Jurnal Sifo Mikroskil (JSM)
Volume 27, No 2, Oktober 2026 – Hal 267 - 286
DOI: https://doi.org/10.55601/jsm.v27i2.2001

e-ISSN: 2622-8130
ISSN: 1412-0100

Analisis Potensi IoT dalam *Smart Home* untuk Efisiensi Energi dan Biaya Listrik

Carita Angel Samudra Tjoatja[1], Justin Wisely[2], Therania[3], Segar Napitupulu[4]
[1,2,3,4]Universitas Mikroskil, Jl. Thamrin No. 124, 061-4573767
[1,2,3,4]Fakultas Informatika, Teknik Informatika, Universitas Mikroskil, Medan
e-mail: [1]carita.angel@students.mikroskil.ac.id, [2]justin.wisely@students.mikroskil.ac.id,
[3]therania@students.mikroskil.ac.id, [4]segar.napitupulu@mikroskil.ac.id

Dikirim: ***21-03-2026*** | *Diterima:* ***19-10-2026*** | *Diterbitkan:* ***31-10-2026***

Abstrak

Sektor rumah tangga menyerap 42,59% energi listrik yang terjual PLN pada tahun 2024 sehingga efisiensi di sektor ini berdampak langsung pada pengeluaran keluarga. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi perangkat *Internet of Things* (IoT) untuk efisiensi energi rumah tangga, menguraikan cara kerjanya, mengestimasi potensi penghematan biaya listrik, dan memetakan kendala implementasinya di Indonesia. Metode yang digunakan adalah tinjauan literatur naratif-integratif terhadap publikasi tahun 2021–2026 dan data resmi, dilengkapi simulasi energi–biaya dua profil rumah tangga, analisis sensitivitas, dan analisis balik modal. Hasil kajian menunjukkan bahwa *smart plug*, *smart lighting*, *smart thermostat*/pengendali AC, dan *energy monitoring device* menghemat energi melalui pemutusan daya siaga, pengendalian berbasis kehadiran, dan umpan balik konsumsi; literatur melaporkan hasil yang beragam, dari tidak signifikan hingga lebih dari 38%, bergantung pada konteks penerapan. Simulasi menghasilkan penghematan bersih 0,19–6,80% (Rp325–Rp11.761/bulan) pada rumah 1.300 VA tanpa AC dan 4,88–15,44% (Rp22.288–Rp70.481/bulan) pada rumah 2.200 VA ber-AC. Faktor penghematan AC dan daya siaga perangkat IoT paling menentukan hasil. Kendala utama meliputi pemerataan jaringan, biaya awal, keamanan data, interoperabilitas, dan literasi digital. IoT paling layak diterapkan secara selektif pada beban berdaya besar.

Kata kunci: *Internet of Things*, *smart home*, efisiensi energi, *smart plug*, biaya listrik

Abstract

Households consumed 42.59% of the electricity sold by PLN in 2024, so efficiency in this sector directly affects family expenditure. This study aims to identify Internet of Things (IoT) devices for household energy efficiency, explain how they work, estimate potential electricity cost savings, and map implementation barriers in Indonesia. The method is a narrative-integrative literature review of 2021–2026 publications and official data, complemented by an energy–cost simulation of two household profiles, a sensitivity analysis, and a payback analysis. The results show that smart plugs, smart lighting, smart thermostats/air-conditioner controllers, and energy monitoring devices save energy by cutting standby power, applying occupancy-based control, and providing consumption feedback; the literature reports mixed results, ranging from no significant savings to over 38%, depending on the context. The simulation yields net savings of 0.19–6.80% (IDR 325–11,761/month) for a 1,300 VA household without air conditioning and 4.88–15.44% (IDR 22,288–70,481/month) for a 2,200 VA household with air conditioning. The air-conditioner savings factor and the standby power of IoT devices are the most influential parameters. The main barriers are uneven network coverage, upfront cost, data security, interoperability, and digital literacy. IoT is most feasible when applied selectively to high-power loads.

Keywords: *Internet of Things, smart home, energy efficiency, smart plug, electricity cost*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mengubah pola penggunaan energi di sektor rumah tangga. Aktivitas belajar, bekerja, dan hiburan kini bergantung pada perangkat elektronik yang membutuhkan pasokan listrik secara terus-menerus [1]. Statistik PLN 2024 mencatat bahwa dari total energi terjual sebesar 306.219,42 GWh, sebanyak 130.433,10 GWh atau 42,59% dikonsumsi oleh sekitar 84,66 juta pelanggan rumah tangga [2]. Dengan porsi sebesar itu, efisiensi pada tingkat rumah tangga tidak hanya menekan pengeluaran keluarga, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi energi nasional. Sumber pemborosan yang umum dijumpai adalah lampu yang menyala di ruangan kosong, pendingin ruangan (AC) yang beroperasi tanpa penghuni, *rice cooker* yang dibiarkan dalam mode hangat selama berjam-jam, serta peralatan yang dibiarkan dalam mode siaga [3].

Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi melalui integrasi sensor, aktuator, pengendali, dan jaringan komunikasi sehingga peralatan dapat dipantau dan dikendalikan secara otomatis maupun jarak jauh [4,5]. Penelitian terdahulu melaporkan potensi penghematan yang beragam: simulasi bangunan di Inggris menunjukkan penurunan konsumsi energi tahunan lebih dari 38% melalui *smart* HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*) dan *smart lighting* [6]; arsitektur IoT berbasis *fog computing* pada rumah nyata menghemat hingga 36% [7]; dan prototipe di Indonesia melaporkan penurunan konsumsi 10–15% secara keseluruhan serta 20–30% pada lampu dan AC [8], bahkan hingga 30% pada sistem sederhana berbasis sensor suhu, *smart plug*, dan *timer* [9]. Sebaliknya, eksperimen lapangan berskala besar menemukan bahwa *smart thermostat* tidak menghasilkan penghematan signifikan karena pengguna sering mengubah pengaturan otomatis [10].

Meskipun demikian, kajian yang sekaligus menghubungkan mekanisme kerja perangkat, estimasi biaya berdasarkan tarif resmi PLN dan profil beban rumah tangga Indonesia, serta kendala implementasinya masih terbatas; perbandingan rinci dengan kajian sejenis diuraikan pada Bagian 2.4.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini, yang selanjutnya disebut RQ1–RQ4 (*research question*), adalah: (1) perangkat IoT apa saja yang umum digunakan dalam *smart home* untuk mengendalikan konsumsi listrik; (2) bagaimana cara kerja perangkat IoT seperti *smart plug*, *smart lighting*, *smart thermostat*, dan *energy monitoring device* dalam menghemat energi listrik; (3) seberapa besar potensi penghematan energi dan biaya listrik yang dapat dicapai rumah tangga di Indonesia; serta (4) apa saja kendala implementasi IoT di lingkungan rumah tangga Indonesia. Sejalan dengan itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi perangkat tersebut, menguraikan mekanisme kerjanya secara rinci, mengestimasi potensi penghematan energi dan biaya melalui model perhitungan yang transparan, serta mengevaluasi kendala implementasinya. Kontribusi penelitian ini adalah matriks sintesis literatur 2021–2026, uraian mekanisme kerja perangkat dari penginderaan hingga aksi, model simulasi energi–biaya yang disertai analisis sensitivitas dan balik modal, serta pemetaan kendala beserta strategi mitigasi yang realistis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat fisik yang terhubung secara kabel maupun nirkabel dan memanfaatkan sensor, aktuator, serta komponen pendukung lain untuk saling bertukar data tanpa campur tangan langsung manusia [4]. Arsitektur IoT umumnya dijelaskan dalam empat lapisan, yaitu lapisan persepsi (sensor dan aktuator), lapisan jaringan (*gateway* dan protokol komunikasi), lapisan pendukung (layanan *cloud* untuk penyimpanan dan analisis data), dan lapisan aplikasi yang menyajikan layanan kepada pengguna [4]. Cara kerjanya meliputi empat tahap: pengumpulan data oleh sensor, pengiriman data melalui jaringan seperti Wi-Fi, *Bluetooth*, atau ZigBee, pemrosesan data secara lokal maupun di *cloud*, dan aksi otomatis oleh aktuator, misalnya memutus aliran listrik atau mematikan lampu [4,11].

2.2 Konsep *Smart Home*

Smart home adalah hunian yang memanfaatkan IoT untuk menghubungkan perangkat rumah tangga sehingga dapat dikendalikan secara otomatis maupun jarak jauh demi kenyamanan, efisiensi energi, dan keamanan penghuni [5]. Sistem ini terdiri atas empat subsistem utama, yaitu pencahayaan pintar, pengaturan suhu (HVAC), keamanan, dan kontrol peralatan, yang diintegrasikan melalui protokol ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, atau *Bluetooth* [5]. Perkembangan terbaru mengarah pada pemanfaatan kecerdasan buatan, misalnya *Human Activity Recognition* (HAR) berbasis sensor dan *deep learning* untuk mengenali aktivitas penghuni [12], prediksi konsumsi energi dari data sensor [13], serta manajemen energi berbasis *fog computing* yang memproses data di dekat sumbernya [7].

2.3 Perangkat IoT untuk Efisiensi Energi Rumah Tangga

Perangkat yang paling banyak dibahas dalam konteks efisiensi energi rumah tangga adalah *smart thermostat*, *smart lighting*, *energy monitoring device*, dan *smart plug* [8,14]. *Smart thermostat* atau pengendali AC mengatur pendinginan berdasarkan suhu dan kehadiran penghuni [15]; *smart lighting* menyalakan dan mematikan lampu berdasarkan sensor gerak dan cahaya [16]; *energy monitoring device* mengukur dan menyajikan konsumsi listrik secara *real-time* sebagai dasar pengambilan keputusan [17]; sedangkan *smart plug* merupakan stopkontak pintar yang mengukur konsumsi dan memutus atau menyambung aliran listrik sesuai jadwal atau perintah jarak jauh [18,19]. Mekanisme kerja keempat perangkat diuraikan pada Bagian 4.2.

2.4 Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

Kajian sejenis yang telah ada umumnya bersifat deskriptif. Tinjauan sistematis Bernal Pardo dkk. [20] dan tinjauan Chakraborty dkk. [5] memetakan peran IoT secara global tanpa menerjemahkannya ke dalam biaya listrik rumah tangga Indonesia, sedangkan kajian Lesmana dkk. [14] membahas konteks kota berkembang tanpa model perhitungan kuantitatif. Belum terdapat kajian yang sekaligus menguraikan mekanisme kerja perangkat, mengestimasi penghematan berdasarkan tarif resmi PLN dan profil beban rumah tangga Indonesia, menguji kepekaan estimasi tersebut terhadap asumsi, serta memetakan kendala implementasinya. Celah inilah yang menjadi fokus penelitian ini.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur naratif-integratif yang dilengkapi analisis kuantitatif berupa simulasi energi–biaya, analisis sensitivitas, dan analisis balik modal. Tinjauan literatur menjawab RQ1, RQ2, dan RQ4, sedangkan simulasi menerjemahkan temuan literatur ke dalam konteks rumah tangga Indonesia untuk menjawab RQ3. Karena bersifat naratif-integratif dan bukan tinjauan sistematis, seleksi literatur dilakukan secara purposif berdasarkan relevansi terhadap RQ1–RQ4 dengan kriteria yang dinyatakan secara eksplisit pada Bagian 3.3.

3.2 Sumber Data dan Strategi Penelusuran

Data penelitian merupakan data sekunder. Publikasi ilmiah ditelusuri melalui Google Scholar, ScienceDirect, MDPI, SpringerOpen, dan Garuda menggunakan kombinasi kata kunci ("*smart home*" OR "rumah pintar") AND ("*energy efficiency*" OR "efisiensi energi" OR "*energy saving*") AND ("*smart plug*" OR "*smart lighting*" OR "*thermostat*" OR "*occupancy sensor*" OR "*energy monitoring*" OR "*energy feedback*"), serta ("IoT") AND ("tantangan" OR "*challenges*" OR "keamanan") AND ("Indonesia" OR "*smart home*"). Penelusuran awal dilakukan pada Juli 2025 dan diperbarui pada Oktober 2026. Data resmi dan laporan teknis yang digunakan meliputi Statistik PLN 2024 [2], dokumen tarif tenaga listrik [21,22], survei penggunaan peralatan rumah tangga Indonesia [3,23], kajian AC di kawasan tropis [24], survei penetrasi internet APJII [25], statistik Eurostat [26], dan Undang-Undang Pelindungan Data Pribadi [27].

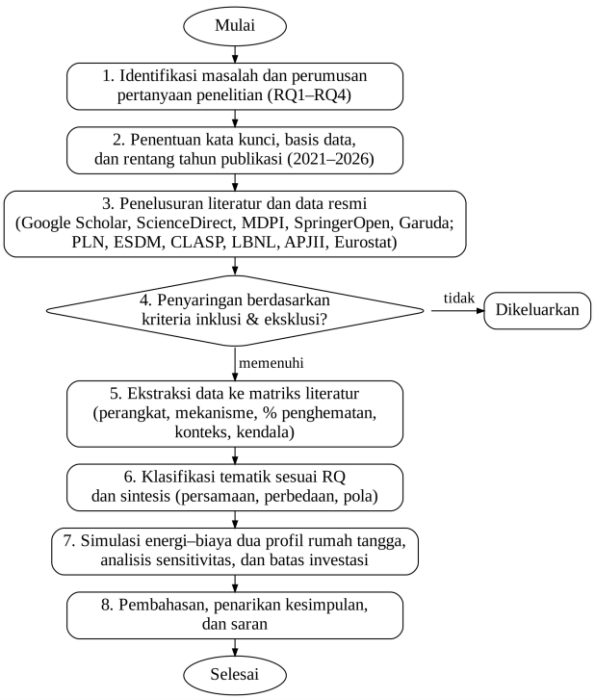
3.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi untuk publikasi ilmiah adalah: (1) terbit pada tahun 2021–2026; (2) membahas IoT, *smart home*, atau efisiensi energi bangunan/rumah tangga; (3) memuat informasi mengenai jenis perangkat, mekanisme kerja, besaran penghematan, atau kendala implementasi; dan (4) memiliki identitas publikasi yang jelas (penulis, judul, penerbit, serta DOI atau URL resmi). Kriteria eksklusi meliputi artikel blog atau situs komersial, publikasi tanpa teks lengkap atau abstrak yang dapat diakses, publikasi duplikat, dan artikel yang ditarik kembali (*retracted*). Pengecualian batas tahun hanya diberikan pada survei CLASP dan Ipsos tahun 2020 [3,23] karena merupakan survei penggunaan akhir peralatan rumah tangga berskala nasional (5.443 rumah tangga di 34 provinsi) terbaru yang tersedia untuk Indonesia; data tersebut hanya digunakan sebagai parameter pola pemakaian, bukan sebagai landasan teori.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dan dijelaskan sebagai berikut.

1. **Identifikasi masalah dan perumusan pertanyaan penelitian.** Permasalahan konsumsi listrik rumah tangga dirumuskan menjadi RQ1–RQ4.
2. **Penentuan kata kunci, basis data, dan rentang tahun** sebagaimana dijelaskan pada Bagian 3.2.
3. **Penelusuran literatur dan data resmi** pada basis data ilmiah dan portal resmi.
4. **Penyaringan.** Judul dan abstrak diperiksa terhadap kriteria inklusi dan eksklusi; teks lengkap dibaca untuk sumber yang lolos.
5. **Ekstraksi data** ke dalam matriks literatur yang memuat judul, penerbit, topik, mekanisme kerja, besaran penghematan, konteks penelitian, dan kendala (Tabel 1).
6. **Klasifikasi dan sintesis.** Informasi dikelompokkan sesuai RQ1–RQ4 dan dibandingkan untuk menemukan persamaan, perbedaan, dan pola temuan.
7. **Pemodelan, simulasi, dan analisis sensitivitas** menggunakan model pada Bagian 3.6.
8. **Pembahasan dan penarikan kesimpulan** untuk menjawab setiap rumusan masalah.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

3.5 Literatur Terpilih

Sebanyak 22 publikasi ilmiah dan laporan teknis terpilih sebagai sumber analisis utama. Ringkasan judul, penerbit, topik, serta hasil dan pembahasannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Literatur Terpilih

No.	Judul Artikel (Tahun)	Penerbit/ Publikasi	Topik	Hasil dan Pembahasan
1	Pengaruh teknologi IoT terhadap efisiensi energi di *smart home* (2025) [1]	JISMDB, PPMI	Prototipe *smart home* ESP32 untuk pengendalian lampu	Prototipe mengendalikan lampu beberapa ruangan melalui antarmuka web; IoT meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan.
2	Internet of Things: Evolution, concerns and security challenges (2021) [4]	*Sensors*, MDPI	Arsitektur dan keamanan IoT	Arsitektur empat lapis IoT dan ancaman tiap lapis; kredensial bawaan dan enkripsi lemah menjadi celah utama.
3	Smart home system: A comprehensive review (2023) [5]	*J. Electr. Comput. Eng.*, Hindawi	Tinjauan sistem *smart home*	Subsistem pencahayaan, HVAC, keamanan, dan kontrol peralatan; protokol ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, dan *Bluetooth*.
4	Investigating energy savings when using IoT devices in buildings: A case study in the UK (2022) [6]	Prosiding EC³	Simulasi IES VE perangkat IoT pada bangunan	Konsumsi energi tahunan turun lebih dari 38% dengan *smart* HVAC dan *smart lighting*; emisi terkandung naik 7%.
5	Energy management of smart homes over fog-based IoT architecture (2023) [7]	*Sustain. Comput. Inform. Syst.*, Elsevier	Manajemen energi berbasis *fog computing*	Model Markov dan algoritme PF-PEC pada rumah nyata menghemat hingga 36% konsumsi harian.
6	Implementasi teknologi IoT dalam pengelolaan penghematan listrik untuk *smart home* (2025) [8]	*Jurnal Pendidikan Tambusai*, Univ. Pahlawan Tuanku Tambusai	Sistem IoT pengelolaan listrik pada rumah simulasi	Konsumsi total turun 10–15%; lampu dan AC 20–30%; bergantung pada koneksi stabil dan edukasi pengguna.
7	Pemanfaatan sistem cerdas berbasis IoT untuk optimalisasi pengelolaan energi di *smart home* (2025) [9]	*Jurnal Sains Student Research*	Sensor suhu, *smart plug*, dan *timer*	Penggunaan energi pada rumah kecil turun hingga 30%; notifikasi meningkatkan kesadaran pengguna.
8	The human perils of scaling smart technologies: Evidence from field experiments (2022) [10]	NBER *Working Paper*	Eksperimen lapangan *smart thermostat*	Tidak ada penghematan signifikan; pengguna mengubah pengaturan otomatis ±1,7 kali per hari.

No.	Judul Artikel (Tahun)	Penerbit/ Publikasi	Topik	Hasil dan Pembahasan
9	Systematic review on the impact of IoT devices on energy efficiency in smart homes (2025) [20]	Prosiding LACCEI	Tinjauan sistematis IoT dan efisiensi energi	Dari 72 artikel Scopus, IoT meningkatkan kemampuan pemantauan dan pengendalian konsumsi energi.
10	Dampak implementasi IoT pada sistem *smart home* untuk efisiensi energi dan keamanan di kota berkembang (2024) [14]	Prosiding SEMNASA, AMIKOM Surakarta	Kajian IoT pada efisiensi energi dan keamanan	Merangkum penghematan lampu bersensor (hingga 30%) dan *thermostat* (±25%); tantangan kompatibilitas, jaringan, biaya, privasi; usulan model sewa.
11	Internet of Things systems and applications for smart buildings (2023) [11]	*Energies*, MDPI	IoT untuk bangunan pintar	*Smart plug* memantau tegangan, arus, daya, energi; tantangan keamanan, interoperabilitas, biaya, keahlian.
12	A survey of human activity recognition in smart homes based on IoT sensors algorithms: Taxonomies, challenges, and opportunities with deep learning (2021) [12]	*Sensors*, MDPI	Pengenalan aktivitas penghuni	Taksonomi, tantangan, dan peluang *deep learning* untuk mengenali aktivitas penghuni.
13	Machine learning-based cost-effective smart home data analysis and forecasting for energy saving (2023) [13]	*Buildings*, MDPI	Prediksi data *smart home*	*Gradient boosting* memberi prediksi terbaik; pengurangan sensor menekan biaya sistem ±13%.
14	Long-term field testing of the accuracy and HVAC energy savings potential of occupancy presence sensors in a single-family home (2025) [15]	*Energy and Buildings*, Elsevier	Uji lapangan 20 bulan kendali HVAC berbasis kehadiran	Hemat 1.958 kWh (17,6%) pada musim pendinginan 2023 dan hingga 35% pada hari tertentu.
15	Evaluation of the reliability of passive infrared (PIR) occupancy sensors for residential indoor lighting (2022) [16]	Laporan teknis, U.S. DOE	Keandalan sensor PIR	Prinsip kerja PIR (lensa Fresnel, elemen piroelektrik, *timer* tunda) dan faktor keandalan deteksi.
16	Interface design for residential energy feedback, in the Indian context (2023) [17]	*Energy Informatics*, SpringerOpen	Umpan balik energi rumah tangga	Umpan balik elektronik dapat menghemat hingga 20% bila mendekati *real-time* dan dapat ditindaklanjuti.

No.	Judul Artikel (Tahun)	Penerbit/ Publikasi	Topik	Hasil dan Pembahasan
17	Design and implementation of an Internet-of-Things-enabled smart meter and smart plug for home-energy-management system (2023) [18]	*Electronics*, MDPI	Rancangan *smart meter* dan *smart plug*	Ukur V_{rms}, I_{rms}, faktor daya, daya aktif; relai via ZigBee; akurasi >99%; tagihan turun >30% pada tarif *time-of-use*.
18	IoT-based smart plug with real-time energy measurement optimization and adaptive current cutoff (2025) [19]	*J. Elektronika dan Telekomunikasi*, BRIN	*Smart plug* PZEM-004T dan ESP8266	Galat arus dan tegangan <±0,5%, daya <±1%; pemutusan otomatis saat arus melebihi 3,1 A.
19	An IoT-based smart plug energy monitoring system (2023) [28]	*IJACSA*, The SAI Organization	Sistem pemantauan energi berbasis *smart plug*	Konsumsi daya *smart plug* komersial bervariasi 0,001–3,5 W per unit.
20	Advances in reducing household electrical and electronic equipment energy consumption in standby mode: A review of emerging strategies, policies, and technologies (2025) [29]	*Energies*, MDPI	Pengurangan konsumsi siaga	Konsumsi siaga dapat mencapai 5–10% konsumsi listrik rumah tangga; batas regulasi siaga 0,5 W.
21	Studi literatur keamanan data dalam sistem *smart home* berbasis IoT (2025) [30]	DEVICE, Univ. Dharmawangsa	Keamanan data *smart home*	Ancaman *sniffing*, *spoofing*, akses tidak sah; mitigasi enkripsi *end-to-end*, autentikasi kuat, pembaruan perangkat lunak.
22	Peluang dan tantangan penerapan IoT dalam sistem informasi manajemen (2024) [31]	*JUSIIK*	Peluang dan tantangan IoT	Tantangan infrastruktur, interoperabilitas, privasi, regulasi, dan edukasi pengguna.

3.6 Model Perhitungan dan Simulasi

Data hasil ekstraksi dianalisis secara tematik sesuai RQ1–RQ4. Untuk RQ3, energi bulanan setiap beban dihitung dengan Persamaan (1) dan energi setelah penerapan IoT dengan Persamaan (2).

$$E_i = \frac{P_i \times t_i \times n}{1000} \quad (1)$$

$$E'_i = E_i \times (1 - s_i) \quad (2)$$

dengan E_i adalah energi bulanan beban ke-i (kWh/bulan), P_i daya beban (W), t_i lama pemakaian (jam/hari), n jumlah hari per bulan (30), dan s_i faktor penghematan perangkat IoT pada beban tersebut. Perangkat IoT juga mengonsumsi daya siaga yang dihitung dengan Persamaan (3), sehingga total konsumsi setelah penerapan IoT dihitung dengan Persamaan (4).

$$E_{oh} = \frac{n_d \times P_d \times 24 \times n}{1000} \quad (3)$$

$$E_{\mathrm{IoT}} = \sum_i E'_i - f \times \sum_{i \in B} E'_i + E_{\mathrm{oh}} \quad (4)$$

dengan n_{d} jumlah perangkat IoT, P_{d} daya siaga per perangkat (W), f faktor penghematan akibat umpan balik *energy monitoring device*, dan B himpunan beban yang dipengaruhi perilaku pengguna (seluruh beban kecuali kulkas yang beroperasi terus-menerus). Penghematan energi, persentase penghematan, penghematan biaya, dan masa balik modal dihitung dengan Persamaan (5)–(8).

$$\Delta E = E_{\mathrm{awal}} - E_{\mathrm{IoT}} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{\mathrm{awal}}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\Delta B = \Delta E \times T \quad (7)$$

$$PP = \frac{I}{12 \times \Delta B} \quad (8)$$

dengan $E_{\mathrm{awal}} = \Sigma E_{\mathrm{i}}$ adalah konsumsi sebelum penerapan IoT (kWh/bulan), ΔE penghematan energi (kWh/bulan), η persentase penghematan (%), ΔB penghematan biaya (Rp/bulan), T tarif tenaga listrik (Rp/kWh), PP masa balik modal (tahun), dan I biaya investasi perangkat (Rp). Karena harga perangkat bervariasi antarmerek dan waktu, kelayakan investasi dinyatakan sebagai investasi maksimum yang kembali dalam N tahun, yaitu $I_{\mathrm{maks}} = 12 \times N \times \Delta B$.

Simulasi menggunakan dua profil. Profil A mewakili rumah tangga golongan R-1/TR 1.300 VA tanpa AC, sesuai temuan bahwa hanya 5% rumah tangga Indonesia memiliki AC [3], dengan konsumsi yang mendekati rata-rata nasional. Profil B mewakili rumah tangga perkotaan golongan R-1/TR 2.200 VA dengan satu unit AC. Kedua golongan dikenai tarif Rp1.444,70/kWh yang berlaku pada tahun 2026 [21,22]. Golongan 900 VA tidak disimulasikan secara terpisah karena sebagian pelanggannya menerima tarif bersubsidi; persentase penghematan pada Profil A tetap berlaku bagi golongan tersebut, sedangkan nilai rupiahnya akan lebih kecil sebanding dengan tarif yang dikenakan. Parameter pemakaian diambil dari sumber berikut: rata-rata 5,4 titik lampu per rumah, 1,3 unit kipas angin yang beroperasi 6,4 jam/hari, AC yang beroperasi sekitar 8 jam/hari, dan *rice cooker* yang berada dalam mode hangat 6,4 jam/hari [3]; daya masak *rice cooker* 300–450 W [23]; serta AC 1 PK berkapasitas pendinginan 2,6 kW dengan *energy efficiency ratio* (EER) 3,3 sehingga daya masuknya sekitar 788 W [24]. Parameter yang tidak tersedia dalam sumber resmi ditetapkan sebagai nilai nominal dan diuji melalui analisis sensitivitas.

Faktor penghematan disusun dengan aturan yang seragam: skenario optimis menggunakan batas bawah nilai yang dilaporkan literatur, sedangkan skenario konservatif menggunakan setengahnya untuk mengantisipasi pengguna yang mengubah pengaturan otomatis [10]. Dengan aturan tersebut, *smart lighting* menggunakan 20% dan 10% [8], dengan catatan bahwa nilai 20% berasal dari pengujian pada rumah simulasi tanpa keterangan durasi pengujian; pengendali AC menggunakan 17,6% dan 8,8% [15]; pemutusan siaga oleh *smart plug* menggunakan 100% dan 50% dari energi siaga; serta penjadwalan mode hangat *rice cooker* menggunakan 50% dan 25%. Faktor umpan balik f ditetapkan 5% pada skenario optimis, yaitu seperempat dari batas atas 20% yang dilaporkan [17], dan 0% pada skenario konservatif. Daya siaga perangkat IoT ditetapkan 1 W per perangkat, berada dalam rentang 0,001–3,5 W pada *smart plug* komersial [28]; Profil A menggunakan 6 perangkat (2 *smart plug*, 3 modul *smart lighting*, 1 *energy monitor*) dan Profil B 9 perangkat (2 *smart plug*, 5 modul *smart lighting*, 1 pengendali AC, 1 *energy monitor*). Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah satu parameter dalam satu waktu (*one-at-a-time*) pada skenario konservatif Profil B.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Perangkat IoT yang Umum Digunakan dalam *Smart Home* (RQ1)

Sintesis literatur pada Tabel 1 menunjukkan empat kelompok perangkat IoT yang paling sering digunakan untuk mengendalikan konsumsi listrik rumah tangga, yaitu *smart plug*, *smart lighting*, *smart thermostat*/pengendali AC, dan *energy monitoring device*. Komponen utama, logika kendali, dan sumber penghematan setiap perangkat dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi Perangkat IoT untuk Efisiensi Energi Rumah Tangga

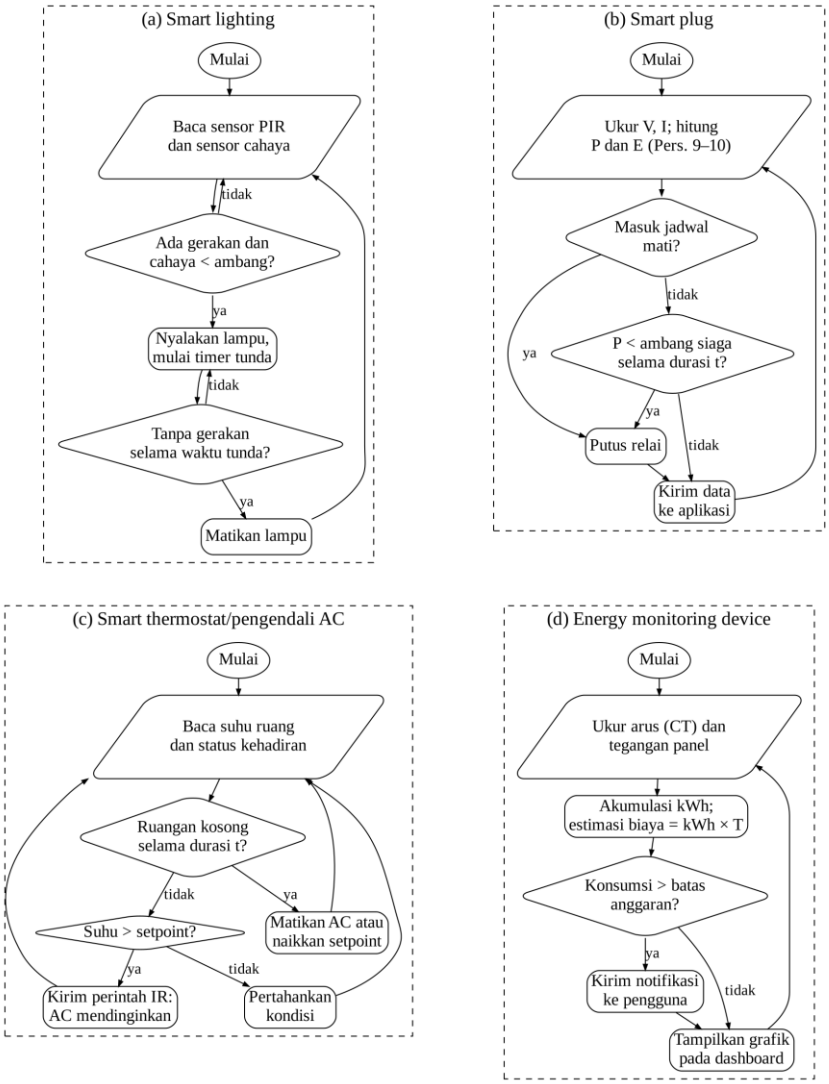
Perangkat	Komponen Utama	Logika Kendali	Sumber Penghematan
Smart plug [18,19]	Relai, modul pengukur arus-tegangan (mis. PZEM-004T), mikrokontroler, modul Wi-Fi/ZigBee	Jadwal on/off, perintah jarak jauh, pemutusan otomatis saat daya berada pada level siaga	Menghilangkan konsumsi siaga dan operasi peralatan yang terlupa
Smart lighting [8,16]	Sensor gerak PIR (*passive infrared*), sensor cahaya (LDR/*light dependent resistor* atau fotosensor), *driver* atau relai lampu	Lampu menyala jika ada gerakan dan cahaya kurang; padam setelah waktu tunda tanpa gerakan	Mengurangi jam nyala lampu di ruang kosong
Smart thermostat/ pengendali AC [14,15]	Sensor suhu-kelembapan, sensor kehadiran, pemancar inframerah (IR) atau modul Wi-Fi AC	Mempertahankan *setpoint*; mematikan AC atau menaikkan *setpoint* saat ruangan kosong	Mengurangi jam operasi kompresor AC
Energy monitoring device [7,17]	Sensor arus (CT) atau *smart meter*, mikrokontroler, aplikasi/*dashboard*	Mengakumulasi kWh, menampilkan tren dan estimasi biaya, mengirim notifikasi	Perubahan perilaku dan data untuk penjadwalan otomatis

Keempat perangkat bekerja pada titik intervensi yang berbeda: *smart plug* dan *smart lighting* pada tingkat peralatan, pengendali AC pada beban pendinginan, dan *energy monitoring device* pada tingkat informasi dan perilaku. Oleh karena itu, kombinasi perangkat lebih efektif daripada satu jenis perangkat saja.

4.2 Analisis Cara Kerja Perangkat IoT dalam Menghemat Energi (RQ2)

Setiap perangkat mengikuti siklus IoT yang sama, yaitu penginderaan, pengiriman data, pengambilan keputusan, dan aksi; perbedaannya terletak pada besaran yang diukur dan aturan kendalinya. Alur logika keempat perangkat ditunjukkan pada Gambar 2. Ambang cahaya, waktu tunda, ambang daya siaga, durasi ruangan kosong, *setpoint* suhu, dan batas anggaran pada gambar tersebut merupakan parameter yang diatur pengguna melalui aplikasi.

2622-8130 Jurnal Sifo Mikroskil (JSM) - Volume 27, No 2, Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.55601/jsm.v27i2.2001



Gambar 2. Alur Logika Perangkat IoT: (a) *Smart Lighting*, (b) *Smart Plug*, (c) *Smart Thermostat*/Pengendali AC, dan (d) *Energy Monitoring Device*

4.2.1 Cara Kerja *Smart Plug*

Smart plug dipasang di antara stopkontak dan peralatan. Di dalamnya terdapat relai sebagai sakelar elektronik, modul pengukur arus dan tegangan, mikrokontroler, dan modul komunikasi nirkabel [18,19]. Mikrokontroler mencuplik arus dan tegangan secara berkala, menghitung nilai efektif (*rms*), lalu menghitung daya aktif dengan Persamaan (9) dan mengakumulasikannya menjadi energi dengan Persamaan (10) [18].

$$P = V_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}} \times \cos\varphi \tag{9}$$

$$E = \frac{\sum_k P_k \times \Delta t_k}{1000} \tag{10}$$

dengan P adalah daya aktif (W), V_{rms} dan I_{rms} tegangan dan arus efektif, cos φ faktor daya, E energi tercatat (kWh), dan Δt_k selang pencuplikan ke-k (jam). Purwarupa berbasis PZEM-004T dan ESP8266 mencapai galat pengukuran arus dan tegangan di bawah ±0,5% serta daya di bawah ±1% [19], sedangkan purwarupa lain melaporkan akurasi di atas 99% [18].

Penghematan terjadi melalui tiga mekanisme. Pertama, penjadwalan: relai diputus pada jam tertentu, misalnya untuk membatasi mode hangat *rice cooker*. Kedua, deteksi siaga: jika daya terukur

berada di bawah ambang siaga selama durasi tertentu, relai diputus. Mekanisme ini relevan karena konsumsi siaga dapat mencapai 5–10% konsumsi listrik rumah tangga [29]. Ketiga, kendali jarak jauh untuk mematikan peralatan yang terlupa. Namun, *smart plug* juga mengonsumsi daya untuk dirinya sendiri, yaitu 0,001–3,5 W per unit pada produk komersial [28], sehingga pemilihan perangkat berdaya siaga rendah menjadi penting. Penurunan tagihan lebih dari 30% yang dilaporkan Ben Dhaou [18] diperoleh pada skenario tarif *time-of-use*; karena tarif rumah tangga golongan R-1 berlaku sebagai tarif tunggal per kWh [21], manfaat *smart plug* di Indonesia terutama berasal dari pengurangan kWh, bukan dari pergeseran waktu pemakaian.

4.2.2 Cara Kerja *Smart Lighting*

Smart lighting menggabungkan sensor gerak *passive infrared* (PIR) dan sensor cahaya. Sensor PIR menggunakan lensa Fresnel yang membagi ruangan menjadi beberapa zona deteksi; panas tubuh yang bergerak antarzona difokuskan ke elemen piroelektrik sehingga menghasilkan sinyal. Saat gerakan terdeteksi, *timer* internal dimulai dan lampu tetap menyala sampai tidak ada gerakan selama waktu tunda, kemudian lampu dipadamkan [16]. Sensor cahaya mencegah lampu menyala ketika cahaya alami mencukupi. Karena PIR kurang peka terhadap penghuni yang diam, waktu tunda perlu diatur agar lampu tidak padam saat ruangan masih digunakan [16]. Pada rumah simulasi di Indonesia, penerapan pengendalian lampu dan AC berbasis IoT menghasilkan efisiensi 20–30% pada kedua beban tersebut [8].

4.2.3 Cara Kerja *Energy Monitoring Device*

Energy monitoring device dipasang pada panel listrik utama menggunakan sensor arus jenis *current transformer* (CT) atau terintegrasi pada *smart meter* dan *smart plug*. Perangkat menghitung daya dan energi dengan prinsip Persamaan (9) dan (10), lalu mengirim data ke *cloud* atau server lokal untuk ditampilkan sebagai grafik harian, perbandingan antarperiode, dan estimasi biaya (kWh × tarif). Perangkat ini tidak memutus beban secara langsung, tetapi menghemat energi melalui perubahan perilaku: pengguna mengetahui peralatan yang paling boros, menerima notifikasi ketika konsumsi melampaui batas anggaran, dan menyesuaikan kebiasaannya. Umpan balik elektronik dilaporkan dapat menghemat energi hingga 20% bila disajikan mendekati *real-time* dan dapat ditindaklanjuti [17]. Data historisnya juga menjadi masukan bagi model prediksi konsumsi [13] dan algoritme penjadwalan otomatis [7].

4.2.4 Cara Kerja *Smart Thermostat* dan Pengendali AC

Pada rumah tangga yang menggunakan AC ruangan tipe *split*, fungsi *smart thermostat* dijalankan oleh pengendali AC pintar yang mengirim perintah inframerah ke unit AC atau oleh AC yang telah dilengkapi modul Wi-Fi. Perangkat membaca suhu ruangan dan status kehadiran penghuni, kemudian mematikan AC atau menaikkan *setpoint* ketika ruangan kosong selama durasi tertentu dan mengembalikannya saat penghuni hadir. Uji lapangan selama 20 bulan pada rumah tinggal menunjukkan bahwa kendali berbasis kehadiran menghemat 1.958 kWh atau 17,6% konsumsi HVAC pada musim pendinginan [15]. Namun, efektivitasnya dipengaruhi perilaku pengguna; eksperimen lapangan yang dilaporkan dalam kertas kerja NBER menemukan bahwa pengguna rata-rata mengubah pengaturan otomatis sekitar 1,7 kali per hari sehingga penghematan yang diprediksi tidak tercapai [10].

4.3 Potensi Penghematan Energi dan Biaya Listrik (RQ3)

4.3.1 Sintesis Temuan Literatur

Besaran penghematan yang dilaporkan literatur dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Potensi Penghematan Energi Perangkat IoT Berdasarkan Literatur

Perangkat/Sistem	Konteks Penelitian	Hasil Penghematan	Sumber
Smart HVAC + *smart lighting*	Simulasi bangunan di Inggris (perangkat lunak IES VE)	Konsumsi tahunan turun >38%	Onuh dkk. [6]
Manajemen energi berbasis *fog*	Implementasi pada rumah nyata	Hingga 36% konsumsi harian	Umair dkk. [7]
Kendali HVAC berbasis kehadiran	Uji lapangan 20 bulan, rumah tinggal	17,6% (musim pendinginan); hingga 35% per hari	Pang dkk. [15]
Smart plug + *smart meter*	Purwarupa *home energy management system* (HEMS), tarif *time-of-use*	Tagihan harian turun >30%	Ben Dhaou [18]
Umpan balik energi	Kajian antarmuka umpan balik rumah tangga	Hingga 20%	Garg dkk. [17]
Pengendalian lampu dan AC	Rumah simulasi di Indonesia	Total 10–15%; lampu dan AC 20–30%	Saputra dkk. [8]
Sensor suhu, *smart plug*, *timer*	Rumah kecil di Indonesia	Hingga 30%	Barokah dan Sutabri [9]
Smart thermostat	Eksperimen lapangan skala besar	Tidak signifikan akibat *override* pengguna	Brandon dkk. [10]

Tabel 3 menunjukkan rentang hasil yang lebar. Nilai tertinggi berasal dari simulasi atau kondisi tertentu, sedangkan uji lapangan jangka panjang menghasilkan nilai yang lebih moderat. Karakteristik konsumsi juga berbeda antarwilayah: di Uni Eropa, 61,5% konsumsi energi rumah tangga tahun 2024 digunakan untuk pemanas ruangan dan hanya 0,8% untuk pendinginan [26], sedangkan rumah tangga Indonesia tidak memerlukan pemanas ruangan dan konsumsinya didominasi pendinginan, pencahayaan, dan peralatan elektronik [3]. Hasil Onuh dkk. [6] berasal dari bangunan di Inggris dan hasil Pang dkk. [15] dari sistem HVAC rumah di Amerika Serikat, sehingga kedua nilai tersebut tidak dapat dialihkan langsung ke AC *split* di Indonesia. Oleh karena itu, simulasi pada penelitian ini memakai batas bawah nilai literatur dan menguji kepekaannya.

4.3.2 Hasil Simulasi pada Dua Profil Rumah Tangga Indonesia

Parameter dan konsumsi awal setiap beban disajikan pada Tabel 4. Sebagai contoh, energi bulanan AC pada Profil B dihitung dengan Persamaan (1) sebagai $E = 788 \times 8 \times 30/1.000 = 189{,}12$ kWh/bulan; dengan faktor penghematan konservatif 8,8%, Persamaan (2) menghasilkan $E' = 189{,}12 \times (1 - 0{,}088) = 172{,}48$ kWh/bulan.

Tabel 4. Parameter Simulasi dan Konsumsi Awal per Beban

Beban	P (W)	t (jam/ hari)	Dasar Parameter	Eawal A (kWh/ bln)	Eawal B (kWh/ bln)	Perangkat IoT	s kons./ opt. (%)
Lampu LED (A: 5, B: 8 titik)	10/titik	8	Jumlah titik [3]; daya & jam nominal	12,00	19,20	*Smart lighting*	10 / 20
AC 1 PK (Profil B)	788	8	Daya [24]; jam [3]	–	189,12	Pengendali AC	8,8 / 17,6
Kipas angin (1,3 unit)	58,5	6,4	Jumlah & jam [3]; 45 W/unit nominal	11,23	11,23	–	0 / 0
TV (aktif)	80	5	Nominal	12,00	12,00	–	0 / 0
TV + *set-top box* (siaga)	5	19	Nominal	2,85	2,85	*Smart plug*	50 / 100
Rice cooker (memasak)	400	0,5	Daya [23]; jam nominal	6,00	6,00	–	0 / 0
Rice cooker (mode hangat)	40	6,4	Jam [3]; daya nominal	7,68	7,68	*Smart plug*	25 / 50
Kulkas	60	24	Nominal (daya rata-rata)	43,20	43,20	–	0 / 0
Pompa air	250	1	Nominal	7,50	7,50	–	0 / 0
Setrika	350	0,5	Nominal	5,25	5,25	–	0 / 0
Peralatan lain (laptop, pengisi daya)	100	4	Nominal	12,00	12,00	–	0 / 0
Jumlah				**119,71**	**316,03**		

Konsumsi Profil A sebesar 119,71 kWh/bulan mendekati rata-rata konsumsi pelanggan rumah tangga nasional, yaitu 128,4 kWh/bulan yang dihitung dari energi terjual dan jumlah pelanggan rumah tangga pada Statistik PLN 2024 [2]. Hasil perhitungan Persamaan (3)–(8) untuk kedua profil disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan Hasil Simulasi Energi, Biaya, dan Batas Investasi

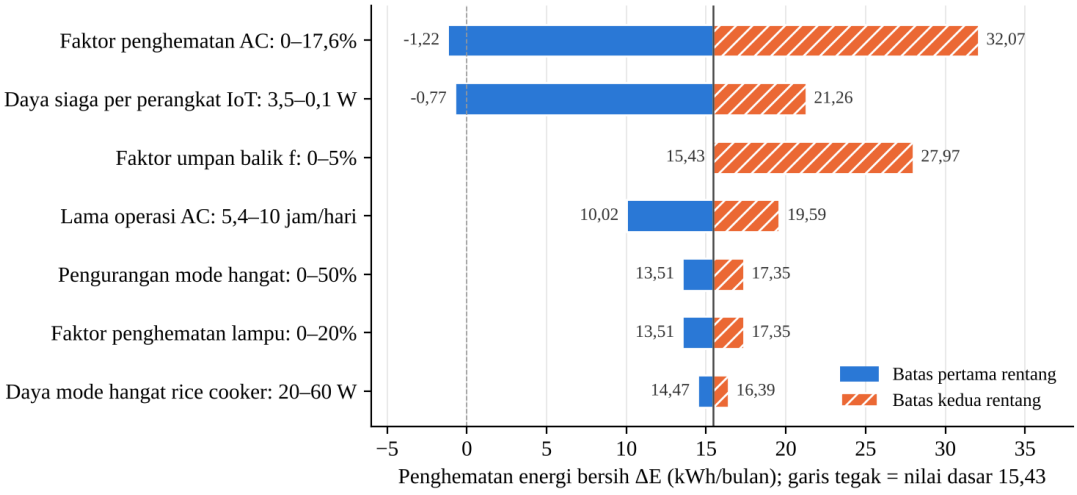
Komponen	A Konservatif	A Optimis	B Konservatif	B Optimis
Konsumsi awal, E_{awal} (kWh/bulan)	119,71	119,71	316,03	316,03
Setelah kendali perangkat, $\Sigma E'_i$ (kWh/bulan)	115,17	110,62	294,12	272,22
Pengurangan umpan balik, $f \times \Sigma E'_{i\in B}$ (kWh/bulan)	0,00	3,37	0,00	11,45
Konsumsi siaga perangkat IoT, E_{oh} (kWh/bulan)	4,32	4,32	6,48	6,48
Konsumsi setelah IoT, E_{IoT} (kWh/bulan)	119,49	111,57	300,60	267,25
Penghematan bersih, ΔE (kWh/bulan)	0,23	8,14	15,43	48,79
Persentase penghematan, η (%)	0,19	6,80	4,88	15,44
Tagihan awal (Rp/bulan)	172.948	172.948	456.571	456.571
Tagihan setelah IoT (Rp/bulan)	172.623	161.186	434.283	386.090
Penghematan biaya, ΔB (Rp/bulan)	**325**	**11.761**	**22.288**	**70.481**
Penghematan biaya per tahun (Rp)	3.901	141.137	267.458	845.773

Komponen	A Konservatif	A Optimis	B Konservatif	B Optimis
I_{maks} untuk $N = 2$ tahun (Rp)	7.801	282.275	534.917	1.691.546
I_{maks} untuk $N = 3$ tahun (Rp)	11.702	423.412	802.375	2.537.319

Catatan: perhitungan dilakukan tanpa pembulatan antara sehingga selisih 0,01 dapat muncul akibat pembulatan tampilan; tagihan belum termasuk Pajak Penerangan Jalan (PPJ) dan biaya lain; penghematan tahunan mengasumsikan pola pemakaian yang sama sepanjang tahun.

Tabel 5 menunjukkan perbedaan yang tajam antara kedua profil. Pada Profil B, penerapan IoT menghasilkan penghematan bersih 15,43–48,79 kWh/bulan atau 4,88–15,44%, setara Rp22.288–Rp70.481 per bulan. Pengendalian AC menyumbang 16,64–33,29 kWh atau sekitar 76% dari penghematan akibat kendali perangkat. Sebaliknya, pada Profil A yang tidak memiliki AC, penghematan bersih hanya 0,23–8,14 kWh/bulan atau 0,19–6,80%, karena konsumsi siaga perangkat IoT sebesar 4,32 kWh/bulan hampir menghapus penghematan kotor 4,55 kWh pada skenario konservatif. Dari sisi investasi, perangkat untuk Profil B layak bila total harganya tidak melebihi sekitar Rp535 ribu (konservatif) hingga Rp1,69 juta (optimis) agar kembali modal dalam dua tahun, sedangkan pada Profil A batas tersebut hanya Rp7.801–Rp282.275. Dengan demikian, IoT layak secara ekonomi terutama bagi rumah tangga dengan beban besar seperti AC, sedangkan rumah tangga berkonsumsi rendah sebaiknya hanya memasang perangkat secara selektif, misalnya *smart plug* pada *rice cooker*.

Hasil analisis sensitivitas pada skenario konservatif Profil B ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sensitivitas Penghematan Energi Bersih terhadap Parameter Simulasi (Profil B, Skenario Konservatif)

Gambar 3 menunjukkan bahwa faktor penghematan AC merupakan parameter paling berpengaruh: tanpa penghematan AC, penghematan bersih menjadi negatif (−1,22 kWh/bulan), sedangkan pada nilai uji lapangan 17,6% meningkat menjadi 32,07 kWh/bulan. Parameter kedua adalah daya siaga perangkat IoT; jika setiap perangkat mengonsumsi 3,5 W, yaitu batas atas produk komersial [28], penghematan bersih juga menjadi negatif (−0,77 kWh/bulan), sedangkan pada 0,1 W meningkat menjadi 21,26 kWh/bulan. Umpan balik energi dan lama operasi AC berpengaruh sedang, sedangkan parameter lampu dan *rice cooker* berpengaruh kecil. Temuan ini menegaskan bahwa kesimpulan penelitian tidak bergantung pada asumsi nominal yang ditetapkan: arah hasil hanya berubah apabila AC tidak dikendalikan secara efektif atau apabila dipilih perangkat IoT berdaya siaga tinggi.

4.4 Kendala Implementasi IoT di Rumah Tangga Indonesia (RQ4)

Hasil sintesis mengidentifikasi enam kendala utama. Setiap kendala, data pendukung, dampaknya terhadap efisiensi energi, dan strategi mitigasinya dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Kendala Implementasi IoT pada Rumah Tangga Indonesia dan Strategi Mitigasinya

Kendala	Data/Temuan Pendukung	Dampak terhadap Efisiensi	Strategi Mitigasi
Pemerataan jaringan internet	Penetrasi internet 2025 sebesar 80,66%; Jawa 85%, Papua dan Maluku 69,26% [25]	Otomatisasi berbasis *cloud* terhenti saat koneksi terputus [8]	Memilih perangkat yang mendukung kendali lokal melalui *hub* atau otomatisasi di perangkat [5,18]
Biaya awal dan konsumsi siaga perangkat	Biaya perangkat membatasi adopsi [11,14]; daya siaga *smart plug* 0,001–3,5 W [28]	Penghematan bersih dapat mendekati nol atau negatif (Tabel 5, Gambar 3)	Penerapan bertahap pada beban terbesar; memilih perangkat berdaya siaga rendah; model sewa atau *pay-per-use* [14]
Keamanan dan privasi data	Ancaman *sniffing*, *spoofing*, akses tidak sah [30]; kredensial bawaan dan enkripsi lemah [4]	Pengguna enggan mengadopsi atau menonaktifkan fitur otomatis	Mengganti kata sandi bawaan, memperbarui *firmware*, enkripsi *end-to-end* [30]; kepatuhan pada UU PDP [27]
Interoperabilitas dan standar	Produsen berbeda memakai protokol dan standar berbeda [11,31]	Otomatisasi lintas perangkat sulit dilakukan	Memilih satu ekosistem atau protokol terbuka sejak awal (Tabel 7)
Literasi digital dan perilaku pengguna	Pemasangan memerlukan keahlian [11]; pengguna sering mengubah pengaturan otomatis [10]	Penghematan yang diprediksi tidak tercapai	Edukasi pengguna [31]; pengaturan bawaan sederhana dan umpan balik yang dapat ditindaklanjuti [17]
Manajemen data dan etika	Data IoT dalam jumlah besar rentan bocor [11]; perlu persetujuan dan kendali pengguna atas data [31]	Menurunkan kepercayaan dan keberlanjutan penggunaan	Pengolahan data di sisi lokal/*fog* [7]; transparansi dan persetujuan pengguna

Dari sisi regulasi, Indonesia telah memiliki Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi yang mengatur pemrosesan data pribadi, termasuk data yang dikumpulkan perangkat *smart home* [27]. Namun, kerentanan teknis seperti kredensial bawaan, enkripsi lemah, dan perbedaan protokol tetap perlu diatasi pada tingkat perangkat dan pengguna [4,30]. Perbandingan protokol komunikasi yang umum digunakan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Protokol Komunikasi IoT pada *Smart Home*

Aspek	Wi-Fi	ZigBee / Z-Wave	Bluetooth Low Energy (BLE)
Konsumsi daya perangkat	Tinggi	Sangat rendah	Rendah
Jangkauan	Sedang (bergantung *router*)	Luas melalui jaringan *mesh*	Pendek
Kebutuhan *hub*/*gateway*	Tidak perlu	Perlu *hub*/koordinator	Tidak perlu (terbatas jangkauan ponsel)

Aspek	Wi-Fi	ZigBee / Z-Wave	Bluetooth Low Energy (BLE)
Biaya awal	Rendah	Lebih tinggi karena *hub*	Rendah
Ketergantungan internet	Umumnya melalui *cloud*	Dapat berjalan lokal melalui *hub*	Lokal melalui ponsel

Sumber: diolah dari [5,18].

Wi-Fi merupakan pilihan paling terjangkau karena tidak memerlukan *hub*, tetapi umumnya bergantung pada *cloud* sehingga rentan terhadap gangguan koneksi. ZigBee/Z-Wave menawarkan konsumsi daya perangkat yang lebih rendah dan kendali lokal, tetapi memerlukan investasi awal yang lebih tinggi. Pemilihan protokol perlu disesuaikan dengan kualitas koneksi di lokasi rumah dan jumlah perangkat.

4.5 Implikasi Penelitian

Bagi rumah tangga, penerapan IoT sebaiknya dimulai dari AC sebagai beban terbesar, menggunakan perangkat berdaya siaga rendah, dan disertai *energy monitoring* untuk mengukur hasil nyata; rumah tangga tanpa AC cukup memasang *smart plug* secara selektif. Bagi industri dan penyedia perangkat, peluangnya adalah perangkat lokal yang terjangkau, berdaya siaga rendah, mendukung kendali lokal, aman secara bawaan, dan berantarmuka bahasa Indonesia, serta skema sewa atau *pay-per-use* [14]. Bagi institusi pendidikan dan komunitas, peningkatan literasi IoT diperlukan agar pengguna memahami manfaat, cara pengoperasian, dan risiko keamanan. Bagi pemangku kebijakan, dukungan yang realistis adalah penyusunan standar teknis keamanan, interoperabilitas, dan batas daya siaga perangkat IoT konsumen yang selaras dengan UU PDP [27].

5. KESIMPULAN

Perangkat IoT yang umum digunakan dalam *smart home* untuk mengendalikan konsumsi listrik adalah *smart plug*, *smart lighting*, *smart thermostat*/pengendali AC, dan *energy monitoring device* (RQ1). Keempatnya bekerja melalui siklus penginderaan, pengiriman data, pengambilan keputusan, dan aksi: *smart plug* mengukur daya dan memutus beban siaga atau terjadwal melalui relai, *smart lighting* mengendalikan lampu berdasarkan sensor PIR dan sensor cahaya, pengendali AC mengatur pendinginan berdasarkan suhu dan kehadiran penghuni, sedangkan *energy monitoring device* menghemat energi secara tidak langsung melalui umpan balik konsumsi (RQ2).

Literatur melaporkan penghematan 17,6% pada kendali HVAC berbasis kehadiran hingga lebih dari 38% pada kombinasi *smart* HVAC dan *smart lighting* dalam kondisi tertentu, tetapi juga terdapat temuan lapangan tanpa penghematan signifikan akibat perilaku pengguna. Simulasi menghasilkan penghematan bersih 0,19–6,80% (Rp325–Rp11.761/bulan) pada rumah 1.300 VA tanpa AC dan 4,88–15,44% (Rp22.288–Rp70.481/bulan) pada rumah 2.200 VA ber-AC; faktor penghematan AC dan daya siaga perangkat IoT merupakan parameter paling menentukan (RQ3). Kendala implementasi di Indonesia meliputi pemerataan jaringan, biaya awal dan konsumsi siaga perangkat, keamanan dan privasi data, interoperabilitas, literasi digital dan perilaku pengguna, serta manajemen data (RQ4).

Kelebihan penelitian ini adalah keterhubungan sintesis literatur dengan model perhitungan yang transparan, data resmi PLN, survei penggunaan peralatan rumah tangga Indonesia, analisis sensitivitas, dan analisis batas investasi sehingga estimasinya dapat ditelusuri dan diulang. Kekurangannya adalah penggunaan data sekunder, sebagian parameter beban yang ditetapkan sebagai nilai nominal, faktor penghematan yang sebagian berasal dari penelitian di luar Indonesia, analisis sensitivitas satu faktor yang belum menangkap interaksi antarparameter, serta belum adanya pengukuran langsung pada rumah tangga Indonesia. Oleh karena itu, hasil penelitian ini merupakan estimasi potensi yang masih memerlukan validasi lapangan.

6. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan eksperimen lapangan pada rumah tangga di Indonesia dengan golongan daya dan wilayah yang berbeda, menggunakan *energy monitoring device* untuk membandingkan konsumsi sebelum dan sesudah penerapan IoT selama periode yang cukup panjang, sehingga faktor penghematan dalam model ini, khususnya faktor penghematan AC *split* di iklim tropis, dapat divalidasi. Penelitian berikutnya juga perlu mengukur daya siaga aktual perangkat IoT yang beredar di Indonesia, menghitung masa balik modal berdasarkan harga pasar pada saat penelitian, mencakup golongan pelanggan bersubsidi, serta mengkaji perilaku pengguna dalam mempertahankan pengaturan otomatis dan desain umpan balik energi yang sesuai bagi masyarakat Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. M. Alrasyid, R. N. R. Diasri, D. Ulandari, and R. P. Laksana, "Pengaruh teknologi *Internet of Things* (IoT) terhadap efisiensi energi di *smart home*," *Journal of Information Systems Management and Digital Business*, vol. 2, no. 3, pp. 223–230, 2025, doi: 10.70248/jismdb.v2i3.2209.

[2] PT PLN (Persero), *Statistik PLN 2024*, No. 01001-300625, ISSN 0852-8179. Jakarta, Indonesia: PT PLN (Persero), 2025. https://www.pln.co.id/webapi/media/file/webkorp/asset/Statistik2024.pdf (accessed Oct. 9, 2026).

[3] CLASP and Ipsos, "Indonesia residential end use survey: Final report," CLASP, Washington, DC, USA, Jun. 2020. https://www.clasp.ngo/wp-content/uploads/2021/01/Indonesia-Residential-End-Use-Survey.pdf (accessed Oct. 9, 2026).

[4] P. Malhotra, Y. Singh, P. Anand, D. K. Bangotra, P. K. Singh, and W.-C. Hong, "Internet of Things: Evolution, concerns and security challenges," *Sensors*, vol. 21, no. 5, Art. no. 1809, 2021, doi: 10.3390/s21051809.

[5] A. Chakraborty, M. Islam, F. Shahriyar, S. Islam, H. U. Zaman, and M. Hasan, "Smart home system: A comprehensive review," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2023, Art. no. 7616683, 2023, doi: 10.1155/2023/7616683.

[6] A. Onuh, H. Feng, Q. Chen, and B. García de Soto, "Investigating energy savings when using IoT devices in buildings: A case study in the UK," in *Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction (EC³)*, Rhodes, Greece, 2022, doi: 10.35490/EC3.2022.179.

[7] M. Umair, M. A. Cheema, B. Afzal, and G. Shah, "Energy management of smart homes over fog-based IoT architecture," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 39, Art. no. 100898, 2023, doi: 10.1016/j.suscom.2023.100898.

[8] Y. A. Saputra, M. R. Yusuf, and T. Sutabri, "Implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam pengelolaan penghematan listrik untuk *smart home*," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 9, no. 1, pp. 541–547, 2025. https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/24213 (accessed Oct. 9, 2026).

[9] M. R. S. Barokah and T. Sutabri, "Pemanfaatan sistem cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk optimalisasi pengelolaan energi di *smart home*," *Jurnal Sains Student Research*, vol. 3, no. 2, pp. 422–425, 2025, doi: 10.61722/jssr.v3i2.4327.

[10] A. Brandon, C. M. Clapp, J. A. List, R. D. Metcalfe, and M. Price, "The human perils of scaling smart technologies: Evidence from field experiments," National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, USA, Working Paper 30482, 2022, doi: 10.3386/w30482.

[11] J. A. Afonso, V. Monteiro, and J. L. Afonso, "Internet of Things systems and applications for smart buildings," *Energies*, vol. 16, no. 6, Art. no. 2757, 2023, doi: 10.3390/en16062757.

[12] D. Bouchabou, S. M. Nguyen, C. Lohr, B. LeDuc, and I. Kanellos, "A survey of human activity recognition in smart homes based on IoT sensors algorithms: Taxonomies, challenges, and opportunities with deep learning," *Sensors*, vol. 21, no. 18, Art. no. 6037, 2021, doi: 10.3390/s21186037.

[13] S. Park, "Machine learning-based cost-effective smart home data analysis and forecasting for energy saving," *Buildings*, vol. 13, no. 9, Art. no. 2397, 2023, doi: 10.3390/buildings13092397.

[14] S. P. Lesmana, A. P. S. B. Merah, D. Hermawati, and N. Puspitasari, "Dampak implementasi IoT pada sistem *smart home* untuk efisiensi energi dan keamanan di kota berkembang," in *Prosiding Seminar Nasional AMIKOM Surakarta (SEMNASA)*, Sukoharjo, Indonesia, 2024. https://ojs.amikomsolo.ac.id/index.php/semnasa/article/view/552 (accessed Oct. 9, 2026).

[15] Z. Pang *et al.*, "Long-term field testing of the accuracy and HVAC energy savings potential of occupancy presence sensors in a single-family home," *Energy and Buildings*, vol. 328, Art. no. 115161, 2025, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.115161.

[16] J. L. Davis *et al.*, "Evaluation of the reliability of passive infrared (PIR) occupancy sensors for residential indoor lighting," U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA, Rep. DOE/EE-2579, Mar. 2022. https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/ssl-rti_pir-sensors_mar2022.pdf (accessed Oct. 9, 2026).

[17] M. Garg, V. Garg, P. Srivastava, and R. Agarwal, "Interface design for residential energy feedback, in the Indian context," *Energy Informatics*, vol. 6, Art. no. 12, 2023, doi: 10.1186/s42162-023-00267-2.

[18] I. Ben Dhaou, "Design and implementation of an Internet-of-Things-enabled smart meter and smart plug for home-energy-management system," *Electronics*, vol. 12, no. 19, Art. no. 4041, 2023, doi: 10.3390/electronics12194041.

[19] M. Hasanah, D. I. H. Putri, and H. P. Pratama, "IoT-based smart plug with real-time energy measurement optimization and adaptive current cutoff," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 25, no. 1, pp. 46–54, 2025, doi: 10.55981/jet.673.

[20] H. A. Bernal Pardo, O. J. Flores Camacho, and E. J. Garces Rosendo, "Systematic review on the impact of IoT devices on energy efficiency in smart homes," in *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology (LACCEI 2025)*, 2025, doi: 10.18687/LACCEI2025.1.1.445.

[21] PT PLN (Persero), "Penyesuaian tarif: Dokumen penyesuaian tarif kuartal 3 2026," Jakarta, Indonesia, 2026. https://www.pln.co.id/pelanggan-id/tarif-tenaga-listrik-id/penyesuaian-tarif-id (accessed Oct. 9, 2026).

[22] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Jaga stabilitas awal tahun 2026, pemerintah putuskan tarif listrik tidak naik," Siaran Pers, Dec. 31, 2025. https://esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/jaga-stabilitas-awal-tahun-2026-pemerintah-putuskan-tarif-listrik-tidak-naik (accessed Oct. 9, 2026).

[23] CLASP and Ipsos, "Indonesia rice cooker market study and policy analysis: Final report," CLASP, Washington, DC, USA, Jun. 2020. https://www.clasp.ngo/wp-content/uploads/2021/01/Indonesia-Rice-Cooker-Market-Study-and-Policy-Analysis.pdf (accessed Oct. 9, 2026).

[24] W. Y. Park and N. Shah, "Enhancing the energy efficiency of room air conditioners in Malaysia: Opportunities and impact analysis," Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, Rep. LBNL-2001640, Jan. 2025. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/2025-01/malaysia_ac.pdf (accessed Oct. 9, 2026).

[25] Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), "Survei Penetrasi Internet dan Perilaku Penggunaan Internet 2025," Jakarta, Indonesia: APJII, 2025. https://survei.apjii.or.id (accessed Oct. 9, 2026).

[26] Eurostat, "Energy consumption in households," *Statistics Explained*, Luxembourg: European Commission, 2026. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households (accessed Oct. 9, 2026).
[27] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi*. Jakarta, Indonesia: Sekretariat Negara, 2022.
[28] L. Albraheem, H. Alajlan, N. Aljenedal, L. Abo Alkhair, and S. Bin Gwead, "An IoT-based smart plug energy monitoring system," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 14, no. 10, pp. 353–362, 2023, doi: 10.14569/IJACSA.2023.0141038.
[29] A. C. Gheorghe, H. Andrei, E. Diaconu, and P. C. Andrei, "Advances in reducing household electrical and electronic equipment energy consumption in standby mode: A review of emerging strategies, policies, and technologies," *Energies*, vol. 18, no. 4, Art. no. 965, 2025, doi: 10.3390/en18040965.
[30] J. P. Aljabbar, M. R. F. Rajaguguk, and N. Wijaya, "Studi literatur keamanan data dalam sistem *smart home* berbasis IoT," *DEVICE: Journal of Information System, Computer Science and Information Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 245–255, 2025, doi: 10.46576/device.v6i1.6660.
[31] M. Octaria and M. I. P. Nasution, "Peluang dan tantangan penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem informasi manajemen," *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 87–93, 2024, doi: 10.59581/jusiik-widyakarya.v2i2.3559.

2622-8130
Jurnal Sifo Mikroskil (JSM) - Volume 27, No 2, Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.55601/jsm.v27i2.2001