


Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi
<https://ojs.stmik-banjarbaru.ac.id/index.php/jutisi/index>
 Jl. Ahmad Yani, K.M. 33,5 - Kampus STMIK Banjarbaru
 Loktabat – Banjarbaru (Tlp. 0511 4782881), e-mail: puslit.stmikbjb@gmail.com
 e-ISSN: 2685-0893

Analisis *Threshold* Intensitas Cahaya Otomasi Lampu untuk Efisiensi Energi Rumah Tangga

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v15i2.3532>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC) 

Gautama Wijaya^{1*}, Stefanus Eko Prasetyo², Yodi Salim Putra³
 Teknologi Informasi, Universitas Internasional Batam, Batam, Indonesia
 *e-mail *Corresponding Author*: gautama.wijaya@uib.ac.id

Abstract

Inefficiency in household energy consumption is frequently driven by human error in lighting system management. This study aims to analyze the effect of varying light intensity thresholds on electrical energy consumption using the Tinkercad simulation platform. An experimental method with a multi-treatment design was employed, comparing the baseline phase against three threshold variations: 30 lx, 50 lx, and 70 lx. The Tinkercad platform was utilized to simulate environmental variable control in a measurable manner, providing consistent initial data as a representation of system behavior. The energy consumption parameter was measured in Watt-hours (Wh) based on the load's operational duration, recorded via the millis() function on the microcontroller. Statistical analysis using One-Way ANOVA indicated significant differences in energy consumption across all treatment groups ($p < 0.05$). The research findings conclude that a 50 lx threshold represents the optimal equilibrium point, as it achieves significant energy efficiency while maintaining visual comfort standards in accordance with the SNI 6197:2011 regulation.

Keywords: Energy Efficiency; Lighting Automation; Tinkercad; Lx Threshold; SNI 6197:2011.

Abstrak

Ketidakefisienan penggunaan energi pada sektor rumah tangga sering kali dipicu oleh faktor kelalaian manusia (*human error*) dalam pengelolaan sistem penerangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ambang batas (*threshold*) intensitas cahaya terhadap konsumsi energi listrik melalui platform simulasi Tinkercad. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan desain *Multi treatment* yang membandingkan fase baseline terhadap tiga variasi perlakuan threshold: 30 lx, 50 lx, dan 70 lx. Platform Tinkercad digunakan untuk mensimulasikan kontrol variabel lingkungan secara terukur, sehingga diperoleh data awal yang konsisten sebagai representasi perilaku sistem. Parameter konsumsi energi diukur dalam satuan *Watt-hour* (Wh) berdasarkan durasi operasional beban yang dicatat melalui fungsi millis() pada mikrokontroler. Hasil uji statistik menggunakan One-Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada konsumsi energi di antara seluruh kelompok perlakuan ($p < 0,05$). Temuan penelitian menyimpulkan bahwa ambang batas 50 lx merupakan titik ekuilibrium yang optimal, karena mampu menghasilkan efisiensi energi yang signifikan sekaligus memenuhi standar kenyamanan visual sesuai regulasi SNI 6197:2011.

Kata Kunci: Efisiensi Energi; Otomasi Lampu; Tinkercad; Ambang Batas Lx; SNI 6197:2011.

1. Pendahuluan

Penghematan energi merupakan tantangan krusial di Indonesia, mengingat sektor rumah tangga menyumbang 12,97% dari total permintaan energi nasional [1]. Tingginya angka inefisiensi pada sektor ini sering kali dipicu oleh penggunaan sistem penerangan konvensional serta faktor kelalaian manusia (*human error*) dalam pengelolaan beban listrik [2]. Hal ini menjadi urgensi bagi pengembangan sistem otomasi rumah (*smart home*) yang mampu memitigasi pemborosan energi tanpa mengurangi standar kenyamanan penghuni.

Meskipun integrasi sensor *Passive Infrared* (PIR) dan *Light Dependent Resistor* (LDR) telah banyak diteliti, penentuan ambang batas (*threshold*) intensitas cahaya (Lx) yang presisi masih menjadi celah literatur. Masalah utama yang muncul adalah belum adanya parameter baku yang menyeimbangkan antara efisiensi energi maksimal dan standar kenyamanan visual sesuai regulasi SNI 6197:2011 [3] [4]. Tanpa ambang batas yang tervalidasi, sistem pencahayaan otomatis berisiko aktif pada kondisi yang tidak diperlukan atau justru gagal menyediakan pencahayaan yang ergonomis.

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya menyelesaikan masalah ini dengan berbagai pendekatan. Darmanto dkk. mengembangkan purwarupa lampu otomatis menggunakan LDR dan PIR secara terpisah, namun pengujiannya masih terbatas pada aspek fungsionalitas kendali tanpa menganalisis besaran konsumsi energi [5]. Pratama dan Budjianto memfokuskan riset pada efisiensi durasi nyala lampu berdasarkan kehadiran manusia, tetapi belum mengintegrasikan sensor cahaya untuk kondisi siang hari [6]. Sementara itu, Rifa'i dkk. menekankan pada aspek pemantauan konsumsi energi berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan akurasi tinggi, namun sistem tersebut masih bersifat pasif tanpa fitur kontrol otomatis berbasis ambang batas yang presisi [7]. Selain itu, Aldi dkk. (2024) mulai mengeksplorasi *Fuzzy Logic* untuk kendali gradual, namun belum membedah korelasi variasi *threshold* terhadap konsumsi energi yang tervalidasi secara statistik [8]. Dari berbagai studi tersebut, terdapat gap literatur di mana belum ada analisis komparatif yang mendalam mengenai pengaruh variasi *threshold* cahaya (Lx) terhadap satuan *Watt-hour* (Wh).

Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan sebuah konsep sistem pencahayaan otomatis dengan logika hibrida (AND) yang mengintegrasikan sensor LDR dan PIR secara simultan melalui platform simulasi Tinkercad. Rasionalisasi penggunaan logika hibrida ini adalah untuk memastikan lampu hanya aktif saat ruangan gelap (LDR) dan terdapat kehadiran manusia (PIR), sehingga mencapai titik ekuilibrium operasional. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengujian statistik menggunakan metode *One-Way ANOVA* untuk mengevaluasi pengaruh variasi *threshold* 30 lx, 50 lx, dan 70 lx terhadap konsumsi energi. Dengan menyelaraskan simulasi teknis dan standar SNI, penelitian ini diharapkan memberikan parameter teknis yang valid bagi pengembangan teknologi *smart home* yang efisien dan aplikatif di Indonesia.

2. Metodologi

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental berbasis simulasi menggunakan platform Tinkercad. Pemilihan platform ini didasarkan pada kemampuannya untuk melakukan pemodelan parameter fisik ke dalam domain digital secara presisi, yang memungkinkan isolasi variabel intensitas cahaya (*illuminance*) tanpa interferensi faktor lingkungan yang sulit dikontrol pada pengujian lapangan. Pemilihan Tinkercad didasarkan pada reliabilitas mesin simulasinya dalam memodelkan komponen elektronik secara kuantitatif, yang memungkinkan pengujian algoritma secara mendalam sebelum tahap purwarupa fisik [9]. Efektivitas platform ini juga didukung oleh keberhasilan pemodelan sistem kontrol nirkabel yang menunjuk [10].

Lebih lanjut, penggunaan Tinkercad diposisikan sebagai solusi strategis untuk mengatasi keterbatasan ketersediaan perangkat keras fisik dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler dan IoT. Validitas penggunaan simulator ini sebagai instrumen riset diperkuat oleh temuan Riskawati dkk. (2025), yang membuktikan bahwa simulasi berbasis Arduino di Tinkercad mampu menghasilkan integrasi sistem yang presisi serta pembacaan data secara *real-time* yang valid sesuai dengan parameter fisik yang diuji [11]. Tahapan simulasi ini merupakan langkah teknis yang krusial untuk melakukan validasi sistem secara menyeluruh sebelum implementasi pada perangkat keras sesungguhnya dilakukan [12].

Tinkercad dipilih karena memiliki tingkat reproduktibilitas tinggi, yang memungkinkan replikasi pengujian dengan parameter yang identik guna memperoleh data yang konsisten. Selain menjamin kesterilan lingkungan uji, simulator ini memungkinkan pengujian skenario ekstrem pada komponen tanpa risiko kerusakan fisik perangkat, namun tetap menghasilkan output data teknis yang merepresentasikan perilaku komponen asli. Dengan demikian, platform ini berfungsi sebagai laboratorium virtual untuk menghasilkan data empiris yang valid bagi perhitungan efisiensi energi secara sistematis [13].

2.2 Perangkat dan Komponen Sistem

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah platform simulator Tinkercad. Pemilihan platform ini didasarkan pada tingkat akurasi simulasinya yang tinggi dan kemampuannya mengatasi keterbatasan perangkat keras fisik [14]. Penggunaan laboratorium virtual ini telah terbukti efektif dalam memodelkan komponen elektronika secara presisi, di mana selisih pembacaan sensor pada simulasi menunjukkan hasil yang sangat mendekati teori. Komponen virtual yang digunakan meliputi Arduino Uno, sensor LDR, sensor PIR, dan relay [12][15].

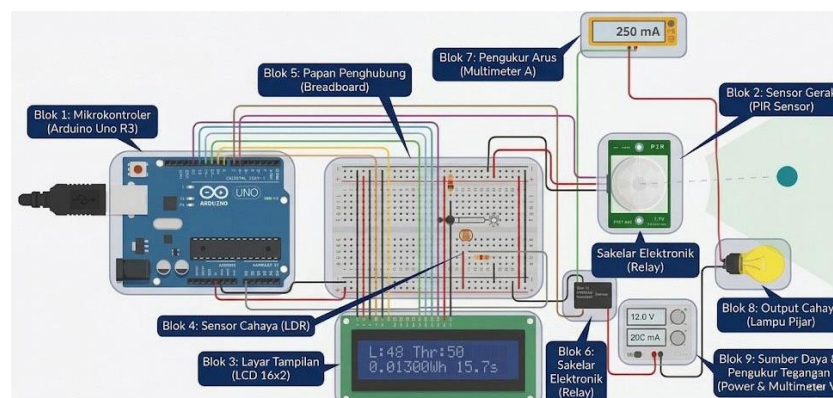
2.2.1 Diagram Blok Sistem

Sebelum dilakukan perakitan sirkuit, dilakukan pemetaan alur kerja perangkat melalui diagram blok untuk memisahkan antara unit masukan (*input*), unit pemroses (*process*), dan unit keluaran (*output*).

- 1) Input: Sensor PIR dan LDR mengirimkan data ke pin digital dan analog.
- 2) Proses: Arduino Uno mengolah logika "AND" dan menghitung energi.
- 3) Output: Relay menggerakkan beban lampu, dan LCD menampilkan data.

Sistem ini mengadopsi prinsip pemrosesan sinyal hibrida dengan memanfaatkan logika AND. Lampu hanya akan dinyatakan aktif (*HIGH*) apabila dua variabel lingkungan terpenuhi secara simultan: sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya di bawah ambang batas (*threshold*) yang ditentukan, dan sensor PIR mendeteksi adanya radiasi inframerah dari pergerakan manusia.

Alur kerja sistem ini dirancang untuk memprioritaskan efisiensi energi dengan memastikan beban hanya bekerja pada kondisi okupansi di lingkungan gelap



Gambar 1. Arsitektur Sirkuit Virtual Otomasi Lampu pada Platform Tinkercad.

Berdasarkan alur logika pada Gambar 1, algoritma sistem dapat dijabarkan menjadi empat tahap utama sebagai berikut:

- 1) Inisialisasi & Pembacaan: Sistem memulai dengan mendefinisikan pin *input/output* serta melakukan kalibrasi pembacaan sinyal analog dari sensor LDR menjadi satuan Lx dan sinyal digital dari sensor PIR.
- 2) Evaluasi Kondisi (Logika AND): Mikrokontroler melakukan pemeriksaan logika ganda melalui instruksi `if (statusGerak == HIGH && nilaiLx < thresholdLx)`. Jika kedua kondisi benar, sistem akan memproses aktivasi lampu. Namun, jika salah satu kondisi tidak terpenuhi, sistem secara otomatis memastikan lampu tetap dalam kondisi mati (*LOW*).
- 3) Manajemen Operasional Lampu: Apabila kondisi terpenuhi, sistem terlebih dahulu mengecek status lampu melalui variabel `sedangMenyala` untuk mencegah perintah aktivasi berulang. Jika lampu belum aktif, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal *HIGH* ke *relay*.
- 4) Kalkulasi Konsumsi Energi secara *Real-time*: Penggunaan fungsi `millis()` sangat krusial dalam sistem ini untuk mencatat durasi aktif beban secara presisi tanpa menghentikan proses pembacaan sensor (*non-blocking*). Konsumsi energi (Wh) dihitung dengan mengonversi akumulasi waktu nyala ke satuan jam, kemudian dikalikan dengan daya

beban (3 Watt). Data konsumsi energi, nilai intensitas cahaya, dan status sistem kemudian ditampilkan secara visual melalui antarmuka LCD [7].

Implementasi teknis dari alur logika tersebut dalam struktur pengkondisian bahasa pemrograman.

```

if (statusGerak == HIGH && nilaiLux < thresholdLux) {
    if (!sedangMenyala) {
        digitalWrite(pinLampu, HIGH);
        sedangMenyala = true;
    }
    waktuTerakhirGerak = millis();
}
    
```

Gambar 2. Logika Hibrida

2.2.2 Spesifikasi Komponen

Berikut adalah rincian spesifikasi teknis dan fungsi masing-masing komponen yang digunakan dalam simulasi:

Table 1. Spesifikasi Komponen

Nama Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Penelitian
Arduino Uno R3	Mikrokontroler ATmega328P, Voltase Operasional 5V	Sebagai unit pemroses pusat (CPU) untuk mengolah logika "AND" dan melakukan kalkulasi energi (Wh).
Sensor PIR (HC-SR501)	Jangkauan deteksi ± 7m, Sudut kerucut 110°	Mendeteksi radiasi inframerah dari pergerakan manusia sebagai pemicunya sistem.
Sensor LDR	Tipe Resistor Foto (Analog)	Mendeteksi tingkat intensitas cahaya sekitar (illuminance) yang kemudian dikonversi menjadi satuan Lx.
Relay SPDT	Koil 5V DC, Kontak 10A/250V AC	Sebagai sakelar elektromagnetik yang memisahkan arus kontrol Arduino dengan arus beban lampu.
LCD 16x2 (I2C)	16 Karakter, 2 Baris	Antarmuka visual untuk menampilkan data sensor (Lx), status lampu, dan akumulasi konsumsi energi.
Lampu Pijar	Daya 3 Watt, Tegangan 12 Volt DC	Sebagai beban listrik yang menjadi objek pengukuran efisiensi energi.
Multimeter Digital	Akurasi pengukuran arus (mA) dan tegangan (V)	Alat ukur virtual untuk memvalidasi besaran daya riil yang mengalir pada beban guna akurasi data.

2.2.3 Arsitektur Rangkaian (Schematic)

Integrasi antar komponen disusun dalam satu kesatuan sirkuit yang saling terhubung. Sensor LDR dikonfigurasi menggunakan rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) agar perubahan resistansinya dapat dibaca oleh pin analog Arduino. Sensor PIR dihubungkan pada pin interupsi digital untuk respon yang cepat.

2.2.4 Justifikasi Pemilihan Perangkat

- 1) Akurasi Simulasi: Penggunaan Arduino Uno R3 dan sensor standar di Tinkercad dipilih karena model matematis komponen tersebut mendekati karakteristik fisik asli, terutama dalam pembacaan nilai ADC.

- 2) Keamanan Eksperimen: Penggunaan sistem simulasi menghilangkan risiko arus pendek (*short circuit*) pada perangkat keras asli saat pengujian berbagai variasi ambang batas (*threshold*).
- 3) Representasi Beban: Lampu 3 Watt digunakan sebagai representasi beban lampu hemat energi (LED) yang umum digunakan pada hunian modern untuk mengukur efisiensi pada skala kecil.

2.3 Konfigurasi Rangkaian (*Wiring*)

Pengabelan sistem disusun secara digital melalui platform Tinkercad dengan memperhatikan integritas transmisi sinyal dan distribusi daya. Arsitektur pengabelan dibagi menjadi dua bagian: jalur sensor (input) dan jalur beban (output).

2.3.1 Daftar Hubungan Pin (*Pin Mapping*)

Untuk memastikan ketepatan koneksi dan memudahkan proses debugging kode program, seluruh hubungan antar komponen dipetakan dalam Tabel 2 berikut:

Table 2. Pin Mikrokontroler Arduino Uno

No	Komponen Elektronika	Pin Arduino	Jenis Pin	Deskripsi Fungsi
1	Sensor PIR	D6	Digital Input	Menerima sinyal logika <i>HIGH/LOW</i> berdasar deteksi pergerakan.
2	Sensor LDR	A0	Analog Input	Membaca variasi tegangan (0-5V) sebagai representasi intensitas cahaya.
3	Relay (Signal)	D8	Digital Output	Mengirim sinyal pemicu (<i>trigger</i>) untuk memutus atau menyambung beban.
4	LCD 16x2 (SDA)	SDA (A4)	I2C Data	Jalur transmisi data serial untuk tampilan antarmuka visual.
5	LCD 16x2 (SCL)	SCL (A5)	I2C Clock	Jalur sinkronisasi <i>clock</i> untuk komunikasi protokol I2C.
6	Sumber Daya	5V & GND	Power	Penyuplai tegangan operasional untuk seluruh modul sensor dan kontrol.

2.3.2 Skema Koneksi Kelistrikan

Sirkuit Sensor: Sensor LDR dikonfigurasi menggunakan resistor 10k Ω sebagai pembagi tegangan (*voltage divider*) untuk memastikan perubahan resistansi dapat dibaca sebagai perubahan tegangan oleh Pin A0. Sensor PIR mendapatkan suplai daya 5V langsung dari rel daya Arduino.

Sirkuit Beban: Relay dipasang sebagai jembatan antara Arduino dan beban lampu. Pin D8 mengirim sinyal ke terminal koil relay, sementara lampu pijar dihubungkan secara seri dengan terminal *Common* (COM) dan *Normally Open* (NO) pada sumber tegangan 12V DC. Hal ini menjamin isolasi arus agar beban tinggi tidak merusak mikrokontroler[5].

2.3.3 Algoritma Perhitungan Energi

Sistem tidak hanya berfungsi sebagai sakelar otomatis, tetapi juga sebagai alat ukur energi cerdas. Perhitungan dilakukan di dalam firmware dengan parameter berikut:

- 1) Deteksi Durasi Aktif: Menggunakan fungsi `millis()` untuk menghindari penggunaan `delay()`, sehingga sistem dapat mencatat waktu nyala lampu (*t*) secara real-time tanpa menghentikan pembacaan sensor[6].
- 2) Konversi Satuan: Durasi dalam milidetik dikonversi ke satuan jam melalui rumus: $t(\text{jam}) = t(\text{ms}) / 3600000$
- 3) Kalkulasi Konsumsi Energi: Energi (*E*) dalam satuan Watt-hour (Wh) dihitung berdasarkan daya beban (*P*) yang telah divalidasi sebesar 3 Watt: $E = P \times t$

2.4 Prosedur Pengujian dan Analisis

Tahapan pengujian dilakukan untuk membuktikan relevansi hasil simulasi terhadap kondisi riil melalui kalibrasi digital:

- 1) Kalibrasi Sensor dan Penentuan Ambang Batas: Memastikan nilai pembacaan LDR sesuai dengan parameter threshold (30 lx, 50 lx, dan 70 lx). Penentuan nilai ini merujuk pada standar kenyamanan visual SNI 6197:2011 [4]. Berdasarkan penelitian M. Djamil M. Nur & Hartati (2023), intensitas cahaya yang tidak sesuai dengan standar nasional dapat mengakibatkan kelelahan mata (visual fatigue) dan ketidaknyamanan operasional [2]. Oleh karena itu, kalibrasi dilakukan untuk memastikan sistem bekerja pada rentang lx yang valid secara ergonomis. Proses kalibrasi ini didukung oleh temuan Sudarti & Putri (2022) yang menyatakan bahwa penggunaan perangkat digital berbasis sensor memiliki tingkat presisi yang sangat tinggi dengan selisih pengukuran yang minimal, sehingga menjamin validitas data intensitas cahaya yang diperoleh selama simulasi [16]
- 2) Uji Pemodelan Linear: Menggunakan algoritma perubahan nilai intensitas cahaya secara bertahap dalam rentang waktu 0-120 detik. Metode ini merepresentasikan transisi cahaya alami (sore ke malam) untuk menjaga konsistensi data yang sulit dicapai pada pengujian fisik di lapangan karena fluktuasi cuaca yang tidak menentu.
- 3) Pengukuran Efisiensi dan Validasi Statistik: Mencatat durasi aktif beban melalui fungsi millis() untuk mendapatkan nilai konsumsi energi teoretis menggunakan rumus $E = P \times t$. Untuk memperkuat metodologi sesuai saran akademis, data yang terkumpul diolah menggunakan uji statistik One-Way ANOVA. Uji ini bertujuan untuk menentukan signifikansi perbedaan efisiensi antar variasi threshold secara inferensial, sehingga kesimpulan yang diambil memiliki tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan simulator Tinkercad untuk mengukur konsumsi energi listrik pada lampu teras otomatis dengan membandingkan tiga variasi ambang batas intensitas cahaya (threshold Lx). Skenario pengujian menggunakan durasi simulasi selama 120 detik dengan perubahan nilai intensitas cahaya bertahap: 80 lx (sore), 60 lx (senja), 40 lx (menjelang malam), dan 10 lx (malam hari).

3.1.1 Data Konsumsi Energi (Wh) dan Durasi Nyala

Berdasarkan pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali ulangan untuk masing-masing threshold, diperoleh data yang menunjukkan tingkat konsistensi algoritma sistem sebagai berikut:

Table 3. Hasil Pengujian Konsumsi Energi (Wh)

No. Uji	Threshold 30 Lx	Threshold 50 Lx	Threshold 70 Lx
1	0,02150	0,04200	0,06283
2	0,02133	0,04158	0,06275
3	0,02167	0,04225	0,06250
4	0,02175	0,04233	0,06292
5	0,02183	0,04225	0,06308
6	0,02167	0,04242	0,06260
7	0,02167	0,04225	0,06283
8	0,02167	0,04208	0,06292
9	0,02158	0,04225	0,06260
10	0,02142	0,04208	0,06275
Rata-rata	0,02161 Wh	0,04215 Wh	0,06279 Wh

Table 4. Hasil Pengujian Durasi Nyala Lampu (Detik)

No. Uji	Threshold 30 Lx	Threshold 50 Lx	Threshold 70 Lx
1	25,8 s	50,4 s	75,4 s
2	25,6 s	49,9 s	75,3 s
3	26,0 s	50,7 s	75,0 s
4	26,1 s	50,8 s	75,5 s
5	26,2 s	50,7 s	75,7 s
6	26,0 s	50,9 s	75,2 s
7	26,0 s	50,7 s	75,4 s
8	26,0 s	50,5 s	75,5 s
9	25,9 s	50,7 s	75,2 s
10	25,7 s	50,5 s	75,3 s
Rata-rata	25,93 s	50,58 s	75,36 s

3.1.2 Analisis Statistik One-Way ANOVA

Untuk menguji signifikansi perbedaan rata-rata konsumsi energi antar kelompok, dilakukan uji statistik One-Way ANOVA dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Table 5. Hasil Uji Statistik One-Way Anova

Sumber Keragaman	df	Sum of Squares (SS)	Mean Square (MS)	F-Hitung	P-value
Antar Grup	2	0,00847	0,004235	282.333,3	< 0,001
Dalam Grup	27	0,0000004	0,000000015		
Total	29	0,0084704			

Berdasarkan Tabel 6, hasil perhitungan menunjukkan nilai P-value < 0,001, yang berada jauh di bawah ambang batas signifikansi ($\alpha = 0,05$). Sesuai dengan prosedur interpretasi uji varians yang dipaparkan oleh Dewi dkk. (2023), hasil ini memberikan bukti empiris yang kuat untuk menolak hipotesis nol (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi threshold cahaya (30 lx, 50 lx, dan 70 lx) memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap konsumsi energi listrik rumah tangga [17]. Besarnya nilai F-hitung (282.333,3) merepresentasikan rasio kontras yang sangat tinggi antara variasi antar kelompok dibandingkan dengan variansi di dalam kelompok. Hal ini mengonfirmasi bahwa algoritma sistem merespons perubahan threshold secara konsisten dan linear. Selain itu, nilai Sum of Squares (SS) dalam grup yang sangat kecil menunjukkan tingkat presisi dan stabilitas simulasi pada platform Tinkercad, yang sejalan dengan temuan Riskawati (2025) mengenai reliabilitas simulator dalam menghasilkan data eksperimen yang terukur [13]. Secara teknis, perbedaan konsumsi energi ini merupakan implikasi langsung dari durasi operasional beban yang diatur oleh logika hibrida (AND) pada mikrokontroler. Implementasi threshold 50 lx tidak hanya terbukti secara statistik berbeda dari 30 lx dan 70 lx, tetapi juga secara substansial merupakan titik ekuilibrium yang memenuhi standar konservasi energi tanpa mengabaikan aspek fungsionalitas pencahayaan yang dipersyaratkan dalam SNI 6197:2011.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Pengaruh Threshold terhadap Konsumsi Energi

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat hubungan linear antara pemilihan threshold Lx dengan konsumsi energi yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai ambang batas (threshold), maka semakin dini lampu mulai beroperasi, yang mengakibatkan durasi nyala total menjadi lebih lama.

- 1) Threshold 30 lx menunjukkan efisiensi tertinggi karena lampu hanya aktif pada kondisi intensitas cahaya paling rendah (10 lx).
- 2) Threshold 70 lx menunjukkan konsumsi energi paling tinggi karena sistem mengizinkan lampu menyala sejak fase senja (di bawah 70 lx).

4.2.2 Validasi Akurasi dan Keandalan Simulasi

Data pengujian menunjukkan tingkat konsistensi yang sangat tinggi pada setiap pengulangan. Sebagai contoh, pada pengujian threshold 50 lx, durasi nyala lampu ditemukan stabil pada kisaran 49,9 s hingga 50,9 s. Konsistensi data pada setiap iterasi menunjukkan bahwa model virtual dalam penelitian ini mampu merepresentasikan logika pemrograman secara stabil dalam lingkungan terkontrol.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Riskawati dkk. (2022), yang menyatakan bahwa simulasi berbasis Tinkercad merupakan media inovatif yang mampu memberikan umpan balik instan dan memiliki efektivitas tinggi dalam memodelkan sirkuit elektronika [13]. Selain itu, penggunaan fungsi millis() terbukti efektif dalam menghitung konsumsi energi secara real-time yang ditampilkan langsung pada antarmuka LCD tanpa mengalami kendala keterlambatan proses (*delay*). Hal ini menegaskan bahwa penggunaan simulator virtual dalam penelitian ini mampu menghasilkan data yang akurat dan dapat direplikasi, sekaligus memitigasi risiko kerusakan komponen fisik tanpa mengurangi kualitas data eksperimental.

4.2.3 Korelasi dengan Standar Nasional Indonesia (SNI)

Jika dikaitkan dengan standar pencahayaan SNI 6197:2011, pemilihan threshold 50 lx merupakan titik tengah yang paling ideal. Meskipun threshold 30 lx lebih hemat secara matematis, namun ambang batas tersebut berisiko membiarkan area teras terlalu gelap sebelum lampu menyala, yang dapat mengganggu kenyamanan dan keamanan pengguna. Sebaliknya, threshold 50 lx telah memenuhi kriteria kenyamanan visual sekaligus memberikan penghematan energi yang signifikan dibandingkan sistem manual [4].

4.2.4 Kontribusi terhadap Pengembangan Bidang Ilmu

Temuan dalam penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan bidang ilmu sistem kontrol dan konservasi energi. Pertama, penelitian ini memperkuat kerangka kerja teoritis mengenai penentuan parameter ambang batas (*threshold*) yang presisi dengan mengacu pada standar regulasi formal (SNI 6197:2011). Hal ini memberikan standarisasi bagi peneliti selanjutnya agar tidak hanya berfokus pada fungsionalitas alat, tetapi juga pada aspek ergonomi visual dan kepatuhan standar nasional. Kedua, integrasi logika hibrida (AND) antara sensor PIR dan LDR yang dikombinasikan dengan metode analisis statistik One-Way ANOVA menawarkan model validasi yang lebih kuat untuk riset sistem otomatisasi masa depan. Kontribusi ini membuktikan bahwa efisiensi energi dapat diprediksi secara linear melalui pengaturan parameter sensor yang terukur. Selain itu, penggunaan platform simulasi sebagai laboratorium virtual dalam riset ini berkontribusi dalam memvalidasi efektivitas pengembangan prototipe digital yang akurat dan hemat biaya, yang menjadi fondasi penting bagi pengembangan teknologi *Smart Home* yang adaptif di Indonesia [8].

5. Simpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun, pengujian, serta analisis data pada sistem otomatisasi lampu teras menggunakan platform Tinkercad, dapat disimpulkan bahwa penerapan logika hibrida (AND) yang mengintegrasikan sensor PIR dan LDR secara signifikan mampu mengatasi masalah inefisiensi energi akibat faktor kelalaian manusia (*human error*). Hasil eksperimen mengonfirmasi adanya korelasi linear positif antara ambang batas (*threshold*) intensitas cahaya dengan konsumsi energi, di mana pengaturan parameter sensor menjadi variabel penentu utama dalam profil penghematan listrik. Meskipun nilai *threshold* 30 lx menawarkan penghematan paling maksimal, penelitian ini menetapkan ambang batas 50 lx sebagai titik ekuilibrium optimal karena berhasil menyeimbangkan antara efisiensi energi yang signifikan dengan pemenuhan standar kenyamanan visual serta keamanan pengguna sesuai regulasi SNI 6197:2011. Keandalan instrumen simulasi yang digunakan terbukti memberikan akurasi data waktu dan pembacaan sensor secara *real-time* yang valid sesuai dengan parameter sistem fisik. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan bidang sistem kontrol dengan menyediakan standar parameter operasional yang berbasis pada data

statistik dan regulasi nasional, yang dapat dijadikan acuan dalam perancangan teknologi rumah pintar yang lebih ergonomis dan efisien. Sebagai rekomendasi untuk pengembangan di masa depan, sistem ini dapat diintegrasikan dengan modul komunikasi nirkabel (IoT) untuk pemantauan energi jarak jauh, atau dikembangkan menggunakan algoritma kontrol adaptif seperti *Fuzzy Logic* guna menyesuaikan *threshold* secara otomatis berdasarkan pola aktivitas penghuni rumah untuk mencapai efisiensi yang lebih dinamis.

Daftar Referensi

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023," Jakarta, May 2023.
- [2] S. E. Prasetyo *et al.*, "Sistem Smart Home menggunakan IoT," *Telcomatics*, vol. 7, no. 1, p. 24, Jul. 2022, doi: 10.37253/telcomatics.v7i1.6763.
- [3] M. D. M. Nur and Hartati, "Analisis Intensitas Cahaya di Dalam Ruang Belajar FTIK UIN Datokarama Palu dengan Menggunakan Aplikasi Luxmeter Berbasis Android," *Prosiding Kajian Islam dan Integrasi Ilmu di Era Society 5.0 (KIIIES 5.0)*, vol. 2, pp. 22–28, 2023.
- [4] Panitia Teknis Energi Baru dan Terbarukan (PTEB), "Konservasi energi pada sistem pencahayaan Badan Standardisasi Nasional," *Badan Standardisasi Nasional*, vol. SNI 6197:2011, no. Standar Nasional Indonesia., pp. 1–25., 2011, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [5] T. Darmanto, T. Sutrisno, and Antonius, "Penerapan Sensor LDR dan Sensor PIR pada Prototype Penerangan Lampu Rumah," *Jurnal InTekSis*, vol. 7, no. 1, pp. 72–79, 2020.
- [6] F. Farrid Pratama and A. Budjianto, "Smartlighting: Sistem Penerangan Otomatis Berbasis Sensor Kehadiran untuk Hemat Energi Maksimal," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 9, no. 6, pp. 9538–9541, Dec. 2025, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v9i6.15658>.
- [7] R. Rifa'i, W. Lestari, and J. Maulindar, "Implementasi Internet of Things untuk Sistem Pemantauan dan Optimasi Energi Rumah Tangga," *Journal Of Social Science Research*, vol. 5, no. 3, pp. 5540–5554, 2025.
- [8] A. Aldi, "Rancang Bangun Sistem Kendali Intensitas Cahaya Lampu Ruang Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3642.
- [9] Riskawati, "Desain dan Simulasi Sistem Remote Control IR menggunakan Arduino untuk Pembelajaran Elektronika Interaktif di Tinkercad," *Jurnal Artificial*, vol. 3, no. 1, pp. 11–19, Apr. 2025, doi: 10.54065/artificial.3.1.2025.523.
- [10] D. Andreas, Muhammad Dodi Utomo, Vicko Ghulam Fathurrohman, and Dedi Risaldi, "Perancangan Simulasi Lampu Otomatis dengan Sensor TMP36, LDR dan Ultrasonik Menggunakan Tinkercad," *J-Eltrik*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, Jul. 2021, doi: 10.30649/je.v3i1.59.
- [11] S. Said *et al.*, "Universitas Papua Arduino-Based Digital Distance Measuring Device Experiment in Tinkercad for Electronics Learning," *Physics Education Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 122–132, 2025.
- [12] M. Malik, A. Burhanuddin, and A. Mukhtar, "Nisin Jurnal Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 31–41, Jan. 2024, [Online]. Available: <http://journal.upgris.ac.id/index.php/nisin>
- [13] Riskawati, S. Said, and N. M. Herman, "Efektivitas Simulasi Pola LED Menggunakan Tinkercad: Media Pembelajaran Inovatif pada Elektronika Dasar," *JURNAL PENDIDIKAN FISIKA UNDIKSHA*, vol. 14, no. 3, pp. 524–531, Nov. 2024.
- [14] Suratini and C. Fadhillah, "Rancang Bangun Lampu Otomatis Menggunakan Sensor PIR dan LCD Display Berbasis Tinkercad," *Jurnal Elektronika dan Teknologi Informasi*, vol. 6, no. 2, pp. 2721–9380, Sep. 2025.
- [15] N. Mamuriyah and A. Tony, "Sistem Kendali dan Monitoring Lampu Ruang Berbasis Internet of Things," *Telcomatics*, vol. 7, no. 2, pp. 70–79, Dec. 2022, doi: 10.37253/telcomatics.v7i2.7346.
- [16] S. I. Putri and S. Sudarti, "Analisis Intensitas Cahaya di Dalam Ruang dengan Menggunakan Aplikasi Smart Luxmeter Berbasis Android," *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, vol. 12, no. 2, p. 51, Oct. 2022, doi: 10.20961/jmpf.v12i2.51474.
- [17] A. Miftah Fauzi, A. Zulianto, and P. Yustianto, "Perbandingan Kinerja Algoritma Enkripsi Chacha20, Salsa20, dan Advanced Encryption Standard (AES) pada Mikrokontroler," *Jurnal Infosecure*, vol. 6, no. 1, pp. 2087–1023, 2025.