relay, LCD I2C, dan aplikasi *Blynk* mampu membentuk sistem monitoring *lifetime* lampu *infrared* yang bekerja secara otomatis dan *real-time*. Perkembangan teknologi terapi berbasis cahaya saat ini juga mengarah pada perangkat yang lebih cerdas dan terintegrasi dengan sistem monitoring digital [1]. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini berpotensi mendukung pengembangan perangkat terapi modern yang lebih aman, efisien, dan berbasis IoT.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring *lifetime* lampu terapi *infrared* berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan aplikasi *Blynk*. Sistem mampu menghitung akumulasi waktu pemakaian lampu secara otomatis, menyimpan data *lifetime* pada *EEPROM*, serta mengirimkan notifikasi bertahap pada batas penggunaan 80 jam, 100 jam, serta pemutusan otomatis pada 125 jam. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata selisih waktu notifikasi sebesar 0,01 menit (0,60 detik) dengan error sebesar 0,001%, sehingga sistem mampu bekerja secara akurat dan stabil dalam melakukan monitoring *lifetime* lampu terapi *infrared* secara *real-time*. Selain itu, mekanisme pemutusan relay otomatis pada batas *lifetime* maksimum juga berhasil bekerja sesuai perancangan sebagai bentuk preventive maintenance perangkat terapi *infrared*.

Referensi

- [1] M. Li, C. Wang, Q. Yu, H. Chen, Y. Ma, L. Wei, M. X. Wu, M. Yao, and M. Lu, "A Wearable and Stretchable Dual-Wavelength LED Device for Home Care of Chronic Infected Wounds," *Nature Communications*, vol. 15, Art. no. 9380, 2024.
- [2] A. Nowacka, M. Sniegocki, W. Smuczyński, and E. Ziółkowska, "Therapeutic Potential of *Infrared*

- and Related Light Therapies in Metabolic Diseases,” *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 26, no. 11, p. 5134, 2025.
- [3] S. H. Park, S. O. Park, and J.-A. Jung, “Clinical Study to Evaluate the Efficacy and Safety of Home-Used LED and IRED Mask for Crow’s Feet: A Multi-Center, Randomized, Double-Blind, Sham-Controlled Study,” *Medicine*, vol. 104, no. 7, e41596, 2025.
- [4] M. F. Rozzaq, “Studi Pengaruh Lama Penggunaan Terhadap Masa Efektif (*Lifetime*) Lampu Blue Light Pada Fototerapi Bilirubin,” Skripsi S.Si., Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, 2018.
- [5] A. F. Ibadillah, R. Alfita, R. V. Nahari, K. A. Wibisono, and H. W. Aprilyanto, “Rancang Bangun Alat *Infrared* Therapy Berbasis STM32 Untuk Deteksi Nyeri Otot,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 35–40, Jan. 2022,
- [6] E. Arianto and B. S. Widodo, “Rancang Bangun Sistem Terapi *Infrared* Otomatis Untuk Terapi Far-*Infrared* Pada Spinal Cord,” *Jurnal J-Innovation*, vol. 11, no. 1, pp. 12–16, Jun. 2022.
- [7] A. Gawara, K. Hutajulu, and Agrina, “Penerapan Evidence Based Practice Terapi *Infrared* Terhadap Penurunan Nyeri Pada Lansia Dengan Osteoarthritis,” *JUKEJ: Jurnal Kesehatan Jompa*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, Dec. 2023..
- [8] R. Malawat, “Pengaruh Sinar Lampu Infra Merah Terhadap Penyembuhan Luka Ruptur Perineum Pada Ibu Nifas Primipara di Rumah Sakit Umum Al-Fatah Ambon,” *JKT*, vol. 8, no. 1, pp. 31–38, 2017.
- [9] Y. S. Rahayu, I. Kartika, S. Henyati A., and O. S. Iriani, “Efektivitas Terapi *infrared* Terhadap Penyembuhan Luka Perineum Grade II di TPMB Bidan A Kabupaten Cianjur Tahun 2025,” 2025.
- [10] A. S. Ramadhani, H. Nugroho, and A. R. Annisa, “Rancang Bangun Sistem Alat Fototerapi Untuk Bayi Hiperbilirubinemia Berbasis Internet Of Things (IoT),” *KILAT*, vol. 11, no. 2, pp. 167–181, Oct. 2022.
- [11] Royan, K. M. Wibowo, G. Romadhona, and A. Widianoro, “Penerapan Internet of Things (IoT) pada Perangkat Phototherapy,” *Cyclotron*, vol. 3, no. 2, pp. 37–40, Jul. 2020..
- [12] A. Waoma and Yulizham, “Rancang Bangun Sistem Life Time Proses Penyinaran Pada Alat Terapi Infra Merah,” *Jurnal Mutiara Elektromedik*, vol. 3, no. 2, pp. 50–57, 2019.
- [13] Philips, “*Infrared Lamp HP3614/01 Product Specifications*,” Philips Indonesia. [Online]. Available: https://www.philips.co.id/c-p/HP3614_01/infrared-lamp.