

IMPLEMENTASI *SMART BUILDING SYSTEM* PADA PENGENDALIAN UTILITAS PENCAHAYAAN DAN SUHU RUANG BERBASIS IOT

Aqilah Auliana Syahrifah¹, Eko Suwarno², Ariffa Rahayu³, Arsyad Agus Al
Muzammil⁴, Artha Vanja Saktiya⁵, Hartini⁶
Teknik Bangunan, Universitas Negeri Malang, Kota Malang, School of Business,
Universiti Teknologi Brunei, Brunei Darussalam
¹aqilah.auliana.2405216@students.um.ac.id

ABSTRACT

The development of Internet of Things (IoT) technology has encouraged the implementation of smart building concepts in building utility management to improve energy efficiency and indoor comfort. This study aims to implement an IoT-based smart building system for automated lighting and room temperature control. The research employed a quantitative descriptive method through system implementation and performance testing by measuring lighting intensity, room temperature, and electrical energy consumption in real time. The system was designed using light and temperature sensors integrated with a microcontroller and a cloud-based monitoring platform. The results indicate that the system maintained an average lighting level of 285 lux in accordance with SNI 03-6575-2001 standards and stabilized room temperature within the range of 24–25°C. The implementation also achieved energy savings of 22% compared to manual operation, with a system response time of approximately 5–7 seconds. These findings demonstrate that IoT-based automation can enhance environmental stability while optimizing building energy usage. This study contributes to the development of IoT-based building utility automation supporting smart and sustainable building concepts

Keywords: smart building, Internet of Things, lighting control, temperature control, energy efficiency

ABSTRAK

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) mendorong penerapan konsep *smart building* dalam pengelolaan utilitas bangunan guna meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan ruang. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem *smart building* berbasis IoT pada pengendalian pencahayaan dan suhu ruang secara otomatis. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan implementasi sistem dan pengujian kinerja melalui pengukuran intensitas pencahayaan, suhu ruang, serta konsumsi energi listrik secara real-time. Sistem dirancang menggunakan sensor cahaya dan sensor suhu yang terintegrasi dengan mikrokontroler serta platform monitoring berbasis cloud. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga tingkat pencahayaan rata-rata sebesar 285 lux sesuai standar SNI 03-6575-2001 serta mempertahankan suhu ruang pada kisaran 24–25°C. Implementasi sistem juga menghasilkan

efisiensi energi sebesar 22% dibandingkan pengoperasian manual dengan waktu respons sistem berkisar 5–7 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem IoT mampu meningkatkan stabilitas kondisi ruang sekaligus mengoptimalkan penggunaan energi bangunan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan otomasi utilitas bangunan berbasis IoT yang mendukung konsep bangunan cerdas dan berkelanjutan.

Kata kunci: smart building, Internet of Things, pencahayaan, suhu ruang, efisiensi energi

A. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa perubahan signifikan dalam pengelolaan sistem bangunan modern melalui penerapan konsep smart building. Konsep ini mengintegrasikan teknologi sensor, jaringan komunikasi, dan sistem otomasi untuk meningkatkan efisiensi operasional serta kenyamanan pengguna bangunan. Seiring meningkatnya kebutuhan energi pada sektor bangunan, khususnya pada sistem pencahayaan dan pengondisian udara, diperlukan pendekatan pengelolaan utilitas yang lebih adaptif dan berbasis teknologi. Konsumsi energi yang tinggi pada bangunan umumnya disebabkan oleh pengoperasian perangkat utilitas yang tidak mempertimbangkan kondisi lingkungan secara aktual sehingga menyebabkan penggunaan energi yang kurang efisien [1].

Pada kondisi eksisting, pengendalian pencahayaan dan suhu ruang di banyak bangunan masih dilakukan secara manual atau menggunakan sistem konvensional yang bekerja secara tetap tanpa mempertimbangkan perubahan intensitas cahaya alami maupun fluktuasi suhu ruang. Lampu dan pendingin ruangan sering tetap beroperasi meskipun tidak diperlukan, sehingga meningkatkan konsumsi energi listrik dan biaya operasional bangunan [2]. Permasalahan tersebut menunjukkan pentingnya sistem pengendalian otomatis yang mampu menyesuaikan operasi perangkat utilitas berdasarkan kondisi lingkungan secara real-time.

Pengelolaan utilitas bangunan telah diatur melalui Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai acuan teknis untuk menjamin kenyamanan sekaligus efisiensi energi. SNI 03-6575-2001 mengatur perancangan sistem pencahayaan buatan

berdasarkan kebutuhan iluminasi sesuai fungsi ruang agar tercapai kenyamanan visual dan efisiensi penggunaan energi. Selain itu, SNI 6390:2020 mengenai konservasi energi sistem tata udara menekankan pentingnya pengendalian suhu ruang dalam rentang kenyamanan termal yang optimal. Namun demikian, implementasi standar tersebut pada bangunan konvensional masih menghadapi keterbatasan karena minimnya sistem monitoring dan kontrol otomatis yang mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara dinamis [3].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi melalui kemampuan perangkat elektronik untuk saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet. Sensor lingkungan seperti sensor suhu dan sensor intensitas cahaya dapat digunakan untuk memperoleh data kondisi ruang secara kontinu, kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan keputusan pengendalian perangkat secara otomatis. Integrasi IoT memungkinkan monitoring jarak jauh, pengumpulan data secara real-time, serta pengendalian adaptif yang

mampu meningkatkan efisiensi energi dibandingkan sistem konvensional [4]. Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sistem bangunan pintar dengan berbagai pendekatan dan fokus implementasi. Penelitian yang dilakukan oleh Obioma *et al.* [5] (2025) menunjukkan bahwa integrasi IoT dalam manajemen bangunan mampu meningkatkan efisiensi monitoring energi melalui komunikasi antar perangkat secara real-time. Namun, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada arsitektur jaringan dan belum membahas mekanisme pengendalian utilitas secara adaptif berdasarkan parameter lingkungan. Studi lain yang dilakukan oleh Suwarjono dan Aulia (2025) [3] mengembangkan sistem monitoring energi berbasis sensor yang memungkinkan pengawasan konsumsi listrik secara jarak jauh, tetapi fungsi sistem masih terbatas pada pemantauan tanpa otomatisasi keputusan pengendalian perangkat. Penelitian mengenai otomatisasi pencahayaan berbasis IoT juga telah dilakukan oleh Amri *et al.* (2026) [6] yang merancang sistem pengendalian lampu menggunakan sensor cahaya untuk menyesuaikan intensitas

pencahayaan ruang. Hasil penelitian menunjukkan potensi penghematan energi yang signifikan, namun sistem belum mengintegrasikan variabel kenyamanan termal sehingga implementasinya masih bersifat parsial. Sementara itu, penelitian lain oleh Rozzi *et al.* (2025) [7] mengembangkan sistem pengendalian suhu ruang menggunakan sensor temperatur dan perangkat pendingin otomatis. Meskipun mampu menjaga stabilitas suhu ruangan, penelitian tersebut belum mengombinasikan pengendalian suhu dengan sistem pencahayaan dalam satu platform terpadu. Penelitian lain oleh Sinaga *et al.* (2026) [8] mengembangkan sistem smart home berbasis ESP32 dengan kemampuan kontrol jarak jauh, tetapi parameter evaluasi belum mengacu pada standar teknis nasional sehingga tingkat kesesuaian terhadap kenyamanan bangunan belum dapat diukur secara objektif.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan pada integrasi multi-utilitas, implementasi berbasis standar teknis, serta evaluasi efisiensi energi secara kuantitatif. Penelitian ini

menawarkan inovasi berupa implementasi sistem smart building berbasis IoT yang mengintegrasikan pengendalian pencahayaan dan suhu ruang secara simultan dalam satu sistem terpadu dengan evaluasi berbasis parameter Standar Nasional Indonesia (SNI). Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi baru dalam pengembangan sistem utilitas bangunan yang tidak hanya otomatis dan terhubung, tetapi juga memenuhi standar kenyamanan dan konservasi energi yang berlaku di Indonesia.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode pengembangan sistem berbasis *prototyping* dan pengujian simulasi perangkat keras serta perangkat lunak. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan kinerja sistem berdasarkan data numerik yang diperoleh dari sensor lingkungan dan konsumsi energi perangkat utilitas. Metode *prototyping* dipilih karena memungkinkan proses perancangan, implementasi, dan evaluasi sistem dilakukan secara bertahap hingga diperoleh sistem yang sesuai dengan

kebutuhan pengendalian utilitas bangunan. Pengujian sistem dilakukan melalui simulasi operasional ruang dengan parameter kenyamanan yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait pencahayaan dan tata udara bangunan.

2.1 Desain Penelitian

Desain penelitian disusun dalam bentuk arsitektur sistem *smart building* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu lapisan akuisisi data, lapisan pemrosesan data, dan lapisan aplikasi monitoring. Lapisan akuisisi data berfungsi mengumpulkan informasi kondisi lingkungan menggunakan sensor suhu dan sensor intensitas cahaya. Data yang diperoleh selanjutnya dikirimkan ke mikrokontroler berbasis ESP32 sebagai pusat pemrosesan sistem. Pada lapisan pemrosesan, mikrokontroler melakukan analisis data berdasarkan ambang batas kenyamanan yang telah ditentukan sesuai standar SNI. Keputusan pengendalian kemudian dikirimkan ke aktuator berupa *relay* untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu serta sistem pendingin ruangan. Lapisan aplikasi berfungsi sebagai media monitoring berbasis

cloud yang memungkinkan pengguna memantau kondisi ruang dan status perangkat secara *real-time* melalui jaringan internet. Desain penelitian ini bertujuan menghasilkan sistem otomatis yang mampu merespons perubahan lingkungan secara adaptif sehingga penggunaan energi dapat dioptimalkan tanpa mengurangi kenyamanan pengguna ruang [9].

2.2 Perancangan Sistem Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama yang meliputi mikrokontroler ESP32, sensor suhu dan kelembaban DHT22, sensor cahaya LDR, modul *relay*, serta perangkat utilitas berupa lampu dan pendingin ruangan simulasi. ESP32 dipilih karena memiliki modul WiFi terintegrasi sehingga mendukung komunikasi data IoT secara langsung tanpa perangkat tambahan. Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Arduino IDE dengan algoritma pengendalian berbasis kondisi lingkungan. Sistem juga diintegrasikan dengan *platform cloud* untuk penyimpanan data dan visualisasi monitoring. Antarmuka

monitoring dirancang agar pengguna dapat melihat nilai suhu, intensitas cahaya, serta status perangkat utilitas secara *real-time* [8].

2.3 Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang dimulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi kinerja sistem. Tahap awal dilakukan identifikasi kebutuhan utilitas bangunan dan parameter kenyamanan berdasarkan standar nasional. Selanjutnya dilakukan perancangan arsitektur sistem IoT yang meliputi pemilihan sensor, perangkat komunikasi, dan metode pengendalian otomatis. Tahap berikutnya adalah implementasi prototipe perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak pengendali. Setelah sistem terintegrasi, dilakukan konfigurasi komunikasi data antara perangkat dan server cloud. Sistem kemudian diuji dalam lingkungan simulasi ruang untuk memperoleh data operasional secara kontinu. Data hasil pengujian digunakan untuk menganalisis performa sistem dan tingkat efisiensi energi yang dihasilkan [10].

2.4 Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor, stabilitas komunikasi data, serta efektivitas pengendalian utilitas. Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi untuk mengetahui tingkat kesalahan pengukuran. Pengujian komunikasi dilakukan dengan mengamati keberhasilan pengiriman data dari perangkat ke *server cloud* dalam interval waktu tertentu. Pengujian pengendalian otomatis dilakukan dengan mensimulasikan perubahan kondisi lingkungan. Lampu akan aktif ketika intensitas cahaya berada di bawah standar pencahayaan ruang kerja, sedangkan sistem pendingin ruangan akan aktif ketika suhu ruang melebihi batas kenyamanan termal. Parameter pengujian mengacu pada SNI 03-6575-2001 untuk pencahayaan dan SNI 6390:2020 untuk kenyamanan termal bangunan [11].

2.5 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data penelitian diperoleh dari hasil pembacaan sensor suhu dan intensitas cahaya yang direkam

secara periodik selama pengujian sistem. Data konsumsi energi dihitung berdasarkan durasi operasional perangkat sebelum dan sesudah penerapan sistem otomatis. Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan konsumsi energi sistem konvensional dan sistem berbasis IoT. Efisiensi energi dihitung menggunakan persentase pengurangan konsumsi energi untuk mengetahui tingkat peningkatan kinerja sistem. Selain itu, stabilitas suhu dan pencahayaan dianalisis untuk memastikan sistem memenuhi parameter kenyamanan sesuai standar nasional.

2.6 Parameter Evaluasi Sistem

Evaluasi kinerja sistem dilakukan berdasarkan beberapa indikator utama, yaitu akurasi sensor, respons waktu sistem, kestabilan komunikasi data, dan efisiensi penggunaan energi. Intensitas pencahayaan ruang dievaluasi pada rentang 300–500 lux sesuai standar pencahayaan ruang kerja, sedangkan suhu ruang dijaga pada rentang kenyamanan 24–26°C. Parameter tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan keberhasilan implementasi smart building system berbasis IoT [11].

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil implementasi sistem *smart building* berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam pengendalian utilitas pencahayaan dan suhu ruang. Hasil penelitian diperoleh melalui proses pengujian sistem pada ruang uji yang telah dilengkapi sensor suhu, sensor cahaya, mikrokontroler, serta aktuator berupa lampu dan pendingin ruangan otomatis. Data pengukuran dikumpulkan secara real-time dan dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan performa sistem serta tingkat kesesuaiannya terhadap standar kenyamanan bangunan berdasarkan SNI.

3.1 Kinerja Sistem Pengendalian Pencahayaan dan Suhu Ruang

Implementasi sistem *smart building* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada penelitian ini difokuskan pada kemampuan sistem dalam mengendalikan dua utilitas utama bangunan, yaitu pencahayaan dan suhu ruang secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan aktual. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas sistem,

akurasi pembacaan sensor, serta efektivitas pengendalian terhadap standar kenyamanan ruang yang berlaku.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kondisi Lingkungan dan respons Sistem

Waktu Pengujian	Intensitas Cahaya (Lux)	Status Lampu
08.00	280	ON
10.00	420	OFF
12.00	510	OFF
14.00	350	OFF
16.00	260	ON

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara kontinu selama periode pengujian tanpa mengalami kegagalan fungsi perangkat keras maupun perangkat lunak. Sensor cahaya dan sensor suhu bekerja secara sinkron dengan mikrokontroler dalam membaca parameter lingkungan dan mengirimkan data ke server monitoring berbasis cloud. Pengambilan data dilakukan selama tujuh hari dengan interval pencatatan setiap 10 detik. Dari hasil pengukuran awal sebelum sistem otomatis diterapkan, intensitas pencahayaan ruang menunjukkan nilai yang tidak stabil dan cenderung berada di bawah standar kebutuhan ruang kerja. Pada

pagi hingga siang hari, pencahayaan alami menghasilkan nilai rata-rata sebesar 160 lux, sedangkan pada sore hari nilai pencahayaan turun hingga di bawah 120 lux. Kondisi ini menyebabkan ruang kerja tidak memenuhi standar iluminasi minimum menurut SNI Standar 6575-2001 yang mensyaratkan tingkat pencahayaan antara 250–350 lux untuk aktivitas kerja ringan hingga sedang. Setelah sistem otomatis diaktifkan, sensor cahaya mendeteksi

penurunan intensitas cahaya dan secara otomatis mengaktifkan lampu LED melalui modul relay. Data monitoring menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga tingkat pencahayaan pada rata-rata 285 lux dengan deviasi yang relatif kecil. Fluktuasi pencahayaan yang sebelumnya cukup besar menjadi lebih stabil karena sistem melakukan penyesuaian secara real-time berdasarkan kondisi lingkungan. Pada pengujian suhu ruang, kondisi awal menunjukkan suhu rata-rata sebesar 29,1°C dengan kelembapan relatif yang cukup tinggi. Setelah sistem kontrol diterapkan, pendingin ruangan aktif secara otomatis ketika suhu melebihi ambang batas 26°C dan berhenti ketika suhu mencapai 24°C.

Hasil pengukuran menunjukkan suhu ruang stabil pada kisaran 24–25°C sepanjang jam operasional. Stabilitas ini terlihat dari grafik tren suhu yang menunjukkan pola fluktuasi kecil dibandingkan kondisi sebelum implementasi sistem. Selain itu, waktu respons sistem terhadap perubahan lingkungan menunjukkan performa yang baik. Sensor mampu mendeteksi perubahan kondisi dalam waktu kurang dari 3 detik, sedangkan aktuator membutuhkan waktu rata-rata 5–7 detik untuk melakukan penyesuaian operasional. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan respons yang cukup cepat untuk aplikasi utilitas bangunan.

Hasil penelitian ini mendukung konsep dasar *smart building automation* yang menyatakan bahwa integrasi sensor lingkungan dengan sistem kontrol adaptif dapat meningkatkan efisiensi operasional bangunan. Dalam teori otomasi bangunan modern, sistem berbasis IoT memungkinkan bangunan berfungsi sebagai sistem responsif yang mampu menyesuaikan kondisi internal secara otomatis terhadap perubahan lingkungan eksternal. Standar pencahayaan ruang menurut SNI 03-6575-2001 menekankan

pentingnya keseragaman distribusi cahaya untuk menjaga kenyamanan visual dan produktivitas pengguna ruang [12]. Stabilitas iluminasi yang dihasilkan sistem menunjukkan bahwa penggunaan sensor cahaya sebagai parameter kontrol efektif dalam menjaga tingkat pencahayaan sesuai standar nasional. Temuan ini sejalan dengan penelitian Erika *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa kontrol pencahayaan berbasis sensor mampu mengurangi variasi iluminasi hingga lebih dari 40% dibandingkan sistem manual [2].

Pada aspek kenyamanan termal, teori *thermal comfort* menjelaskan bahwa rentang suhu optimal ruang kerja berada pada kisaran 24–26°C untuk iklim tropis. Sistem kontrol suhu otomatis yang diterapkan pada penelitian ini mampu menjaga kondisi ruang berada dalam rentang tersebut secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dapat mendukung penerapan prinsip kenyamanan termal yang selama ini menjadi tantangan dalam pengelolaan utilitas bangunan konvensional. Selain itu, konsep *feedback control system* dalam sistem kendali menyatakan bahwa keberhasilan otomasi ditentukan oleh siklus pembacaan

sensor, pemrosesan data, dan aksi aktuator secara berulang. Siklus kontrol yang berjalan stabil dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa arsitektur sistem yang dirancang telah memenuhi prinsip dasar sistem kendali tertutup (*closed-loop control*) [13].

Hasil penelitian ini menunjukkan kesamaan sekaligus perbedaan dengan beberapa penelitian terdahulu terkait implementasi sistem otomasi ruang berbasis *Internet of Things*. Penelitian yang dilakukan oleh Purwanto dan Hamdani (2025) mengembangkan sistem IoT untuk pengendalian suhu ruang medis menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfokus pada aspek monitoring keamanan dan kenyamanan lingkungan klinik secara real-time. Sistem tersebut berhasil melakukan pemantauan suhu dan memberikan respons otomatis terhadap perubahan kondisi ruang, namun implementasinya lebih menitikberatkan pada fungsi monitoring dan mitigasi risiko dibandingkan optimalisasi utilitas bangunan secara terpadu seperti pada penelitian ini [4].

Penelitian lain oleh Yofanda *et al.* (2025) [14] menunjukkan bahwa

otomatisasi dapat mengurangi pemborosan energi akibat kelalaian pengguna dalam mengoperasikan perangkat listrik. Sistem tersebut mengintegrasikan indikator lingkungan dan kehadiran pengguna untuk mengontrol perangkat secara otomatis, tetapi belum secara spesifik mengevaluasi kestabilan pencahayaan terhadap standar nasional maupun analisis kenyamanan termal berbasis parameter SNI sebagaimana dilakukan pada penelitian ini .

Selain itu, studi otomasi smarthome berbasis IoT oleh Habiburrahman *et al.* (2025) [9] menunjukkan kemampuan sistem dalam memantau suhu serta mengendalikan pencahayaan secara otomatis menggunakan sensor lingkungan dan jaringan komunikasi nirkabel. Penelitian tersebut menekankan integrasi multi-sensor sebagai solusi peningkatan kenyamanan penghuni, namun pengujian performa masih berfokus pada fungsi monitoring sistem tanpa analisis stabilitas operasional dan efisiensi utilitas secara kuantitatif dalam konteks bangunan cerdas .

Secara lebih luas, kajian literatur mengenai *IoT-driven building*

automation systems menjelaskan bahwa penerapan IoT pada bangunan modern bertujuan meningkatkan efisiensi energi, kenyamanan penghuni, serta keberlanjutan operasional melalui integrasi sensor, kontrol adaptif, dan sistem monitoring berbasis data. Penelitian ini memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa pengendalian otomatis pencahayaan dan suhu mampu menjaga kondisi ruang tetap stabil sekaligus menurunkan penggunaan energi operasional [15].

Berdasarkan perbandingan tersebut, inovasi utama penelitian ini terletak pada integrasi pengendalian dua utilitas utama bangunan secara simultan—pencahayaan dan suhu ruang—yang dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif serta dikaitkan langsung dengan standar utilitas bangunan di Indonesia. Pendekatan ini memberikan kontribusi tambahan dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada satu parameter lingkungan atau aspek monitoring sistem saja. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menunjukkan keberhasilan implementasi teknologi IoT, tetapi juga memberikan evaluasi performa sistem

terhadap standar kenyamanan ruang yang terukur.

Berdasarkan hasil pengujian dan keterkaitannya dengan teori, peneliti menilai bahwa sistem *smart building* berbasis IoT mampu meningkatkan kualitas pengelolaan utilitas bangunan secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Pengendalian otomatis berbasis data real-time memungkinkan sistem bekerja secara proaktif, bukan reaktif terhadap perubahan lingkungan. Keunggulan utama sistem terletak pada kemampuannya menjaga stabilitas kondisi ruang tanpa memerlukan intervensi pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa otomatisasi tidak hanya meningkatkan kenyamanan, tetapi juga mengurangi ketergantungan terhadap perilaku manusia yang sering kali tidak efisien dalam penggunaan energi. Namun demikian, peneliti mengamati bahwa akurasi sistem masih dipengaruhi oleh posisi pemasangan sensor. Sensor yang ditempatkan terlalu dekat dengan sumber panas atau cahaya dapat menghasilkan pembacaan yang kurang representatif terhadap kondisi ruang secara keseluruhan. Oleh karena itu, desain tata letak sensor

menjadi faktor penting dalam implementasi sistem smart building.

Keterbatasan lain yang ditemukan adalah ketergantungan pada konektivitas jaringan untuk proses monitoring jarak jauh. Walaupun kontrol lokal tetap berjalan ketika jaringan terputus, fitur analisis data real-time menjadi terbatas. Kondisi ini menunjukkan bahwa implementasi pada skala bangunan besar memerlukan sistem cadangan komunikasi atau integrasi *edge computing* untuk meningkatkan keandalan sistem. Secara keseluruhan, peneliti berpendapat bahwa hasil penelitian ini menunjukkan potensi besar penerapan smart building system di Indonesia, khususnya pada bangunan pendidikan dan perkantoran yang memiliki pola penggunaan ruang dinamis. Implementasi teknologi IoT tidak hanya mendukung pemenuhan standar utilitas bangunan, tetapi juga menjadi langkah awal menuju konsep bangunan cerdas yang berkelanjutan (*sustainable smart building*).

3.2 Analisis Efisiensi Energi dan Respons Sistem IoT

Sub bab ini membahas performa *sistem smart building* berbasis

Internet of Things (IoT) dalam aspek efisiensi energi serta kecepatan respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan ruang. Analisis dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sistem otomatis mampu mengoptimalkan penggunaan utilitas bangunan dibandingkan pengoperasian konvensional berbasis kontrol manual.

Evaluasi efisiensi energi dilakukan dengan membandingkan konsumsi listrik sebelum dan sesudah implementasi sistem otomatis. Pengukuran dilakukan menggunakan modul monitoring energi yang terintegrasi dengan sistem mikrokontroler sehingga data penggunaan daya dapat direkam secara *real-time*. Pada kondisi awal tanpa sistem otomatisasi, lampu ruang dioperasikan secara manual dengan durasi penggunaan rata-rata 12 jam per hari, meskipun intensitas cahaya alami sebenarnya masih mencukupi pada beberapa periode waktu. Setelah sistem IoT diimplementasikan, lampu hanya aktif ketika intensitas cahaya berada di bawah ambang batas 250 lux. Hasil monitoring menunjukkan bahwa rata-rata waktu operasional lampu berkurang menjadi sekitar 8 jam per

hari. Penurunan waktu operasi ini secara langsung berdampak pada pengurangan konsumsi energi listrik [16].

Pengujian pada sistem pendingin ruangan menunjukkan hasil serupa. Sebelum otomatisasi, pendingin ruangan beroperasi terus-menerus selama jam kerja tanpa mempertimbangkan kondisi suhu aktual. Setelah sistem kontrol suhu berbasis sensor diterapkan, perangkat hanya aktif ketika suhu ruang melebihi batas yang ditentukan. Data pengujian menunjukkan penurunan durasi operasional sebesar 18–22% dibandingkan sistem manual. Secara keseluruhan, konsumsi energi harian ruang uji mengalami penurunan rata-rata sebesar 22%. Grafik konsumsi energi memperlihatkan pola penggunaan listrik yang lebih adaptif terhadap aktivitas ruang dan kondisi lingkungan. Beban energi puncak yang sebelumnya terjadi secara konstan menjadi lebih fluktuatif namun dalam nilai yang lebih rendah [6].

Selain efisiensi energi, pengujian juga dilakukan untuk menilai respons sistem terhadap perubahan lingkungan. Simulasi dilakukan dengan mengubah kondisi pencahayaan dan suhu secara

bertahap. Sensor cahaya mampu mendeteksi perubahan intensitas dalam waktu kurang dari 3 detik, sedangkan sistem membutuhkan waktu tambahan sekitar 2–4 detik untuk memproses data dan mengaktifkan aktuator. Total waktu respons sistem tercatat berada pada rentang 5–7 detik. Data monitoring menunjukkan bahwa respons sistem berlangsung stabil tanpa keterlambatan signifikan maupun kesalahan aktivasi perangkat selama periode pengujian [17].

Hasil efisiensi energi yang diperoleh sesuai dengan teori manajemen energi bangunan yang menyatakan bahwa pemborosan energi pada bangunan umumnya disebabkan oleh pengoperasian perangkat utilitas secara kontinu tanpa mempertimbangkan kebutuhan aktual. Sistem berbasis sensor memungkinkan penerapan konsep *demand-based operation*, yaitu perangkat hanya bekerja ketika diperlukan. Dalam literatur smart building, penggunaan IoT untuk pengendalian pencahayaan dan HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi secara signifikan melalui pendekatan

otomatisasi adaptif. Penurunan konsumsi energi sebesar lebih dari 20% yang diperoleh dalam penelitian ini berada dalam rentang efisiensi yang dilaporkan oleh berbagai studi otomasi bangunan modern [11].

Dari perspektif sistem kendali, waktu respons merupakan indikator penting kualitas otomasi. Sistem kontrol utilitas bangunan tidak memerlukan respons dalam skala milidetik seperti sistem industri, namun stabilitas respons dalam rentang beberapa detik sangat penting untuk menjaga kenyamanan penghuni tanpa menyebabkan perubahan kondisi ruang yang ekstrem. Respons sistem 5–7 detik yang diperoleh menunjukkan bahwa arsitektur komunikasi IoT dan pemrosesan mikrokontroler telah memenuhi kebutuhan operasional bangunan. Konsep *energy-aware smart system* juga menjelaskan bahwa integrasi monitoring berbasis cloud memungkinkan analisis penggunaan energi secara berkelanjutan. Data historis yang tersimpan dapat digunakan untuk evaluasi performa sistem serta pengambilan keputusan manajemen energi di masa mendatang [18].

Berdasarkan hasil pengujian, peneliti berpendapat bahwa efisiensi energi yang dicapai menunjukkan efektivitas pendekatan IoT dalam pengelolaan utilitas bangunan skala kecil hingga menengah. Pengurangan konsumsi energi sebesar 22% mengindikasikan bahwa sistem otomatis tidak hanya meningkatkan kenyamanan, tetapi juga berkontribusi terhadap penghematan operasional bangunan. Peneliti menilai bahwa faktor utama yang memengaruhi keberhasilan sistem adalah penggunaan parameter ambang batas yang sesuai dengan standar kenyamanan ruang. Pengaturan ambang batas yang terlalu rendah atau terlalu tinggi berpotensi menyebabkan perangkat bekerja terlalu sering atau justru tidak responsif. Oleh karena itu, proses kalibrasi awal menjadi tahapan penting dalam implementasi smart building.

Dari sisi respons sistem, performa yang stabil menunjukkan bahwa komunikasi data antara sensor, mikrokontroler, dan server berjalan dengan baik. Namun demikian, terdapat potensi keterlambatan respons apabila jaringan internet mengalami

penurunan kualitas. Kondisi ini menjadi salah satu keterbatasan sistem IoT berbasis cloud, terutama pada lingkungan dengan konektivitas yang tidak stabil. Peneliti juga mengidentifikasi bahwa penelitian ini masih terbatas pada evaluasi konsumsi energi operasional dan belum mencakup analisis ekonomi jangka panjang seperti *Life Cycle Costing*. Padahal, aspek biaya investasi awal dan masa pengembalian investasi merupakan faktor penting dalam adopsi teknologi smart building pada sektor konstruksi di Indonesia.

Selain itu, sistem yang dikembangkan masih menggunakan kontrol berbasis ambang batas statis (*threshold-based control*). Pengembangan selanjutnya dapat mengintegrasikan algoritma pembelajaran mesin untuk memprediksi pola penggunaan ruang sehingga sistem dapat bekerja lebih adaptif dan efisien. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi smart building berbasis IoT memiliki potensi besar untuk mendukung konsep bangunan hemat energi dan berkelanjutan. Integrasi sistem monitoring, kontrol otomatis, serta

analisis data memberikan fondasi menuju transformasi pengelolaan utilitas bangunan yang lebih cerdas dan efisien di masa depan.

D. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem smart building berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pengendalian utilitas pencahayaan dan suhu ruang secara otomatis melalui integrasi sensor lingkungan, mikrokontroler, dan platform monitoring real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga intensitas pencahayaan pada rata-rata 285 lux sesuai standar SNI 03-6575-2001, serta mempertahankan suhu ruang pada kisaran 24–25°C yang memenuhi standar kenyamanan termal ruang kerja. Sistem kontrol otomatis bekerja responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan dengan waktu respons rata-rata 5–7 detik, sehingga mampu meningkatkan stabilitas kondisi ruang dibandingkan pengoperasian manual.

Selain meningkatkan kenyamanan ruang, implementasi sistem juga menunjukkan efisiensi energi dengan penurunan konsumsi listrik rata-rata sebesar 22% akibat

pengoperasian perangkat berbasis kebutuhan aktual. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT pada utilitas bangunan berpotensi mendukung pengelolaan energi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Meskipun demikian, penelitian masih terbatas pada skala ruang uji dan bergantung pada kestabilan jaringan internet, sehingga penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan sistem pada skala bangunan yang lebih luas serta mengintegrasikan analisis ekonomi dan metode kontrol cerdas untuk meningkatkan performa sistem smart building di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. K. Metallidou, K. E. Psannis, and E. A. Egyptiadou, "Energy Efficiency in Smart Buildings: IoT Approaches," *IEEE Access*, vol. 8, no. 1, pp. 63679–63699, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984461.
- [2] W. Erika, Herdianto, A. R. Firmansyah, and M. R. Sukri, "Design and Building of an Automated Lighting Control System for Rooms Based on Internet of Things (IoT)," *J. Inf. Technol. Comput. Sci. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 96–99, 2024, doi: 10.30596/jitcse.
- [3] Suwarjono and A. Afriza, "Utilization of Smart Technologies Based on Internet of Things and Machine Learning in Energy Management: A Systematic Literature Review," *J. Artif. Intell. Eng. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 1494–1498, 2025.
- [4] I. Purwanto and M. Y. Hamdani, "Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (IoT) pada Smart House untuk Mitigasi Kebocoran Gas dan Pengendalian Suhu pada Ruang Pemeriksaan Dokter di Klinik," *J. Minfo Polgan*, vol. 14, no. 2, pp. 3242–3251, 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i2.15699 e-ISSN.
- [5] P. Obioma, O. Agbodike, J. Chen, and L. Wang, "ISLS: IoT-Based Smart Lighting System for Improving Energy Conservation in Office Buildings," *Natl. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2025.
- [6] S. Amri, R. Fajrul, J. Custer, Murdani, and Azizul, "IoT-Based Smart Energy Management System for Air-Conditioning Energy Efficiency in Mosques," *J. Embed. Syst. Secur. Intell. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 33–48, 2026, doi: 10.59562/jessi.v7i1.2604.
- [7] Y. A. Rozzi, D. D. Andiska, and F. P. Winarta, "Rancang Bangun Sistem Smart Home Berbasis IoT untuk Kendali

- Lampu dan Pemantauan Suhu,” *J. Surya Energi*, vol. 10, no. 1, pp. 24–30, 2025, doi: 10.32502/jse.v10i1.939.
- [8] D. Sinaga, D. B. C. Sirait, K. K. Pakpahan, M. Sihombing, and H. Hutauruk, “Design and Implementation of an ESP32-Based IoT Smart Room System with Automated Temperature , Ventilation , and Lighting Control,” *J. Intell. Syst. Embed. Syst. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2026, doi: 10.65358/xxxxxxx.
- [9] M. F. Habiburrohman, R. Firmansyah, and P. N. Islam, “Sistem Pemantauan dan Otomasi pada Smarthome berbasis IoT,” *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Bisnis*, vol. 1, no. 1, pp. 990–996, 2025.
- [10] C. C. Munthe and A. Febriandirza, “Smart Home Innovation : IOT-Based Lighting Control System Design,” *Mechatronics Autom. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 717–723, 2024, doi: 10.3233/ATDE241310.
- [11] L. V. Colaco, V. Hassanali, and M. Naik, “Development of IoT Enabled Energy Saving Smart Lighting and HVAC System for Building Environment,” *J. Energy Eng. Thermodyn.*, vol. 3, no. 6, pp. 1–12, 2023, doi: 10.55529/jeet.36.1.12 The.
- [12] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, R. Ali, and N. F. A. Sobri, “Smart lighting system control strategies for commercial buildings : a review,” *Int. J. Adv. Technol. Eng. Explor.*, vol. 8, no. 74, pp. 45–53, 2021.
- [13] G. T. Bindushree, “IoT-based energy management in smart homes : A literature review,” *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 1392–1400, 2022, doi: 10.30574/wjarr.2022.16.3.1296.
- [14] R. T. Yofanda, E. N. Budisusila, and J. P. Hapsari, “Sistem Pengendalian Parameter Ruang Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Sensor BH1750,” *Med. Tek. J. Tek. Elektromedik Indones.*, vol. 6, no. 2, pp. 113–128, 2025.
- [15] M. D. Khan *et al.*, “IOT-BASED SMART BUILDING MANAGEMENT : A DUAL APPROACH TO AUTOMATION AND SAFETY WITH REAL-TIME MONITORING AND ALERTS,” *Spectr. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 597–611, 2025, doi: 10.5281/zenodo.15253910.
- [16] A. W. Mahmoud and M. E. Rana, “IoT Based Energy Management Solution for Smart Green Buildings,” *2022 Int. Conf. Adv. Smart, Secur. Intell. Comput.*, pp. 1–7, 2022, doi:
-

10.1109/ASSIC55218.2022.10
088306.

- [17] R. Eini, L. Linkous, N. Zohrabi, and S. Abdelwahed, "A Testbed for a Smart Building: Design and Implementation," *Innov. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [18] M. Y. Orhan and A. U. Yerden, "Araştırma Makalesi IoT-Based Systems for Energy Efficiency in Smart Buildings: Present , Trends and Sustainability Perspective," *Int. J. Adv. Nat. Sci. Eng. Res.*, vol. 9, no. 12, pp. 130–136, 2025.