

Implementasi Sistem Pengendali Lampu Berbasis Mikrokontroler dan Teknologi *Infrared*

I Komang Agus Ady Aryanto¹, I Gusti Ayu Nandia Lestari²

¹Rajamangala University of Technology Thanyaburi, ²Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali
e-mail: ¹i_komang@mail.rmutt.ac.th, ²nandia@stikom-bali.ac.id

Diajukan: 21 Juni 2023; Direvisi: 19 Juli 2023; Diterima: 20 Juli 2023

Abstrak

Smart home adalah sistem yang mengatur berbagai objek di dalam rumah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengaturan lampu di dalam rumah menggunakan teknologi sistem tertanam, yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol penerangan dengan mudah menggunakan komponen yang tersedia di pasaran dengan harga terjangkau. Sistem ini dirancang khusus untuk mengatur lampu di dalam rumah, memanfaatkan berbagai komponen elektronik seperti mikrokontroler, relay, *infrared*, LED, push button, dan power supply. Mikrokontroler berfungsi sebagai inti pemrosesan untuk mengontrol on/off lampu melalui relay. Modul *infrared* berperan sebagai media komunikasi antara perangkat dengan remote *infrared* pengguna. Proses kerja sistem terdiri dari dua tahap yaitu, pengaturan identitas relay dan pengontrolan lampu yang terhubung dengan relay. Pada tahap pengaturan identitas relay, pengguna memberikan kode unik ke setiap relay sesuai dengan tombol remote yang digunakan. Sedangkan pada tahap pengontrolan, pengguna memberikan perintah ke relay sesuai dengan alamatnya melalui tombol remote yang telah didaftarkan sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah yang diberikan. Misalnya, tombol remote 1 menyala menyebabkan relay 1 menyala, tombol 2 menyebabkan lampu 2 menyala, tombol 3 menyebabkan lampu 3 menyala, dan tombol 4 menyebabkan lampu 4 menyala. Hal ini mengindikasikan bahwa perangkat sudah berfungsi sesuai dengan target yang diharapkan.

Kata kunci: Lampu, Rumah, Mikrokontroler, Relay, *Inframerah*.

Abstract

Smart home is a system controlling various household objects. This research aims to develop a lighting control system within the house using embedded system technology, enabling users to easily manage lighting with affordable market-available components. Specifically designed for indoor lighting, it utilizes electronic components like microcontrollers, relays, *infrared*, LEDs, push buttons, and power supplies. The microcontroller acts as the core processing unit to control the on/off function of lights through relays. The *infrared* module facilitates communication between the device and the user's *infrared* remote. System operation involves two stages, relay identity configuration and light control via the relay. Users assign unique codes to relays based on the remote button used, and send commands to the relay according to their addresses via pre-registered remote buttons. Test results indicate proper device functionality according to commands given. For instance, pressing remote button 1 activates relay 1, button 2 activates lamp 2, button 3 activates lamp 3, and button 4 activates lamp 4, confirming intended device operation.

Keywords: Lamp, House, Microcontroller, Relay, *Infrared*.

1. Pendahuluan

Sistem *smart home* merupakan suatu sistem di mana pemilik rumah dapat melakukan kontrol dan monitoring terhadap semua objek yang ada di dalamnya dengan membuat perangkat yang ada menjadi terkomputerisasi dengan terintegrasi ke *smartphone* atau gadget lainnya melalui *remote* lokal maupun jarak jauh dengan jaringan internet [1]. Penerapan sistem *smart home* tidak hanya memberikan kenyamanan bagi penghuni rumah tetapi juga berpotensi untuk meningkatkan efisiensi energi dan keamanan [2]. Salah satu aspek penting dari sistem *smart home* adalah kemampuannya untuk mengontrol pencahayaan di dalam rumah [3], yang merupakan fokus utama dalam penelitian ini. Sehingga dalam penelitian ini memiliki cakupan untuk manajemen lampu dengan menerapkan *low level control*.

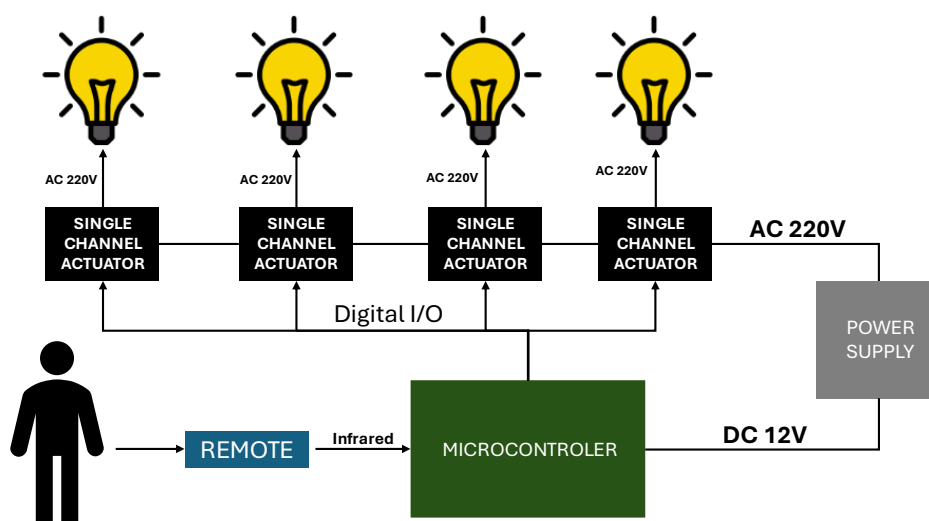
Pada penelitian ini, digunakan perangkat keras seperti mikrokontroler, modul inframerah, dan aktuator berupa relay. Mikrokontroler berperan sebagai modul utama tempat program ditanamkan dan sebagai pengontrol segala aktivitas yang melibatkan masalah mekanik pada sistem [4]. Dengan demikian, melalui modul mikrokontroler, semua perangkat di dalam rumah maupun perangkat di luar rumah dapat dikontrol. Selanjutnya, perancangan komponen elektronik relay terhubung dengan mikrokontroler melalui *input* digital. Relay berfungsi sebagai sakelar yang mengontrol lampu untuk menyala atau mati [5]. Selain itu, modul inframerah juga terhubung ke mikrokontroler melalui *input* digital. Inframerah pada mikrokontroler berfungsi untuk menerima *input*-an (RX) dari pengguna melalui *remote infrared* (TX) [6]. *Remote IR* yang digunakan adalah tipe yang umum tersedia di pasaran dan menggunakan inframerah sebagai media komunikasinya. Proses kerja inframerah melibatkan receiver (RX) dan transmitter (TX) untuk mentransfer sinyal dari *remote* ke mikrokontroler [7].

Berikutnya, berdasarkan perancangan perangkat keras tersebut, dilakukan perancangan sistem untuk mengatur proses kerja dari alat. Proses perancangan didasarkan pada fungsinya untuk mengontrol lampu menggunakan *remote infrared* sebagai media komunikasinya. Setiap tombol pada *remote* dapat digunakan sebagai sinyal perintah untuk mengontrol relay, dengan masing-masing tombol memiliki kode data unik yang berbeda. Kode unik ini akan diterima oleh mikrokontroler, kemudian dilakukan proses untuk mengecek perintah yang diberikan oleh pengguna dan memprosesnya untuk mendapatkan *output* yang digunakan untuk mengontrol relay. Dalam penelitian ini, digunakan satu tombol *remote* atau satu kode unik dari *remote* untuk mengontrol satu relay, hal ini dilakukan untuk memudahkan proses pengaturan implementasi sistem nantinya. Selanjutnya, proses pengujian sistem menggunakan metode blackbox untuk mengetahui apakah setiap perangkat dapat bekerja sesuai dengan yang diskenariokan [8].

Selain itu, kelebihan perangkat yang dirancang juga memberikan kemudahan bagi pengguna dalam pemasangan dan juga pemakaiannya. Dikarenakan bentuk dari desain perangkat keras yang user-friendly sehingga memastikan bahwa pengguna dapat dengan mudah memasang sistem ini tanpa memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam. Selain itu, ukuran perangkat keras yang relatif kecil memungkinkan instalasi yang fleksibel di berbagai lingkungan rumah. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan sistem *smarthome* dengan pendekatan yang sederhana dan mudah diimplementasikan. Melalui penerapan modul-modul elektronik yang mudah ditemukan di pasaran dengan harga yang terjangkau. Sehingga akan membantu mereka yang tidak memiliki latar belakang teknis yang mendalam untuk dapat membuat sistem *smarthome* berdasarkan pada penelitian yang dilakukan ini.

2. Metode Penelitian

2.1. Gambaran Umum Sistem



Gambar 1. Gambaran umum sistem.

Pada Gambar 1, merupakan gambaran umum sistem yang dilakukan dalam penelitian ini. Pada tahap awal, dilakukan konfigurasi terhadap status identitas atau alamat dari setiap perangkat relay. Jika status relay belum diberikan identitas, maka dilakukan konfigurasi terlebih dahulu. Proses konfigurasi

dilakukan dengan mengubah atau mengganti fungsi dari mikrokontroler ke proses konfigurasi relay. Caranya adalah dengan menekan tombol pushbutton yang ada di mikrokontroler. Apabila sudah muncul kedipan dari LED pada mikrokontroler, itu menandakan bahwa saat itu mikrokontroler berada pada fungsi untuk konfigurasi alamat relay. Kemudian, pengguna menggunakan *remote infrared* untuk melakukan konfigurasi ke mikrokontroler. Proses yang dilakukan pengguna melalui *remote* tersebut adalah memilih tombol on/off pada *remote* sebagai penanda bahwa konfigurasi alamat akan dimulai. Perlu diperhatikan bahwa dalam penelitian ini kami membatasi penggunaan hanya empat relay, yang berarti hanya digunakan untuk mengontrol empat lampu. Oleh karena itu, pengguna hanya perlu memasukkan kode *remote* sebanyak empat kali. Dalam hal ini, kami mengatur relay nomor 1 dengan kode *remote* 1, relay nomor 2 dengan kode *remote* 2, relay nomor 3 dengan kode *remote* 3, dan relay nomor 4 dengan kode *remote* 4. Jika semua sudah diatur, maka pengguna kembali menekan tombol on/off yang menandakan bahwa pengaturan sudah selesai. Bersamaan dengan itu, mikrokontroler secara otomatis kembali ke fungsi untuk pengontrolan relay.

Selanjutnya, proses pengontrolan relay dapat dilakukan menggunakan *remote infrared* oleh pengguna, dengan menekan tombol 1 sampai 4 pada *remote*. Untuk memahami proses kerja sistem, bisa diperhatikan pada Gambar 4. Ditambahkan juga penggunaan power supply 12V untuk menghidupkan mikrokontroler dan tegangan AC 220V yang merupakan tegangan listrik standar untuk menghidupkan lampu yang terhubung ke relay. Namun, dalam penelitian ini kami tidak langsung menggunakan lampu dengan tegangan 220V, kami menggantinya dengan lampu LED yang biasa digunakan dalam praktikum di laboratorium [9]. Penggunaan LED sama saja artinya dengan menggunakan lampu 220V, yang berarti tidak mempengaruhi dari konsep penelitian yang dilakukan karena konsep kerja dari perangkat relay tersebut sama sebagai sakelar.

2.2. Pengembangan Perangkat Keras

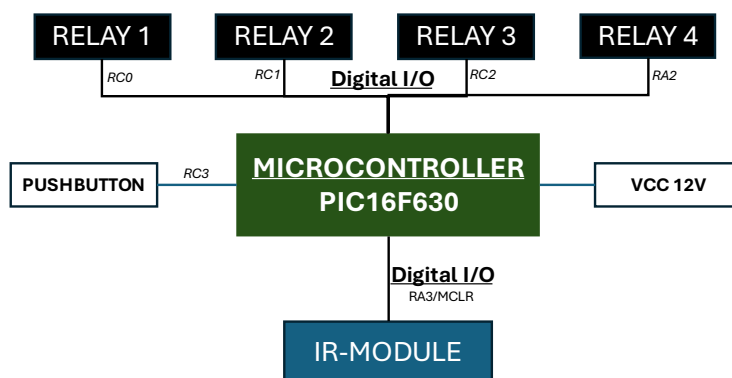
Bagian ini menjelaskan tentang desain perangkat keras yang mendukung penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2. Perangkat keras yang digunakan adalah board mikrokontroler yang tersedia secara umum di pasaran, yang berarti penelitian ini tidak menggunakan chip mikrokontroler yang dirakit secara khusus oleh peneliti. Untuk daftar perangkat yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 1. Modul board mikrokontroler yang kami gunakan sudah dapat dianggap sebagai sistem minimum untuk mikrokontroler, sehingga hal ini memudahkan peneliti untuk langsung menggunakannya. Dalam modul mikrokontroler ini menggunakan jenis mikrokontroler PIC16F630 dengan arsitektur RISC 8-bit untuk eksekusi instruksi dan kecepatan clock hingga 20 MHz. Memori programnya memiliki kapasitas sebesar 1.024 instruksi dan RAM 64 byte yang memadai untuk menyimpan program dan data sementara. Selain itu, mikrokontroler ini dilengkapi dengan antarmuka I/O dan fitur-fitur seperti modul PWM dan USART [10][11].

Modul mikrokontroler ini digunakan untuk mengontrol perangkat relay yang terhubung dengan lampu. Pada Gambar 3 memperlihatkan rangkaian lampu yang terhubung ke relay. Relay merupakan sakelar elektronik yang dioperasikan oleh arus listrik dan menggunakan gaya elektromagnetik untuk mengontrol kontakannya. Komponen relay terdiri dari coil (gulungan kawat) yang, ketika dialiri arus listrik, menghasilkan gaya elektromagnetik untuk menarik armature dan menutup kontak. Relay memiliki dua jenis kontak utama yaitu, Normally Open (NO) yang terbuka dalam kondisi normal dan Normally Close (NC) yang tertutup dalam kondisi normal, tergantung pada arus yang mengalir pada coil [12].

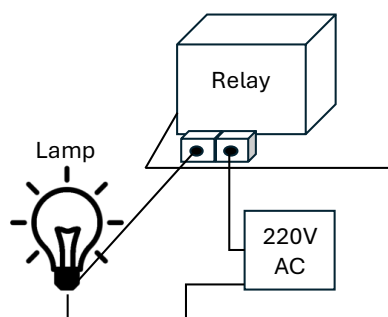
Selanjutnya, untuk proses komunikasi antara *remote* dan mikrokontroler, digunakan modul *infrared* yang terhubung melalui pin digital pada mikrokontroler. Modul ini berfungsi sebagai penerima dan pengirim sinyal inframerah antara *remote* control dan mikrokontroler [13]. Saat tombol ditekan pada *remote*, sinyal inframerah dikirimkan ke modul untuk diterjemahkan menjadi data digital. Mikrokontroler kemudian mengolah data tersebut sesuai dengan program yang telah diprogram sebelumnya, mengontrol fungsi yang sesuai seperti mengaktifkan atau menonaktifkan relay (lampu).

Tabel 1. Daftar perangkat keras.

Modul	Jumlah	Deskripsi
Board Mikrokontroler	1	Modul mikrokontroler
<i>Remote</i> Inframerah	1	Modul pemancar IR
Inframerah penerima	1	Modul penerimaan IR
LED	4	Lampu LED 5V
Relay	4	Sakelar elektromagnetik
Power Supply	1	12V 5A



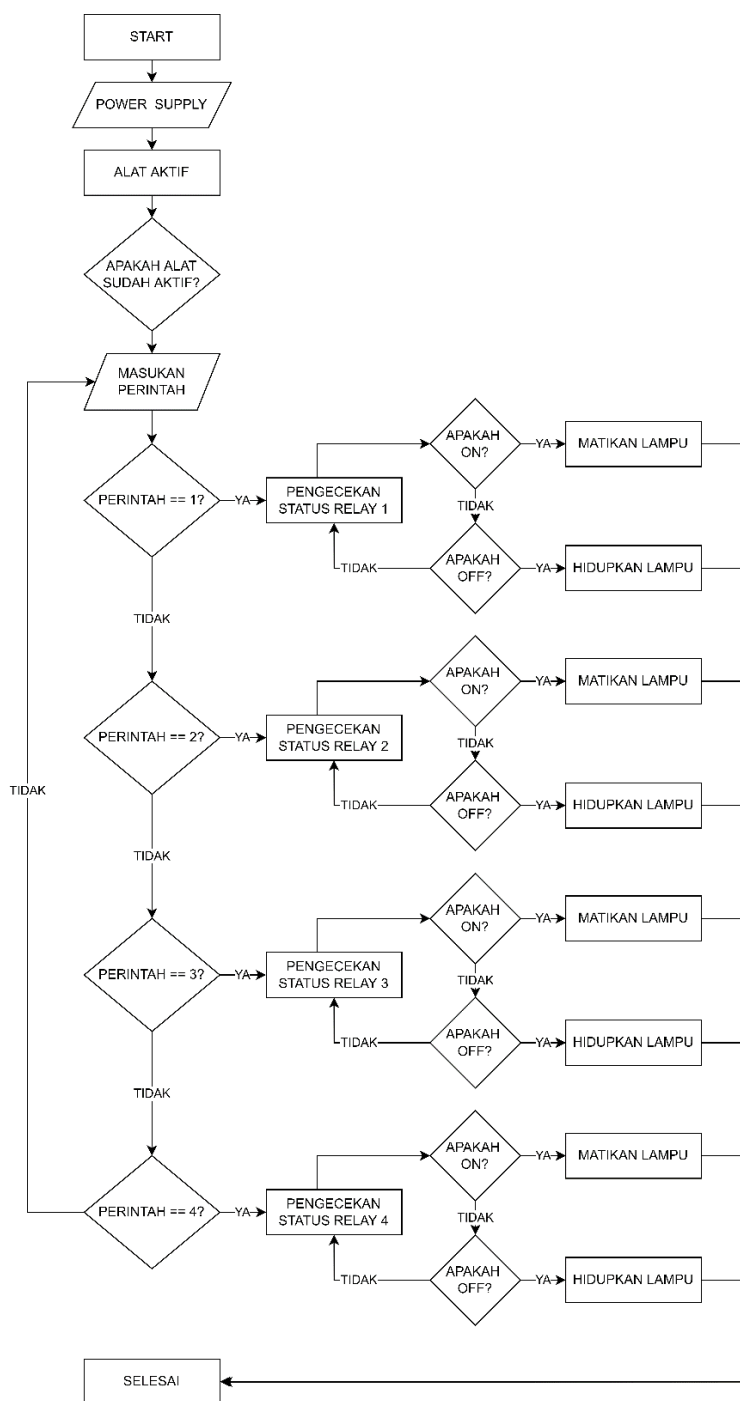
Gambar 2. Desain kerangka keras.



Gambar 3. Desain perangkat keras.

2.3. Perancangan Sistem

Proses alur kerja sistem untuk mengontrol lampu dalam penelitian ini terlihat dalam Gambar 3. Perancangan sistem ini tergolong sederhana dalam mengontrol lampu dengan menggunakan mikrokontroler. Tahap awal dimulai dengan memastikan ketersediaan power supply pada perangkat mikrokontroler (12V) maupun lampu (220V). Jika perangkat telah mendapatkan tegangan listrik, maka sistem dan alat akan aktif. Setelah aktif, pengguna dapat memberikan perintah langsung melalui *remote* (IR) sesuai dengan alamat atau identitas pada masing-masing lampu yang telah dikonfigurasi. Dikarenakan penelitian ini membatasi penggunaan hanya pada empat relay maka, pengguna hanya dapat memberikan perintah hingga empat lampu saja. Proses kerja perintah yang dimasukkan oleh pengguna akan dicek oleh sistem seperti berikut. Misalnya, jika pengguna memasukkan perintah "1", sistem akan mengecek status relay nomor 1 apakah dalam keadaan "ON" atau "OFF". Jika dalam status "ON", sistem akan mengubahnya menjadi "OFF", yang mengindikasikan bahwa lampu nomor 1 akan dimatikan, begitu pula sebaliknya. Proses ini berlaku juga untuk perintah selanjutnya misalnya, jika pengguna memasukkan perintah "2", sistem akan memproses relay nomor 2, dan seterusnya. Namun, jika pengguna memasukkan perintah yang tidak sesuai dengan yang telah dikonfigurasi pada mikrokontroler, sistem akan memberikan status kepada pengguna melalui LED yang berkedip, menandakan bahwa perintah yang dimasukkan salah atau belum terdaftar pada mikrokontroler. Untuk penjelasan lebih lengkap mengenai alur kerja sistem, dapat dilihat pada Gambar 4.

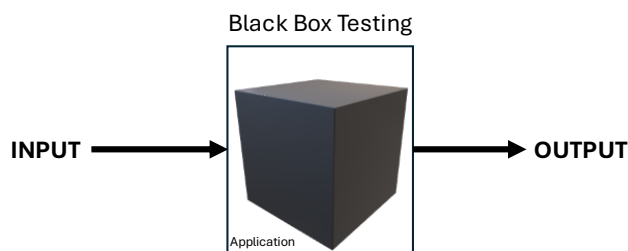


Gambar 4. Alur kerja sistem.

2.4. Desain Pengujian Sistem

Desain pengujian pada alat dilakukan dengan metode black box, yang berarti desain pengujian ini hanya menilai fungsionalitas dari sudut pandang pengguna. Secara keseluruhan, desain pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 5 [14][15]. Di mana dapat dijelaskan jika proses pengujian dilakukan dengan memberikan masukan instruksi kepada sistem, kemudian sistem memproses instruksi tersebut dan menghasilkan *output*. Jika hasil yang dihasilkan oleh sistem sesuai dengan target yang telah diskenarioikan, maka sistem dianggap berfungsi dengan baik. Sebaliknya, jika sistem menghasilkan target yang tidak sesuai, maka sistem masih memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, beberapa skenario pengujian dilakukan pada alat, dimulai dari proses pengaturan identitas

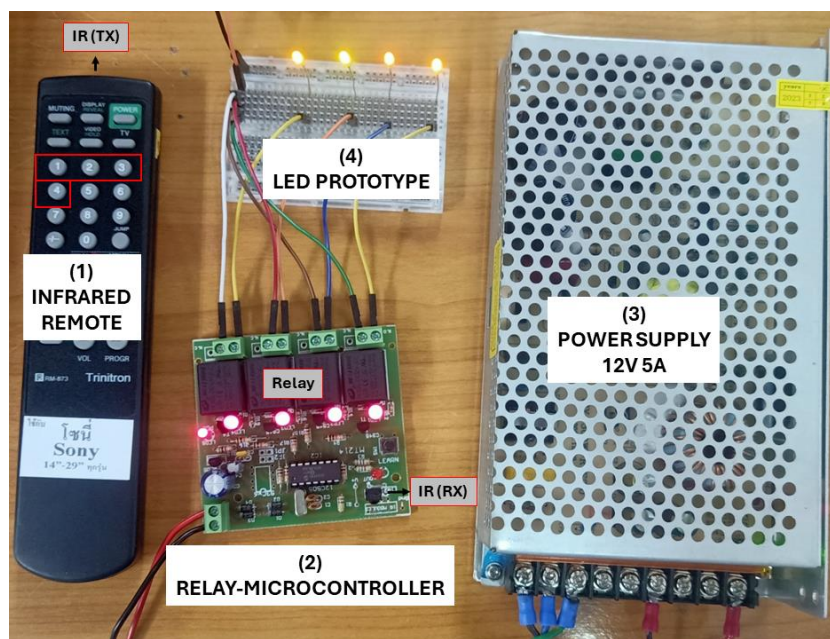
pada setiap relay hingga memberikan perintah untuk menghidupkan atau mematikan lampu sesuai dengan instruksi atau perintah yang diberikan oleh pengguna.



Gambar 5. Desain pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini, akan dibahas mengenai implementasi sistem dan alat berdasarkan proses perancangan yang telah didesain pada bagian sebelumnya. Perancangan alat ini menerapkan penggunaan beberapa perangkat relay yang dikontrol oleh mikrokontroler, dimana relay ini berfungsi sebagai sakelar digital pada lampu di ruangan. Proses pengontrolan dilakukan melalui *remote infrared* yang umumnya tersedia di pasaran, sehingga memudahkan pengguna dalam mendapatkannya dan mengimplementasikan alat ini. Proses implementasi dan pengujian alat dilakukan berdasarkan konfigurasi sistem yang telah diatur sebelumnya pada mikrokontroler. Hasil implementasi modul board mikrokontroler ini secara rinci diperlihatkan dalam Gambar 6, sesuai dengan desain perangkat keras sebelumnya. Komponen implementasi termasuk *remote infrared* (1), modul mikrokontroler (2), power supply (3), dan LED prototype (4). Pada *remote*, hanya tombol 1 sampai 4 digunakan untuk mengirim perintah melalui *infrared* (IR (TX)) ke board mikrokontroler sebagai receiver (IR (RX)). Selanjutnya, perintah diproses dan menghasilkan luaran untuk mengatur kondisi relay. Relay terhubung dengan lampu sebagai sakelar untuk mengontrol lampu on/off. Namun, untuk proses uji coba dalam penelitian ini, peneliti mengganti lampu (220V) dengan LED demi kemudahan dalam implementasi. Penggunaan LED prototype ini sebanding dengan penggunaan lampu sebenarnya, karena relay berfungsi sebagai sakelar digital untuk mengendalikan arus listrik (on/off) tanpa mengurangi nilai dari proses implementasi perangkat keras.



Gambar 6. Implementasi sistem dan alat.

Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap fungsi-fungsi yang terdapat pada alat. Proses pengujian menggunakan metode black box, di mana pengujian dilakukan berdasarkan spesifikasi fungsi dari alat tanpa memperhatikan proses implementasi secara rinci. Pengujian alat ini didasarkan pada sistem kerja alat tersebut, sehingga skenario pengujian mengacu pada proses tersebut. Terdapat sepuluh skenario pengujian yang dilakukan untuk memastikan kinerja alat berjalan dengan baik. Rincian skenario pengujian dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, menunjukkan bahwa fungsionalitas dapat berjalan sesuai dengan target yang diinginkan, yang berarti alat telah berhasil diimplementasikan.

Tabel 2. Pengujian fungsi alat.

No	Skenario pengujian	Target yang diharapkan	Hasil
1	Power supply dihubungkan ke alat dan dilanjutkan dengan menekan tombol on/off pada alat.	Led pada alat berkedip kemudian menyala secara langsung.	Sesuai Target
2	Melakukan proses registrasi untuk memberikan alamat pada masing-masing relay.	Led berkedip sekali untuk pindah ke mode registrasi. Jika alamat yang dimasukkan dari <i>remote</i> diterima oleh relay, maka led akan berkedip kemudian dilanjutkan dengan kedipan pada alamat yang dimasukkan.	Sesuai Target
3	Menekan tombol 1 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi OFF.	Relay nomor 1 menyala (ON) dan lampu juga ikut menyala.	Sesuai Target
4	Menekan tombol 1 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi ON.	Relay nomor 1 mati (OFF) dan lampu juga ikut mati.	Sesuai Target
5	Menekan tombol 2 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi OFF.	Relay nomor 2 menyala (ON) dan lampu juga ikut menyala.	Sesuai Target
6	Menekan tombol 2 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi ON.	Relay nomor 2 mati (OFF) dan lampu juga ikut mati.	Sesuai Target
7	Menekan tombol 3 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi OFF.	Relay nomor 3 menyala (ON) dan lampu juga ikut menyala.	Sesuai Target
8	Menekan tombol 3 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi ON.	Relay nomor 3 mati (OFF) dan lampu juga ikut mati.	Sesuai Target
9	Menekan tombol 4 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi OFF.	Relay nomor 4 menyala (ON) dan lampu juga ikut menyala.	Sesuai Target
10	Menekan tombol 4 pada <i>remote</i> , saat relay dalam kondisi ON.	Relay nomor 4 mati (OFF) dan lampu juga ikut mati.	Sesuai Target

4. Kesimpulan

Penelitian ini merupakan pengembangan sistem untuk mengontrol lampu dengan menerapkan teknologi sistem tertanam. Perancangan perangkat pengontrol ini melibatkan beberapa komponen perangkat keras, termasuk chip mikrokontroler, modul komunikasi *infrared*, relay, LED, dan power supply. Komponen-komponen ini disusun menjadi satu kesatuan untuk membentuk sistem minimum pengendalian lampu. Komponen relay terhubung ke mikrokontroler melalui pin digital, sementara modul *infrared*, sebagai media komunikasi, juga terhubung ke pin digital. LED digunakan sebagai antarmuka untuk menampilkan status mikrokontroler, sedangkan push button digunakan sebagai media aksi untuk mengubah status pada mikrokontroler, baik untuk pendaftaran alamat relay maupun pengontrol relay. Setiap relay diberi alamat unik sebagai identitasnya. Melalui *remote infrared*, pengguna dapat memberikan perintah untuk menghidupkan atau mematikan lampu berdasarkan alamat relay masing-masing. Hasil pengujian

dengan metode black box menunjukkan bahwa alat berfungsi sesuai yang diharapkan dalam mengontrol lampu menggunakan *infrared*.

Untuk penelitian selanjutnya, terutama pada rumah dengan ukuran besar atau banyak perangkat yang perlu dikontrol maka, disarankan agar sistem diintegrasikan dengan modul relay tambahan. Selain itu, penggunaan protokol komunikasi yang lebih kompleks seperti Message Queueing Telemetry Transport (MQTT) dan Zigbee serta integrasi dengan teknologi berbasis cloud. Tambahan juga pengembangan sistem dengan arsitektur modular juga dapat dipertimbangkan untuk memudahkan penambahan perangkat sesuai kebutuhan.

Daftar Pustaka

- [1] P. N. Crisnapati, I. N. K. Wardana, and I. K. A. A. Aryanto, "Rudas: Energy and sensor devices management system in home automation," in *2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP)*, 2016, pp. 184–187. doi: 10.1109/TENCONSpring.2016.7519401.
- [2] I. W. A. Suranata, I. N. K. Wardana, N. Jawas, and I. K. A. A. Aryanto, "Feature engineering and long short-term memory for energy use of appliances prediction," *Telkonnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 19, no. 3, pp. 920–930, 2021, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v19i3.17882.
- [3] J. P. Bayu, K. A. A. Aryanto, G. Suweken, and K. Y. E. Aryanto, "IoT-Based portable modules for energy consumption monitoring in smart home system," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1810, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1810/1/012008.
- [4] Dawoud Shenouda Dawoud and R. Peplow, *Digital System Design - Use of Microcontroller*, vol. 4, no. 1. Denmark: River Publishers, 2017.
- [5] A. Khan, A. Al-Zahrani, S. Al-Harbi, S. Al-Nashri, and I. A. Khan, "Design of an IoT smart home system," in *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/LT.2018.8368484.
- [6] H. Singh, V. Pallagani, V. Khandelwal, and U. Venkanna, "IoT based smart home automation system using sensor node," in *2018 4th International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/RAIT.2018.8389037.
- [7] I. G. A. P. R. Agung, S. Huda, and I. W. A. Wijaya, "Speed control for DC motor with pulse width modulation (PWM) method using *infrared remote control* based on ATmega16 microcontroller," in *2014 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)*, 2014, pp. 108–112. doi: 10.1109/ICSGTEIS.2014.7038740.
- [8] C. Henard, M. Papadakis, M. Harman, Y. Jia, and Y. Le Traon, "Comparing white-box and black-box test prioritization," *Proc. - Int. Conf. Softw. Eng.*, vol. 14-22-May-, pp. 523–534, 2016, doi: 10.1145/2884781.2884791.
- [9] L. A. Szolga and M. Boca, "LED Display for Timetables Controlled by IoT," in *2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICECCE52056.2021.9514219.
- [10] K. A. Kajar and M. T. Ali, "Design & Implementation of PWM Based 3-Phase Switch-Mode Power Supply (SMPS)," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 34, no. 3, pp. 114–120, 2016, doi: 10.14445/22315381/ijett-v34p223.
- [11] L. L. Lobato-Rincón, M. del C. Cabanillas-Campos, C. Bonnin-Arias, E. Chamorro-Gutiérrez, A. Murciano-Cespedosa, and C. S. R. Roda, "Pupillary behavior in relation to wavelength and age," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 8, no. 1 APR, pp. 1–8, 2014, doi: 10.3389/fnhum.2014.00221.
- [12] M. Saleh and M. Haryanti, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay Jurnal Teknologi Elektro , Universitas Mercu Buana Muhamad Saleh Program Studi Teknik Elektro Universitas Suryadarma , Jakarta Program Studi Teknik Elektro ISSN : 2086 - 9479," *Tek. Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 181–186, 2017, [Online]. Available: <http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jte/article/download/2182/1430>
- [13] T. Adiono *et al.*, "Prototyping design of IR *remote controller* for smart home applications," in *TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, 2017, pp. 1304–1308. doi: 10.1109/TENCON.2017.8228059.
- [14] A. Verma, A. Khatana, and S. Chaudhary, "A Comparative Study of Black Box Testing and White Box Testing," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 12, pp. 301–304, 2017, doi: 10.26438/ijcse/v5i12.301304.
- [15] T. Sheakh, T. Hussain, and S. Singh, "A Comparative Study of Software Testing Techniques Viz. White Box Testing Black Box Testing and Grey Box Testing," *Int. J. Allied Pract. Res. Rev.*, vol. II, no. May, pp. 1–08, 2015, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/276028491>