

Perancangan Sistem *Smart Garage* Berbasis *IoT* dengan Catu Daya Panel Surya dan Estimasi Efisiensi Energi

Febriyansyah Ramadhan¹, Ita Rusmala Dewi²

¹Program Studi Sistem Komputer, Universitas Indonesia Membangun

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Gunadarma

Jl. Soekarno-Hatta No.448, Batununggal, Kec. Bandung Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat 40266

JRJM+974, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

febriansyah.ramadhan@inaba.ac.id

Abstrak

Penggunaan sistem otomasi pada rumah tangga semakin berkembang seiring kemajuan teknologi *Internet of Things (IoT)*, salah satunya adalah sistem *smart garage* yang mampu mengendalikan pintu dan pencahayaan secara otomatis. Namun, sistem seperti ini umumnya bergantung pada suplai listrik konvensional, yang dapat menjadi kendala dalam hal efisiensi energi dan keberlanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali pintu dan lampu garasi otomatis berbasis *IoT* yang didukung oleh sumber energi panel surya. Pendekatan perancangan sistem meliputi pemilihan komponen utama seperti mikrokontroler *NodeMCU ESP8266*, sensor ultrasonik, dan panel surya 10 watt, serta estimasi konsumsi daya dan ketersediaan energi harian berdasarkan data sekunder. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem ini mengonsumsi daya sebesar 11,86 Wh per hari, sedangkan energi efektif dari panel surya mencapai 35 Wh per hari. Dengan demikian, sistem dinilai layak untuk dioperasikan secara mandiri tanpa ketergantungan pada listrik PLN. Penelitian ini diharapkan menjadi landasan awal dalam pengembangan sistem *smart garage* berbasis energi terbarukan di lingkungan perumahan.

Kata Kunci — *IoT*, efisiensi energi, panel surya, perancangan sistem, *smart garage*.

Abstract

The use of automation systems in households is increasingly advancing along with the development of *Internet of Things (IoT)* technology, one of which is the *smart garage* system capable of automatically controlling doors and lighting. However, such systems generally rely on conventional electricity supply, which can be a limitation in terms of energy efficiency and sustainability. This study aims to design an automatic garage door and lighting control system based on *IoT*, supported by solar panel energy. The system design approach includes the selection of key components such as the *NodeMCU ESP8266* microcontroller, ultrasonic sensor, and 10-watt solar panel, as well as the estimation of power consumption and daily energy availability based on secondary data. The analysis results show that the system consumes approximately 11.86 Wh per day, while the effective energy produced by the solar panel reaches 35 Wh per day. Thus, the system is considered feasible to operate independently without

relying on the conventional power grid. This research is expected to serve as an initial foundation for the development of *smart garage* systems based on renewable energy in residential environments.

Keywords — energy efficiency, *IoT*, *smart garage*, solar panel, system design.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* telah mendorong inovasi di berbagai bidang, termasuk dalam sistem otomasi rumah tangga. *IoT* memungkinkan berbagai perangkat rumah seperti lampu, pintu, dan peralatan elektronik lainnya saling terhubung dan dikendalikan secara otomatis maupun jarak jauh melalui jaringan internet, sehingga menciptakan lingkungan rumah yang cerdas, aman, dan efisien [1]. Salah satu implementasi yang berkembang pesat adalah sistem *smart garage*, yaitu sistem otomatisasi untuk membuka dan menutup pintu garasi serta menyalakan lampu secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan [2].

Meskipun sistem *smart garage* memberikan kemudahan dan efisiensi dalam operasional harian, sebagian besar masih bergantung pada pasokan listrik konvensional. Ketergantungan ini menimbulkan tantangan, terutama dari sisi efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Di negara tropis seperti Indonesia yang memiliki rata-rata penyinaran matahari efektif sekitar 4–5 jam per hari, pemanfaatan energi terbarukan seperti panel surya menjadi alternatif yang sangat potensial [3]. Integrasi sistem *smart garage* dengan sumber energi terbarukan dapat meningkatkan kemandirian sistem dan mendukung konsep *green technology*.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem kendali pintu garasi berbasis *ESP8266* dan sensor ultrasonik mampu bekerja secara andal dalam lingkungan lokal maupun melalui jaringan internet [2]. Namun, studi tersebut belum



mempertimbangkan aspek efisiensi energi dan belum mengintegrasikan sumber daya terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan desain sistem yang tidak hanya berfungsi secara otomatis, tetapi juga hemat energi dan mandiri dari segi pasokan daya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *smart garage* berbasis *IoT* yang menggunakan panel surya sebagai sumber catu daya utama. Dengan pendekatan perancangan sistem, dilakukan estimasi konsumsi energi komponen serta ketersediaan energi harian dari panel surya. Studi ini menyajikan pendekatan konseptual berbasis analisis teknis yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem sejenis yang ramah lingkungan dan layak secara operasional. Studi sebelumnya oleh Rahmat [4] juga menyoroti kebutuhan sistem otomatisasi pintu garasi di lingkungan perumahan, seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap teknologi pintar yang hemat energi.

Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem dapat mendukung otomatisasi rumah tangga yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Struktur makalah ini disusun sebagai berikut: bagian II membahas kajian pustaka yang relevan, bagian III menjelaskan metodologi perancangan sistem, asumsi teknis, menyajikan hasil estimasi efisiensi energi dan pembahasannya, serta bagian IV menyampaikan kesimpulan dari penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam bidang otomasi rumah telah menunjukkan tren peningkatan dalam dekade terakhir. Sistem *IoT* memungkinkan perangkat-perangkat rumah tangga saling terhubung dan dikendalikan secara otomatis serta jarak jauh melalui jaringan internet [1]. Salah satu penerapannya adalah pada sistem garasi otomatis yang dapat dikontrol menggunakan *smartphone* atau perintah otomatis berbasis sensor [5].

Penelitian oleh Rizki dan Sutanto [2] menunjukkan bahwa sistem kendali pintu garasi berbasis *IoT* menggunakan *ESP8266* dapat berfungsi secara andal dengan integrasi sensor jarak dan *relay* sebagai aktuator. Sensor ultrasonik *HC-SR04* secara luas digunakan dalam aplikasi otomatisasi seperti sistem parkir, dengan kemampuan mendeteksi jarak kendaraan secara presisi dan responsif terhadap lingkungan sekitar [6]. Studi lain oleh Prakoso dan Andriani [7] menunjukkan implementasi *NodeMCU ESP8266* dalam sistem *monitoring* suhu berbasis web, yang mendemonstrasikan stabilitas koneksi dan efisiensi komunikasi data berbasis *IoT*. Namun, studi tersebut masih sepenuhnya bergantung pada catu daya dari listrik konvensional.

Dalam konteks keberlanjutan energi, pemanfaatan panel

surya sebagai sumber listrik alternatif menjadi sangat penting. Menurut Wahyudi dan Rachman [3], panel surya dengan daya 10 watt mampu menghasilkan energi sekitar 50 Wh setiap harinya di daerah tropis seperti Indonesia, dengan intensitas penyinaran matahari sekitar 5 jam efektif setiap hari. Hal ini memungkinkan sistem elektronik berdaya rendah seperti *ESP8266*, sensor *PIR*, dan lampu *LED* untuk dapat beroperasi mandiri.

Penggunaan energi surya dalam sistem *IoT* juga dibahas dalam penelitian oleh Sharma et al. [8], yang mengembangkan sistem *monitoring* kelembaban lahan berbasis *NodeMCU* dan panel surya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi hingga 24 jam dengan manajemen baterai yang baik [8]. Temuan ini menjadi dasar bagi pengembangan sistem *smart garage off-grid* dengan pendekatan serupa.

Untuk menghitung konsumsi daya sistem, diperlukan analisis *datasheet* tiap komponen, seperti *ESP8266* yang mengkonsumsi daya [9] rata-rata sekitar 70–90 mA saat aktif (sekitar 0.3 W dengan tegangan 3.3 V) [9]. Dengan mengetahui total konsumsi dari semua komponen, estimasi efisiensi sistem dapat dilakukan secara logis dan presisi.

Oleh karena itu, studi ini difokuskan pada perancangan sistem *smart garage* berbasis *IoT* dengan suplai energi dari panel surya dan dilakukan estimasi efisiensi energi harian, sebagai dasar kelayakan operasional sistem tanpa jaringan PLN.

III. METODOLOGI, HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis desain sistem (*system design approach*) tanpa implementasi fisik langsung. Fokus perancangan ditujukan pada sistem *smart garage* berbasis *IoT* yang mampu mengendalikan pintu dan pencahayaan secara otomatis serta mendapatkan catu daya dari panel surya. Perancangan dilakukan dalam beberapa tahapan utama: analisis kebutuhan sistem, desain arsitektur sistem, estimasi konsumsi dan ketersediaan energi, serta evaluasi kelayakan fungsional.

A. Analisis Kebutuhan Sistem

Sistem *smart garage* ini dirancang agar mampu menjalankan lima fungsi utama [2], yaitu mendeteksi keberadaan kendaraan, mengendalikan pintu garasi secara otomatis, mengatur pencahayaan berbasis kondisi lingkungan, mendukung kendali jarak jauh melalui internet, serta memperoleh suplai daya dari sumber energi terbarukan. Rincian kebutuhan tersebut dirangkum dalam Tabel 1:

TABEL I
KEBUTUHAN FUNGSIONAL SISTEM SMART GARAGE

No	Kebutuhan Sistem	Deskripsi Teknis
1	Deteksi kendaraan	Menggunakan sensor ultrasonik <i>HC-SR04</i>
2	Kendali pintu garasi otomatis	Menggunakan motor servo sebagai aktuator
3	Otomatisasi pencahayaan	Menggunakan <i>LED</i> yang menyala saat gelap/terdeteksi kendaraan
4	Kendali jarak jauh via internet	Menggunakan platform <i>Blynk</i> atau protokol <i>MQTT</i>
5	Catu daya dari energi surya	Menggunakan panel surya dan baterai 12V

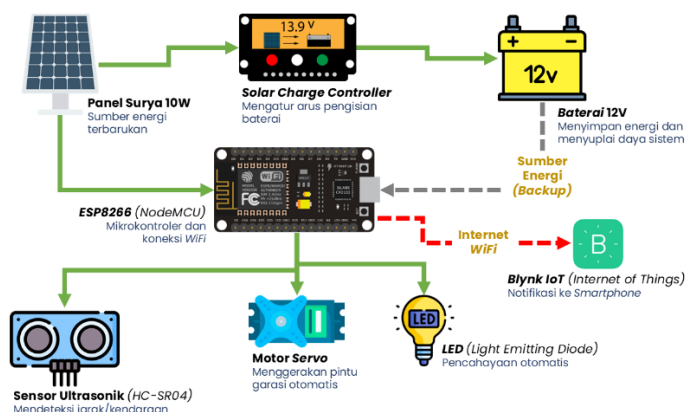
B. Desain Blok Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk menjalankan seluruh fungsi sistem secara otomatis. Perangkat inti yang digunakan meliputi mikrokontroler, sensor, aktuator, sistem pencahayaan, dan sistem suplai daya berbasis energi surya. Tabel II berikut menyajikan komponen utama yang digunakan:

TABEL II
KOMPONEN UTAMA SISTEM SMART GARAGE

No	Komponan	Fungsi Utama
1	ESP8266 (<i>NodeMCU</i>)	Mikrokontroler dan koneksi WiFi
2	Sensor Ultrasonik <i>HC-SR04</i>	Mendeteksi jarak/kendaraan
3	Motor <i>Servo</i>	Menggerakkan pintu garasi otomatis
4	<i>LED</i> / Lampu DC 5V	Pencahayaan otomatis
5	Panel Surya 10W	Sumber energi terbarukan
6	Solar Charge Controller	Mengatur arus pengisian baterai
7	Baterai 12V	Menyimpan energi dan menyuplai daya sistem
8	<i>Blynk IoT</i>	Mengirimkan notifikasi ke <i>smartphone</i>

Penggunaan baterai 12V telah terbukti efektif untuk mendukung sistem *IoT* berdaya rendah, terutama dalam memastikan kestabilan suplai daya untuk perangkat seperti *ESP8266* dan motor *servo* [10]. Protokol *MQTT* merupakan salah satu protokol komunikasi ringan yang sangat cocok diterapkan pada sistem berbasis *IoT* seperti *smart garage*, karena konsumsi *bandwidth* dan energinya yang rendah [11].



Gambar 1. Design Blok Sistem

Gambar 1 menunjukkan desain blok sistem *Smart Garage* berbasis *IoT* yang dirancang untuk mendeteksi kendaraan, mengendalikan pintu garasi secara otomatis, serta mengatur pencahayaan dan konektivitas melalui jaringan internet. *NodeMCU ESP8266* bertindak sebagai pusat pengendali utama, menerima data dari sensor ultrasonik *HC-SR04*, dan mengaktifkan aktuator seperti motor *servo* dan lampu *LED*. Sistem ini juga terintegrasi dengan sumber daya dari panel surya 10 watt, yang disalurkan melalui *solar charge controller* ke baterai 12V sebagai penyimpanan energi. Seluruh komponen ini membentuk satu kesatuan yang mendukung operasi otomatis dan hemat energi.

Sistem dirancang tidak hanya untuk mengatur fungsi otomatisasi secara lokal, tetapi juga mempertimbangkan aspek keamanan dan kemudahan pengguna melalui fitur kendali jarak jauh. Kehadiran fitur notifikasi dan kontrol berbasis *smartphone* memungkinkan pengguna untuk mengakses informasi status sistem dan melakukan tindakan kendali dari mana saja selama terhubung dengan internet. Integrasi antarmuka *android* untuk pengendalian sistem juga telah diterapkan dalam sistem *smart home* lainnya, dan terbukti memberikan kemudahan dalam pengoperasian jarak jauh [12]. Selain itu, penggunaan *relay* dan aktuator berbasis mikrokontroler memungkinkan sistem bekerja secara *real-time* dan responsif terhadap kondisi lingkungan yang berubah. Integrasi sistem ini memberikan efisiensi operasional serta fleksibilitas tinggi dalam penggunaannya di berbagai skenario rumah tangga.

C. Estimasi Konsumsi Daya

Estimasi konsumsi energi dilakukan dengan menghitung rata-rata konsumsi daya masing-masing komponen utama berdasarkan *datasheet*. Tabel III menyajikan asumsi konsumsi daya:

TABEL III
ESTIMASI KONSUMSI DAYA KOMPONEN SISTEM

Komponen	Arus (mA)	Tegangan (V)	Daya (W)	Durasi Aktif (jam/hari)	Energi (Wh/ha)
ESP8266 (aktif)	80	3.3	0.264	6	1.584
Sensor HC-SR04	15	5	0.075	2	0.15
Motor Servo (max)	500	5	2.5	0.05	0.125
LED Lampu (5W)	-	5	5	2	10
Total	-	-	-	-	11.859

Penting juga untuk mempertimbangkan bahwa konsumsi energi dari komponen sistem dapat bervariasi tergantung pada pola penggunaan. Misalnya, durasi aktif motor *servo* sangat tergantung pada frekuensi buka-tutup pintu garasi dalam sehari. Oleh karena itu, perancangan sistem perlu memperhitungkan skenario terburuk (*worst-case scenario*) untuk memastikan ketersediaan energi tetap mencukupi bahkan dalam beban puncak. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan *profiling* penggunaan energi aktual selama beberapa hari operasional dan mengintegrasikan data tersebut ke dalam sistem *monitoring* konsumsi.

D. Estimasi Energi Panel Surya

Sumber energi sistem berasal dari panel surya 10W yang diasumsikan mendapat penyinaran rata-rata 5 jam efektif per hari di Indonesia.

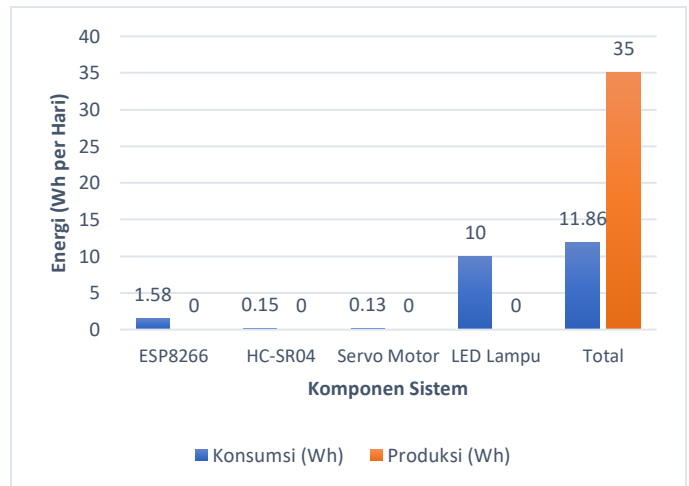
$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= \text{Daya} \times \text{Waktu} \\
 &= 10 \text{ W} \times 5 \text{ jam} \\
 &= 50 \text{ Wh/hari} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Dengan efisiensi sistem sekitar 70% (karena konversi dan penyimpanan), maka energi yang dapat digunakan:

$$50 \text{ Wh} \times 70\% = 35 \text{ Wh/hari (efektif)} \quad (2)$$

Jenis panel surya yang digunakan juga memengaruhi efisiensi sistem secara keseluruhan. Studi oleh Sari dan Irawan [13] menunjukkan bahwa panel *monocrystalline* lebih efisien dibandingkan *polycrystalline* dalam sistem *IoT* skala kecil.

Sehingga, sistem yang mengonsumsi sekitar 11.859 Wh per hari masih berada dalam batas daya yang tersedia, sehingga dapat berjalan stabil dalam kondisi normal tanpa tergantung pada jaringan PLN.



Gambar 2. Perbandingan Konsumsi dan Produksi Energi Harian

Gambar 2 memperlihatkan grafik perbandingan antara total konsumsi energi harian dari semua komponen sistem dan total produksi energi harian yang dapat disediakan oleh panel surya 10 watt. Konsumsi energi sistem diperkirakan sebesar 11,86 Wh per hari, sedangkan produksi energi mencapai 35 Wh per hari (dengan efisiensi sistem 70%). Grafik ini menunjukkan bahwa kapasitas energi yang dihasilkan melebihi kebutuhan konsumsi, sehingga terdapat surplus energi sekitar 23,14 Wh. Surplus ini dapat dimanfaatkan sebagai cadangan daya (*backup*), untuk menambah beban sistem tambahan seperti sensor baru atau sistem komunikasi lanjutan.

E. Kriteria Evaluasi dan Simulasi

Evaluasi dilakukan secara teoretis dengan membandingkan:

- Total kebutuhan energi komponen sistem,
- Total ketersediaan energi dari panel surya,
- Rasio efisiensi (% utilisasi vs total energi tersedia),
- Potensi waktu operasional sistem dalam berbagai skenario cuaca.

Model perhitungan ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut melalui simulasi menggunakan *software* seperti *Proteus* atau *MATLAB Simulink* [14], untuk menampilkan respon sistem berdasarkan input sensor dan logika kontrol.

F. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan desain sistem kendali garasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan dukungan sumber energi terbarukan menggunakan panel surya. Hasil disajikan dalam bentuk simulasi konseptual dan evaluasi teoretis terhadap efisiensi sistem dari sisi konsumsi daya dan kecukupan energi. Pembahasan mencakup dua bagian utama, yaitu hasil rancangan sistem dan hasil estimasi kinerja sistem.

1) Hasil Rancangan Sistem: Berdasarkan analisis kebutuhan dan spesifikasi fungsional, sistem terdiri dari tujuh komponen utama, yakni *NodeMCU ESP8266*, sensor ultrasonik *HC-SR04*, motor *servo*, *LED* lampu hemat energi, panel surya 10W, *solar charge controller*, dan baterai 12V. Diagram blok sistem yang telah disusun menunjukkan bagaimana semua komponen ini terintegrasi untuk menjalankan fungsinya secara otomatis dan efisien.

Rangkaian sistem memungkinkan proses kontrol yang cerdas, di mana *NodeMCU* memproses data dari sensor dan memutuskan untuk membuka pintu serta menyalakan lampu berdasarkan kondisi tertentu. Selain itu, data dan kendali sistem dapat diakses secara jarak jauh melalui aplikasi *Blynk* atau menggunakan protokol *MQTT*.

2) Evaluasi Konsumsi dan Ketersediaan Energi: Hasil estimasi konsumsi daya menunjukkan bahwa kebutuhan total energi sistem mencapai 11,86 Wh per hari. Rinciannya telah dijabarkan dalam Tabel III. Di sisi lain, panel surya 10W dengan asumsi penyinaran efektif 5 jam per hari dapat menghasilkan energi sebesar 50 Wh. Dengan efisiensi sistem rata-rata 70% akibat proses konversi dan penyimpanan, energi yang efektif tersedia untuk sistem adalah 35 Wh/hari.

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa energi yang disediakan oleh sistem panel surya lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan konsumsi harian. Terdapat margin energi sekitar 23,14 Wh yang dapat digunakan untuk daya cadangan (*backup*), atau dapat dimanfaatkan untuk menambah beban lain (misalnya sensor suhu, kamera, atau konektivitas tambahan).

3) Kelayakan Operasional dan Potensi Pengembangan: Berdasarkan hasil perhitungan dan asumsi efisiensi, sistem yang dirancang dapat dioperasikan secara stabil dalam kondisi penyinaran normal. Namun, pada hari-hari dengan intensitas cahaya matahari rendah (mendung/hujan), energi yang dihasilkan mungkin akan menurun drastis. Untuk itu, dalam pengembangan selanjutnya dapat ditambahkan:

- Sensor *monitoring* energi (*voltage/current* sensor) untuk mengukur dan mengatur beban,
- Sistem *dual-supply* (solar + PLN) untuk menjamin kontinuitas,
- Baterai kapasitas lebih besar untuk menyimpan cadangan energi lebih lama.

Selain pendekatan berbasis panel surya, pengembangan sistem ke depan juga dapat mempertimbangkan opsi penggunaan energi hibrida. Dalam model ini, sistem akan tetap mengandalkan panel surya sebagai sumber utama, namun secara otomatis beralih ke jaringan PLN saat daya baterai berada di bawah ambang batas tertentu. Implementasi ini tidak

hanya meningkatkan keandalan sistem dalam berbagai kondisi cuaca, tetapi juga memperluas jangkauan aplikasi sistem untuk lingkungan yang membutuhkan kontinuitas layanan tanpa gangguan. Kombinasi ini juga memungkinkan sistem untuk tetap berfungsi optimal meskipun dalam kondisi mendung berkepanjangan atau pada malam hari dengan beban tinggi.

Secara keseluruhan, hasil desain sistem ini menunjukkan bahwa pendekatan penggunaan *IoT* dengan catu daya berbasis panel surya sangat memungkinkan diterapkan dalam lingkungan residensial maupun komersial, khususnya pada sistem otomatisasi pintu dan pencahayaan garasi.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan rancangan sistem *Smart Garage berbasis Internet of Things (IoT)* yang menggunakan sumber energi terbarukan berupa panel surya 10W. Sistem dirancang untuk mengotomatisasi kendali pintu garasi dan pencahayaan menggunakan *NodeMCU ESP8266*, sensor ultrasonik *HC-SR04*, motor *servo*, serta lampu *LED*, dengan dukungan kendali jarak jauh melalui platform *Blynk* atau protokol *MQTT*.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa konsumsi daya sistem secara keseluruhan adalah sebesar 11,86 Wh per hari, sedangkan energi yang dapat dihasilkan dari panel surya mencapai 35 Wh per hari (dengan asumsi efisiensi 70%). Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki efisiensi dan kelayakan operasional yang baik, dengan cadangan energi yang cukup untuk menghadapi fluktuasi cuaca atau beban tambahan ringan.

Secara keseluruhan, sistem ini layak diimplementasikan untuk kebutuhan otomatisasi rumah tinggal atau garasi skala kecil dengan kebutuhan energi rendah, tanpa ketergantungan pada jaringan listrik konvensional. Selain itu, rancangan ini juga mendukung prinsip *green technology* dan *energy efficiency* yang relevan dengan pengembangan sistem berkelanjutan.

Sebagai pengembangan lebih lanjut, sistem yang telah dirancang dapat direalisasikan secara fisik untuk memungkinkan pengujian langsung terhadap kinerja komponen dan kestabilan pasokan energi dalam kondisi lingkungan nyata. Selain itu, penambahan sensor *monitoring* energi seperti sensor arus dan tegangan (misalnya *INA219* atau *ACS712*) dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam memantau konsumsi dan efisiensi energi secara *real-time*. Untuk menjamin kontinuitas operasional, khususnya saat cuaca buruk atau malam hari dengan beban tinggi, disarankan mengintegrasikan sistem cadangan daya dari jaringan listrik (PLN) melalui mekanisme *switching* otomatis. Pengembangan antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile juga dapat memberikan kemudahan dalam memantau dan mengendalikan

sistem secara jarak jauh. Di masa mendatang, sistem ini dapat ditingkatkan dengan dukungan teknologi *Edge AI* untuk menerapkan fungsi pengenalan kendaraan atau pembelajaran pola penggunaan, sehingga menjadikan sistem lebih cerdas dan adaptif terhadap kebutuhan pengguna.

Dengan mempertimbangkan aspek desain teknis, efisiensi energi, dan keberlanjutan, sistem yang dirancang ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai solusi otomatisasi hemat energi pada sektor rumah tangga. Pendekatan ini juga dapat diterapkan dalam skala yang lebih besar, seperti sistem parkir otomatis, pintu gerbang perumahan, atau fasilitas umum yang membutuhkan kontrol berbasis *IoT*. Pengembangan ke depan diharapkan tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga memperhatikan keamanan siber (*cybersecurity*) dan keandalan komunikasi data agar sistem semakin andal dan adaptif terhadap perkembangan teknologi yang lebih canggih.

REFERENSI

- [1] M. Shafique, S. Khayam, and A. A. Khattak, "Internet of Things (IoT): A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 9643–9736, 2020.
- [2] M. Q. A. Rizki and A. H. Sutanto, "Smart garage door system using IoT-based microcontroller," *J. Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 45–51, 2021.
- [3] A. Wahyudi and D. Rachman, "Analisis potensi energi surya untuk perangkat IoT di Indonesia," *J. Energi Terbarukan*, vol. 6, no. 2, pp. 45–50, 2021.
- [4] A. H. Rahmat, "Studi kebutuhan sistem otomatisasi pintu garasi di kawasan residensial," *J. Inovasi dan Teknologi*, vol. 4, no. 1, pp. 12–18, 2020.
- [5] H. Taufik, R. Syahputra, and M. A. Iqbal, "Perancangan sistem smart home dengan kendali Blynk dan protokol MQTT," *J. JTET*, vol. 7, no. 2, pp. 101–108, 2021.
- [6] A. N. Hakim and D. Surya, "Pemanfaatan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk sistem parkir otomatis," *J. Rekayasa Elektrika*, vol. 7, no. 1, pp. 50–56, 2020.
- [7] D. Prakoso and S. Andriani, "Implementasi NodeMCU ESP8266 untuk sistem monitoring suhu berbasis web," *J. RESTI*, vol. 4, no. 3, pp. 512–518, 2020.
- [8] R. Sharma et al., "Design and implementation of a solar powered IoT-based soil moisture monitoring system," *Int. J. Smart Agricult.*, vol. 3, no. 1, pp. 22–29, 2021.
- [9] Espressif Systems, "ESP8266EX Datasheet," Espressif, 2022.[Online].Available:
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [10] Y. Saputra and N. R. Lestari, "Studi penggunaan baterai 12V pada sistem IoT hemat energi," *J. Teknologi Energi*, vol. 5, no. 1, pp. 33–39, 2023.
- [11] A. S. Hidayat and R. Nugroho, "Penggunaan MQTT untuk komunikasi ringan pada sistem monitoring energi rumah," *J. Komputasi dan Informasi*, vol. 9, no. 4, pp. 211–218, 2021.
- [12] R. Putra and A. Firmansyah, "Penerapan IoT pada sistem smart home berbasis Android," *J. Inform.*, vol. 10, no. 2, pp. 123–129, 2021.
- [13] T. R. Sari and F. Irawan, "Analisis efisiensi panel surya monocrystalline dan polycrystalline pada sistem IoT skala kecil," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 85–92, 2022.
- [14] F. Maulana and L. Santosa, "Perancangan manajemen energi pada sistem off-grid berbasis mikrokontroler," *J. Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 99–106, 2022.