MARI

MULTIDISCIPLINARY APPLIED RESEARCH AND INNOVATION
e-ISSN: 2773-4773

Vol. 7 No. 3 (2026) 211-220
https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/mari

Sistem Lampu Jalan Pintar Berasaskan Sensor untuk Mengesan Pergerakan Objek

Sensor-Based Smart Street Lighting System to Detect Object Movement

Muhammad Irfan Azfa Aminuddin[1], Nur Iffah Nabilah Aziz[1], Alia Muyasarah Othman[1], Hazirah Bujang[1,2]*, Nornajihah Mohammad Yazid[1,3]

[1] *Jabatan Kejuruteraan Awam, Pusat Pengajian Diploma*
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, 86400 Pagoh, Johor, MALAYSIA

[2] *Spatial Technology of Civil Engineering, Pusat Pengajian Diploma*
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, 86400 Pagoh, Johor, MALAYSIA

[3] *Neo Environmental Technology, Pusat Pengajian Diploma*
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, 86400 Pagoh, Johor, MALAYSIA

*Pengarang Utama: hazirahb@uthm.edu.my
DOI: https://doi.org/10.30880/mari.2026.07.03.027

Maklumat Artikel

Diserah: 01 September 2026
Diterima: 15 Oktober 2026
Diterbitkan: 01 Disember 2026

Kata Kunci

Lampu jalan pintar, sensor PIR, penjimatan tenaga, Arduino Uno, sistem automatik, pencahayaan adaptif, sensor gerakan, LED cekap tenaga

Abstrak

Lampu jalan konvensional yang beroperasi secara berterusan menyumbang kepada pembaziran tenaga dan peningkatan kos penyelenggaraan terutamanya di kawasan bertrafik rendah. Kajian ini bertujuan membangunkan sistem lampu jalan pintar berasaskan sensor PIR (*Passive Infrared*) yang dapat mengesan pergerakan dan mengawal tahap kecerahan lampu LED secara automatik. Prototaip sistem ini direka untuk menyala pada kecerahan 20% ketika tiada pergerakan dan meningkat kepada 100% apabila pergerakan dikesan. Metodologi kajian melibatkan pembangunan prototaip menggunakan Arduino Uno, pengujian prestasi sensor dalam pelbagai keadaan persekitaran, serta analisis penggunaan tenaga menggunakan wattmeter. Hasil ujian menunjukkan sistem ini mampu menjimatkan tenaga sehingga 87.89% berbanding sistem konvensional dengan prestasi sensor yang responsif dan stabil. Kesimpulannya, sistem lampu jalan pintar ini berpotensi besar untuk diaplikasikan dalam infrastruktur bandar pintar yang lebih cekap tenaga dan mesra alam.

Keywords

Smart street lights, PIR sensors, energy saving, Arduino Uno, automatic systems, adaptive lighting, motion sensors, energy efficient LEDs

Abstract

Conventional street lights that operate continuously contribute to energy waste and increased maintenance costs, especially in low-traffic areas. This study aims to develop a smart street lighting system based on PIR (Passive Infrared) sensors that can detect movement and automatically control the brightness level of LED lights. The prototype of this system is designed to light up at 20% brightness when there is no movement and increase to 100% when movement is detected. The study methodology

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.

involves developing a prototype using Arduino Uno, testing the sensor performance in various environmental conditions, and analyzing energy consumption using a wattmeter. The test results show that this system is capable of

1. Pendahuluan

Kawasan yang terang dikaitkan dengan kadar jenayah yang lebih rendah kerana pencahayaan yang meningkat bertindak sebagai penghalang dan menggalakkan tingkah laku sosial yang positif [1]. Namun begitu, sistem lampu jalan konvensional yang beroperasi secara berterusan tanpa kawalan pintar menyumbang kepada pembaziran tenaga, peningkatan kos penyelenggaraan, dan pencemaran cahaya. Sistem lampu pintar dapat memanjangkan jangka hayat lampu dan mengurangkan kos penyelenggaraan sebanyak 20% [2]. Di kawasan bertrafik rendah seperti jalan perkampungan, penggunaan lampu secara berterusan adalah tidak efisien dan membebankan dari segi operasi. Seiring dengan perkembangan teknologi dan keperluan kecekapan tenaga, sistem pencahayaan pintar berasaskan sensor gerakan telah diperkenalkan sebagai alternatif yang lebih lestari. Lampu jalan pintar yang aktif hanya apabila diperlukan meningkatkan keselamatan tanpa meningkatkan pencemaran cahaya [3]. Sistem ini direka untuk menyala pada tahap minimum ketika tiada pergerakan dan meningkat kepada tahap maksimum apabila pergerakan dikesan sekali gus menjimatkan tenaga dan memanjangkan jangka hayat lampu [4], [5]. Kajian ini juga menilai prestasi sistem dari aspek kecekapan tenaga, ketepatan pengesanan, dan kemampuannya beroperasi dalam pelbagai keadaan persekitaran sebagai langkah ke arah pembangunan bandar pintar dan mampan. Terdapat kajian menunjukkan lampu pintar dengan pengesan pergerakan dapat mengurangkan tenaga sebanyak 30% hingga 40% [6]. Teknologi ini berpotensi untuk diterapkan dalam pelbagai kawasan seperti jalan-jalan utama, taman awam, dan kawasan perumahan yang berorientasi kepada konsep bandar pintar. Melalui cara ini, projek ini dapat menyumbang kepada sasaran Malaysia untuk mencapai ekonomi rendah karbon menjelang 2030 [7].

Sistem lampu jalan konvensional seringkali usang dan menggunakan tenaga yang tinggi, mengakibatkan kos operasi dan penyelenggaraan yang besar serta pelepasan karbon yang tidak diperlukan [8]. Selain itu, pencahayaan jalan yang tidak mencukupi dikaitkan dengan peningkatan kadar kemalangan dan jenayah di lokasi yang kurang terang [9], menonjolkan keperluan untuk sistem pencahayaan yang lebih efisien dan boleh dipercayai. Walaupun teknologi lampu pintar dan LED semakin maju, pelaksanaan pencahayaan jalan pintar oleh pihak berkuasa tempatan masih terbatas disebabkan oleh kos awal yang tinggi, infrastruktur lama yang memerlukan pembaikan kerap, dan ketiadaan sistem kawalan berpusat [10]. Cabaran lain termasuk agihan cahaya yang tidak sekata dan masalah pencemaran cahaya, yang menjejaskan kualiti penglihatan dan keselesaan penduduk bandar. Oleh itu, terdapat keperluan mendesak untuk membangunkan sistem lampu jalan pintar berasaskan sensor yang dapat meningkatkan kecekapan tenaga, mengurangkan kos operasi, serta memastikan pencahayaan mencukupi hanya apabila diperlukan.

Skop kajian ini tertumpu kepada pembangunan dan penilaian prototaip sistem lampu jalan pintar yang menggunakan sensor PIR (*Passive Infrared*) untuk mengesan pergerakan objek seperti kenderaan dan pejalan kaki. Penggunaan sensor pengesan pergerakan dapat meningkatkan efisiensi tenaga dan keselesaan pengguna jalan [11]. Kajian ini dijalankan dalam skala kecil menggunakan model prototaip yang mewakili situasi sebenar di kawasan jalan perkampungan yang mempunyai kadar trafik rendah.

Sistem ini direka untuk mengawal tahap kecerahan lampu LED secara automatik, iaitu menyala pada 20% ketika tiada pergerakan dan meningkat kepada 100% apabila pergerakan dikesan. Dengan kemampuan mengaktifkan atau merendahkan tahap pencahayaan berdasarkan keperluan sebenar, sistem ini bukan sahaja membantu dalam menjimatkan tenaga elektrik tetapi juga mengurangkan kesan negatif pencemaran cahaya pada alam sekitar [12]. Kajian menunjukkan bahawa pencahayaan jalan yang disesuaikan dengan kehadiran objek bergerak dapat memberikan tindak balas yang lebih cepat terhadap perubahan di persekitaran lalu lintas, seterusnya mengurangkan kemalangan yang melibatkan pejalan kaki dan kenderaan [13]. Pengujian sistem melibatkan analisis penggunaan tenaga, ketepatan pengesanan sensor dalam pelbagai keadaan persekitaran (termasuk gelap dan berkabus), kemampuannya mengesan objek.

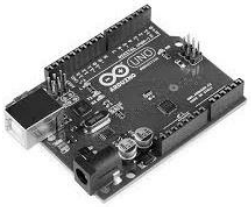
2. Illustrasi

Kajian ini melibatkan pembangunan prototaip sistem lampu jalan pintar yang menggunakan sensor PIR (*Passive Infrared*) untuk mengesan pergerakan dan mengawal tahap kecerahan lampu LED secara automatik. Proses pembangunan sistem merangkumi beberapa fasa utama iaitu reka bentuk prototaip, pemilihan komponen, pembangunan sistem, serta pengujian dan analisis data.

Prototaip direka menggunakan perisian AutoCAD untuk menghasilkan lakaran awal struktur lampu dan kotak sensor seperti di Lampiran A. Komponen utama yang digunakan termasuk sensor PIR, mikropengawal Arduino Uno, dan lampu LED [14]. Sensor PIR dipilih kerana keupayaannya mengesan perubahan haba daripada objek hidup [15]. Dalam kajian perbandingan prestasi antara sensor PIR, microwave dan ultrasonik untuk

aplikasi lampu pintar, Efendi et al. [16] mendapati sensor PIR masih unggul dari segi kebolehpercayaan pengesanan dalam persekitaran luar dan penggunaan tenaga minimum. Arduino Uno pula digunakan untuk memproses input sensor dan mengawal output pencahayaan. Jadual 1 menunjukkan komponen utama dan fungsi-fungsinya.

Jadual 1 *Komponen utama dan fungsi-fungsinya*

Komponen	Fungsi
 Sensor PIR	Mengesan pergerakan objek berdasarkan perubahan sinaran inframerah
 LED	Memberi petunjuk visual (contohnya menyala apabila ada gerakan)
 Arduino Uno	Mengawal dan memproses input/output daripada sensor dan peranti lain

Sistem ini diprogramkan untuk menyala pada kecerahan 20% secara lalai dan meningkat kepada 100% apabila pergerakan dikesan. Ujian prestasi dijalankan dalam dua mod iaitu mod konvensional (lampu menyala berterusan) dan mod pintar (lampu dikawal oleh sensor). Penggunaan tenaga diukur menggunakan wattmeter manakala kecerahan lampu diukur menggunakan luxmeter. Ketepatan dan kelajuan tindak balas sensor diuji dalam pelbagai keadaan persekitaran seperti gelap dan berkabus.

2.1 Proses Pengujian Prototaip

Setiap produk semestinya memerlukan ujian, dan setiap ujian memerlukan kaedah yang terperinci dan tersendiri. Bagi pembangunan dan pengujian sistem, pembinaan dua prototaip iaitu prototaip lampu jalan konvensional dan lampu jalan sensor dihasilkan untuk menguji keberkesanan dan membandingkan penggunaan tenaga. Penyediaan diagram litar merupakan langkah utama dalam menjayakan sistem ini. Diagram litar adalah sambungan antara komponen utama lain yang membantu dalam memastikan semua komponen disambungkan dengan betul dan berfungsi dengan baik. Namun begitu, setiap komponen perlulah diuji satu demi satu sebelum disambungkan ke sistem keseluruhan bagi memastikan tiada kerosakan atau masalah teknikal. Ujian awal ini penting untuk mengesan sebarang kecacatan atau masalah dalam komponen sebelum pemasangan akhir.

Selain itu, sistem lampu jalan pintar ini direka untuk beroperasi secara automatik di mana kod pengaturcaraan mikrokontroler Arduino Uno telah dibangunkan untuk mengawal kecerahan lampu LED. Kod tersebut memastikan lampu menyala dengan kecerahan 20% secara berterusan dan meningkat kepada 100% apabila sensor PIR mengesan pergerakan. Ujian keberkesanan sistem juga dilakukan untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik dalam pelbagai keadaan. Lampu akan tetap menyala dengan kecerahan 100% selama 30 saat selepas pergerakan terakhir dikesan oleh sensor sebelum dimalapkan semula. Ini membantu dalam menjimatkan tenaga dengan memastikan lampu hanya menyala apabila diperlukan. Sistem ini juga boleh disesuaikan untuk mengubah tempoh masa lampu menyala berdasarkan keperluan spesifik kawasan ujian iaitu di jalan perkampungan.

Lampu jalan pintar ialah penyelesaian yang efektif dengan kos dalam persekitaran bandar yang menggunakan teknik komunikasi tanpa wayar lanjutan, lampu LED kos rendah dan penderia tambahan yang mengawal keamatan cahaya. Sistem baharu ini mempunyai penjimatan kos dan tenaga yang ketara berbanding

kaedah suis ON-OFF yang konvensional. Pemilihan perkakasan ataupun komponen yang efektif terhadap penjimatan tenaga dan juga penjimatan kos. Ini termasuk penggunaan LED, PIR Sensor, Arduino UNO R3 Development Board dan lain-lain. Penggunaan komponen ini akan memberi kesan yang sangat baik terhadap lampu pintar. Dengan menggantikan lampu konvensional dengan LED, pengurangan ketara dalam penggunaan tenaga tahunan, bil elektrik, CO2 dan pelepasan gas rumah hijau dari segi pencahayaan boleh dicapai oleh setiap isi rumah di Malaysia.

Sistem ini akan didahului dengan membina prototaip yang akan menggunakan bahan perkakasan seperti LED, PIR Sensor, Arduino UNO R3 Development Board dan lain-lain. Dengan menggabungkan komponen-komponen ini, prototaip dapat dibina dan ujian-ujian terhadap prototaip tersebut dapat dilakukan. Sistem ini akan diuji dengan kepelbagaiannya untuk mengesan objek yang bergerak contohnya kereta, pejalan kaki, penunggang motosikal dan juga basikal. Selain itu, ujian ketahanan masa. Sistem ini akan mencadangkan kesesuaian masa berdasarkan kedatangan kenderaan atau pejalan kaki. Di samping itu, sensor ini akan diuji ketahanannya dalam pelbagai jenis keadaan cuaca seperti cuaca gelap, terang, dan berkabus. Lampiran B menunjukkan carta alir proses pengujian sistem, Lampiran C menunjukkan hasil prototaip yang telah dibina dan Lampiran D menunjukkan prototaip yang menyala apabila mengesan pergerakan objek.

Analisis SWOT yang ringkas telah dijalankan ke atas sistem lampu pintar bagi menilai kekuatan sistem yang boleh memberi bagi sistem lampu pintar untuk berkembang dan diguna secara meluas dan ancaman yang mungkin boleh memberi impak negatif kepada pengguna. Analisis SWOT merupakan satu kerangka kerja strategik yang digunakan untuk mengenal pasti dan menilai empat dimensi utama sesuatu projek atau produk, iaitu kekuatan (*strength*), kelemahan (*weakness*), peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threat*). Dalam fasa strength, kelebihan dalaman seperti ciri inovatif, kebolehgunaan, dan penjimatan kos jangka panjang diteliti, manakala di bahagian weaknesses, potensi kekangan dalaman seperti kos permulaan yang tinggi, kebergantungan kepada infrastruktur rangkaian, atau kerumitan penyelenggaraan juga diteliti secara kritikal. Seterusnya, opportunities merangkumi faktor luaran yang boleh dimanfaatkan, contohnya insentif kerajaan untuk teknologi hijau atau perkembangan pasaran rumah pintar. *Threat* pula memberi fokus kepada risiko luaran seperti persaingan sengit, perubahan peraturan, atau ancaman keselamatan siber.

2.2 Kaedah Pengiraan Data

Data penggunaan tenaga adalah melibatkan jumlah tenaga yang digunakan oleh sistem lampu jalan pintar berbanding dengan lampu jalan biasa, serta pengurangan penggunaan tenaga dalam pelbagai keadaan. Data ini akan diambil kira dengan menjalankan eksperimen di mana prototaip lampu jalan konvensional akan dinyalakan pada masa satu jam, manakala prototaip lampu jalan sensor akan dilalukan beberapa objek juga selama satu jam. Data penggunaan tenaga dianalisis dengan menggunakan formula pada persamaan (1), (2) dan (3):

$$E = Plampu \times t \tag{1}$$

$$\Delta E = Ekonvensional - Esensor \tag{2}$$

$$Peratus\ penjimatan\ tenaga = \frac{\Delta E}{Ekonvensional} \times 100 \tag{3}$$

Di mana:
E = penggunaan tenaga (kWh)
P = kuasa (kW)
t = masa (j)
ΔE = Penjimatan tenaga

3. Analisis Perbincangan

Ujian ke atas prototaip lampu jalan pintar telah dijalankan dalam beberapa senario yang berbeza iaitu mod pintar dan mod konvensional. Dalam mod pintar, sistem direka untuk menyala pada tahap kecerahan 20% apabila tiada pergerakan dikesan dan meningkat kepada 100% apabila pergerakan dikesan oleh sensor PIR. Manakala dalam mod konvensional, sistem sensor dimatikan dan lampu menyala secara berterusan pada tahap maksimum di mana merupakan sistem lampu jalan biasa yang digunakan secara meluas pada masa kini. Pendekatan ini membolehkan perbandingan yang adil dan menyeluruh antara kedua-dua sistem dari segi kecekapan tenaga dan keberkesanan operasi.

Data yang dikumpulkan merangkumi pelbagai parameter penting seperti tahap kecerahan lampu dalam unit lux dan peratus, tempoh masa lampu menyala selepas pengesanan pergerakan, jumlah penggunaan tenaga elektrik, serta kadar penjimatan tenaga yang dicapai. Selain itu, keupayaan sensor dalam mengesan pergerakan dalam pelbagai keadaan cuaca seperti cerah, dan berkabus turut diuji bagi menilai kebolehpercayaan sistem

dalam situasi dunia sebenar. Hasil daripada ujian ini dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang prestasi sistem. Hasil ujian juga dibandingkan dengan kajian terdahulu yang menunjukkan bahawa lampu LED mampu memberikan penjimatan sehingga 60% dalam aplikasi pencahayaan awam [17].

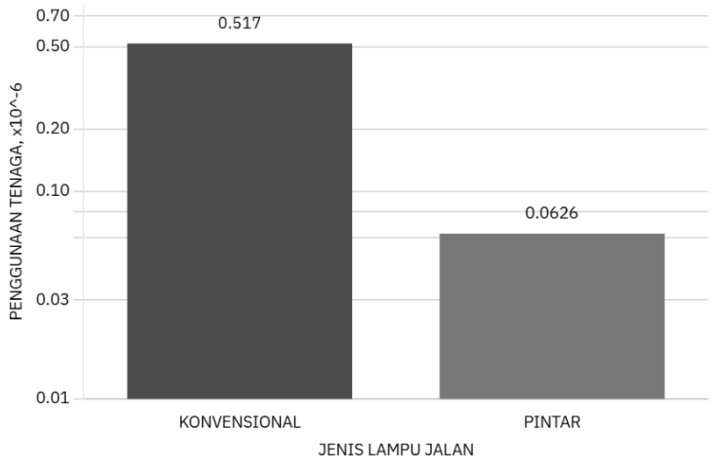
3.1 Analisis Penjimatan Tenaga

Prototaip sistem lampu jalan pintar telah diuji dalam dua mod operasi iaitu mod konvensional (lampu menyala 100% sepanjang masa) dan mod pintar (lampu menyala 20% secara lalai dan meningkat kepada 100% apabila pergerakan dikesan). Ujian dijalankan selama 60 saat bagi setiap mod dan dianggarkan sebuah kenderaan memalui kawasan lampu dalam masa 60 saat. Penggunaan tenaga diukur menggunakan wattmeter. Jadual 2 menunjukkan hasil dapatan daripada analisis penggunaan tenaga.

Jadual 2 *Jadual perbandingan penggunaan tenaga*

Sistem	Penggunaan Tenaga (kWh)	Penjimatan Tenaga (%)
Konvensional	5.17×10^{-7}	0.00
Pintar	6.26×10^{-8}	87.89

Dalam mod konvensional, penggunaan tenaga direkodkan sebanyak 5.17×10^{-7} kWh, manakala dalam mod pintar hanya 0.626×10^{-8} kWh. Ini menunjukkan penjimatan tenaga sebanyak 87.89% membuktikan keberkesanan sistem dalam mengurangkan pembaziran tenaga elektrik. Penjimatan ini dicapai melalui pengawalan tahap kecerahan lampu LED berdasarkan kehadiran objek, sekaligus memanjangkan jangka hayat lampu dan mengurangkan kos penyelenggaraan. Rajah 5 menunjukkan graf perbandingan penggunaan tenaga oleh kedua- dua mod sistem.



Rajah 5 *Graf perbandingan penggunaan tenaga antara dua sistem berbeza*

Prestasi sensor PIR turut diuji dalam pelbagai keadaan persekitaran termasuk gelap, berkabus, dan hujan. Sensor menunjukkan keupayaan mengesan pergerakan dengan baik walaupun dalam keadaan penglihatan rendah. Masa tindak balas sistem berada dalam lingkungan 150–250 milisaat dimana mencukupi untuk mengaktifkan pencahayaan sebelum pengguna tiba di kawasan lampu.Secara keseluruhan, keputusan ujian menunjukkan bahawa sistem lampu jalan pintar ini bukan sahaja menjimatkan tenaga, malah berfungsi dengan stabil dan responsif dalam pelbagai keadaan. Ini menjadikannya sesuai untuk diaplikasikan di kawasan bertrafik rendah seperti taman perumahan, laluan pejalan kaki, dan jalan kampung sebagai sebahagian daripada inisiatif bandar pintar.

3.2 Analasis Prestasi Sensor

Kajian ini memfokuskan kepada pembangunan dan penilaian prestasi sistem lampu jalan pintar yang menggunakan sensor PIR sebagai mekanisme utama pengesanan pergerakan, manakala LDR (*Light Dependant Resistor*) digunakan untuk mengesan kehadiran cahaya. Jadual 3 menunjukkan prestasi sensor PIR dan prestasi sensor LDR. Lampu jalan ini direka untuk beroperasi pada intensiti cahaya sebanyak 20% apabila tiada pergerakan dikesan, dan meningkat kepada 100% apabila kehadiran objek atau manusia dikesan oleh sensor.

LDR pula betindak sebagai sensor yang mengesan kehadiran cahaya. Ia ditetapkan untuk menyahaktifkan lampu jika bacaan threshold mencapai 850 sehingga 1023, dan mengaktifkan lampu jika bacaan itu bawah daripada 850 sehingga 0. Tiada bacaan yang spesifik untuk menentukan bacaan ini. Namun ia boleh diambilkira dengan menggunakan kaedah penyelidikan dan pembangunan. Ciri ini secara langsung menyumbang kepada penjimatan tenaga sebanyak 87.89% berbanding sistem pencahayaan konvensional yang menyala secara berterusan.

Jadual 3 *Jadual prestasi sensor PIR dan LDR*

Keadaan (sensor PIR)	Intensiti cahaya daripada LED (%)
Siang	0
Malam (tiada pergerakan)	20
Malam (berlaku pergerakan)	100
Keadaan (sensor LDR)	**Intensiti Cahaya daripada LED**
Siang	850-1023
Gelap	0-850

3.3 Analisis Keberkesanan Sistem

Sensor PIR yang digunakan dalam sistem ini berfungsi dengan mengesan pergerakan objek berhaba seperti manusia dan kenderaan, manakala sensor LDR pula bertindak mengesan tahap pencahayaan persekitaran. Untuk memastikan sistem beroperasi secara automatik dan efisien, bacaan threshold bagi LDR telah diprogramkan dalam mikropengawal Arduino Uno. Bacaan ini menentukan sama ada lampu perlu diaktifkan atau tidak bergantung kepada keadaan cahaya semula jadi. Nilai threshold yang digunakan adalah antara 0 hingga 1023, di mana bacaan di bawah 850 menandakan keadaan gelap dan akan mengaktifkan lampu. Penetapan ini adalah berdasarkan ujian awal prototaip dan disokong oleh kajian terdahulu yang menunjukkan bahawa sensor LDR berfungsi dengan baik dalam mengesan perubahan cahaya secara pantas dan tepat [16]. Sistem dinilai berdasarkan tiga parameter utama iaitu ketepatan pengesanan sensor PIR, tindak balas sensor LDR dan kecekapan tenaga. Jadual 4 menunjukkan penilaian keberkesanan sistem lampu jalan pintar

Jadual 4 *Penilaian keberkesanan sistem lampu jalan pintar*

Parameter	Penilaian
Ketepatan pengesanan sensor PIR	Dapat mengesan objek dalam julat jarak 1 hingga 10 cm
Tindak balas sensor LDR	Masa tindak balas di bawah 300 milisaat
Kecekapan tenaga	Penjimatan 87.9% berbanding sistem konvensional

Analisis SWOT terhadap sistem lampu jalan pintar menunjukkan bahawa kekuatan utama sistem ini ialah penjimatan tenaga yang tinggi dan masa tindak balas sensor yang pantas menjadikannya sesuai untuk kawasan bertrafik rendah. Namun, kelemahan seperti prestasi sensor yang terjejas dalam cuaca ekstrem dan kos awal yang tinggi perlu diberi perhatian. Sistem ini juga mempunyai peluang besar untuk dikembangkan melalui integrasi teknologi IoT dan aplikasi di kawasan bandar pintar. Walau bagaimanapun, ancaman seperti gangguan isyarat komunikasi tanpa wayar boleh menjejaskan kestabilan operasi jika tidak dikawal dengan baik. Analisis SWOT Sistem juga dinilai bagi menilai kekuatan sistem yang boleh memberi kelebihan kepada pengguna, kelemahan sistem, peluang bagi sistem lampu pintar untuk berkembang dan diguna secara meluas dan ancaman yang mungkin boleh memberi impak negatif kepada pengguna. Jadual 5 menunjukkan hasil analisis SWOT sistem.

Jadual 5 *Analisis SWOT sistem*

Kategori	Keterangan

Kekuatan (*Strength*)	• Penjimatan tenaga yang ketara • Kecekapan tenaga, di mana lampu hanya diaktifkan apabila diperlukan • Tahap responsif yang tinggi dengan masa tindak balas di bawah 300 ms
Kelemahan (*Weakness*)	• Prestasi sensor terjejas dalam cuaca seperti hujan lebat atau kabus tebal • Kos penyelenggaraan awal yang tinggi
Peluang (*Opportunities*)	• Integrasi IoT dan kawalan berpusat untuk pemantauan penggunaan tenaga dan penyelenggaraan dalam dunia nyata • Penggunaan skala besar di kawasan perumahan dan taman awam menyokong inisiatif bandar pintar dan rendah karbon
Ancaman (*Threat*)	• Risiko gangguan isyarat jika komunikasi tanpa wayar tidak dikawal dengan baik

4. Kesimpulan

Kajian ini telah berjaya membangunkan dan menilai keberkesanan sistem lampu jalan pintar berasaskan sensor PIR yang mampu mengesan pergerakan dan mengawal tahap kecerahan lampu LED secara automatik. Hasil ujian menunjukkan bahawa sistem ini mampu menjimatkan tenaga sehingga 87.89% berbanding sistem konvensional, sekali gus menyumbang kepada pengurangan kos operasi dan pelepasan karbon. Prestasi sensor juga menunjukkan ketepatan dan tindak balas yang baik dalam pelbagai keadaan persekitaran menjadikan sistem ini sesuai untuk diaplikasikan di kawasan bertrafik rendah seperti jalan perkampungan dan taman perumahan. Walaupun terdapat beberapa kekangan seperti jarak pengesanan yang terhad dan keperluan kepada perlindungan cuaca, sistem ini menunjukkan potensi besar untuk dikembangkan sebagai sebahagian daripada infrastruktur bandar pintar yang lebih cekap tenaga dan mesra alam. Cadangan penambahbaikan termasuk penggunaan sensor tambahan, kotak kalis air, integrasi tenaga boleh diperbaharui seperti solar, serta piawaian opsyenal dari Suruhanjaya Tenaga Malaysia bagi meningkatkan kebolehgunaan sistem dalam aplikasi sebenar [18], [19]. Kajian terkini juga menunjukkan bahawa penggunaan IoT (Internet of Things) dan algoritma pintar dalam kawalan lampu jalan dapat meningkatkan kecekapan tenaga sehingga 30% sambil mengurangkan kos penyelenggaraan secara signifikan [20].

Penghargaan

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih diucapkan kepada Pusat Pengajian Diploma, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) atas kemudahan dan peluang yang diberikan untuk menjalankan projek ini.

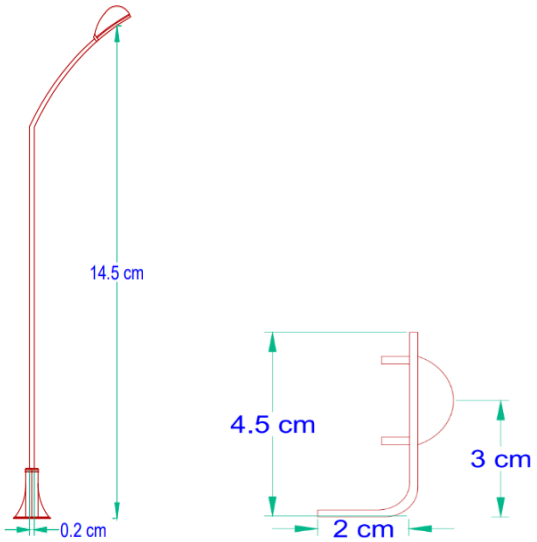
Konflik Kepentingan

Penulis mengumumkan bahawa tidak ada konflik kepentingan yang berkaitan dengan penerbitan makalah ini.

Sumbangan Penulis

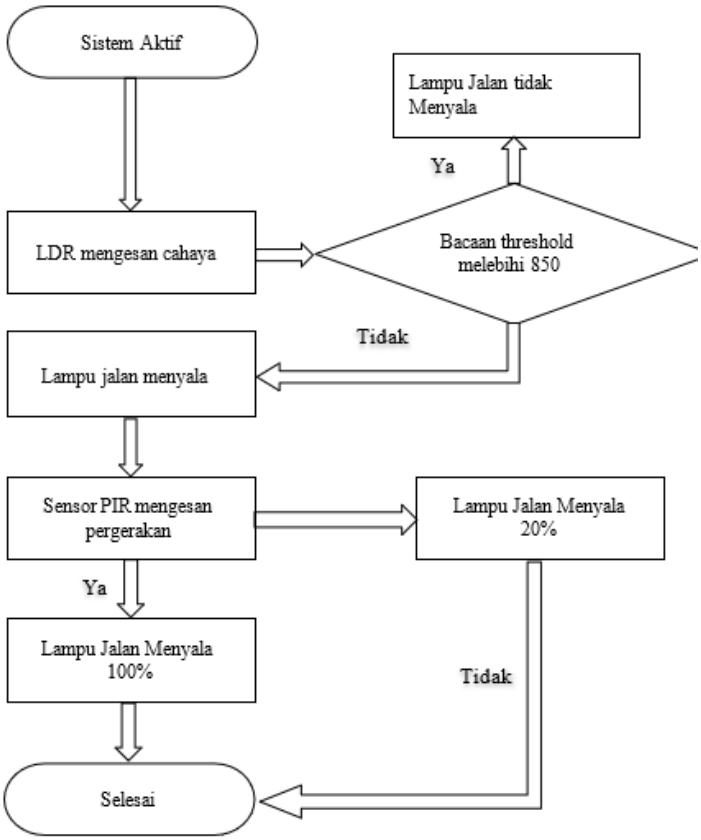
Penulis mengesahkan sumbangan kepada kertas ini seperti berikut: ***konsepsi dan reka bentuk kajian:*** *Muhammad Irfan Azfa Bin Aminuddin, Nur Iffah Nabilah Binti Aziz;* ***pengumpulan data****: Nur Iffah Nabilah Binti Aziz;* ***analisis dan interpretasi hasil****: Muhammad Irfan Azfa Bin Aminuddin, Nur Iffah Nabilah Binti Aziz, Alia Muyasarah Binti Othman;* ***penyediaan draf manuskrip****: Alia Muyasarah Binti Othman. Semua penulis telah mengkaji hasil dan meluluskan versi terakhir manuskrip.*

Lampiran A



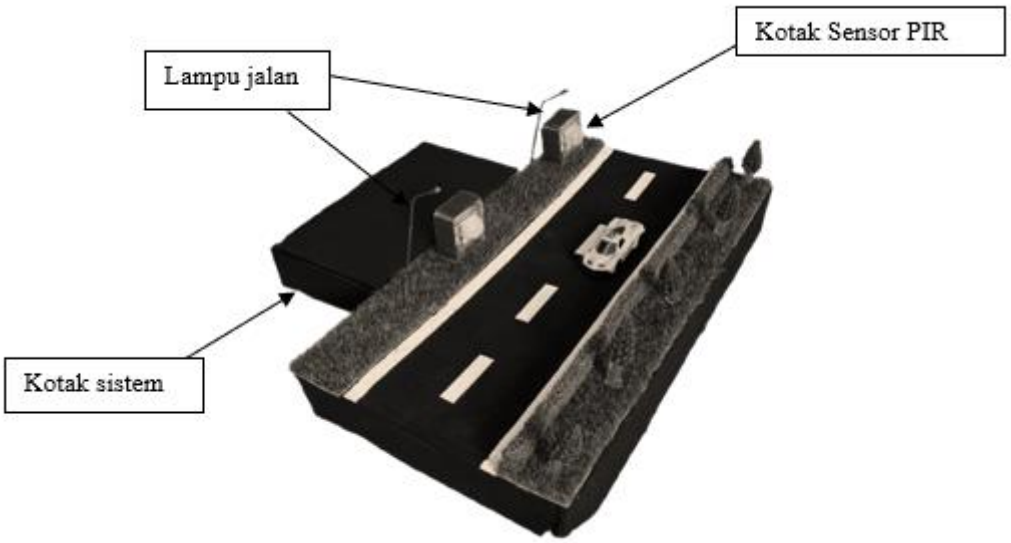
Rajah 1 *Lakaran AutoCAD (a) Struktur lampu; (b) kotak sensor PIR*

Lampiran B



Rajah 2 *Carta alir proses pengujian sistem*

Lampiran C



Rajah 3 *Hasil prototaip*

Lampiran D



Rajah 4 *Prototaip menyala apabila mengesan pergerakan objek*

Rujukan

[1] B. C. Welsh and D. P. Farrington, "*Effects of improved street lighting on crime*," Campbell Systematic Reviews, vol. 2008, no. 13, 2008.
[2] J. Zhang, J. Y. Kim, and W. Xu, "*The design, implementation, and deployment of a smart lighting system for smart buildings*," IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 4, pp. 7266–7281, 2018.
[3] S. Ahmed, J. Lee, and H. Park, "*Smart street lighting system using IoT for energy efficiency and safety*," Journal of Smart Cities, vol. 5, no. 2, pp. 123–135, 2020.
[4] K. Balakrishnan and S. R. Kumar, "*Implementation of PIR sensor-based street lighting control using IoT*," International Journal of Energy Research, vol. 45, no. 5, pp. 6543–6558, 2021.
[5] M. A. Khan and S. Patel, "*Arduino-based adaptive street light control system*," IEEE Sensors Journal, vol. 19, no. 11, pp. 4102–4110, 2019.
[6] S. Akhter, M. Rahman, and M. Hossain, "*Smart lighting control system using IoT and motion sensors for energy efficiency*," Journal of Energy Management, vol. 12, no. 3, pp. 45–58, 2019.
[7] Unit Perancangan Ekonomi Malaysia, Laporan Ekonomi Malaysia 2019. Malaysia: Unit Perancangan Ekonomi Malaysia, 2019.
[8] Sustainable Development Solutions Network, The Sustainable Development Goals and COVID-19: Sustainable Development Report 2020, 2020.
[9] K. Pease, M. Smith, and S. D. Johnson, "*The impact of poor lighting on crime and accident rates*," Journal of Crime Prevention, vol. 15, no. 2, pp. 112–130, 2021.

[10] W. Abrahamsen, L. Steg, and C. Vlek, "*Challenges in implementing sustainable and effective street lighting*," Journal of Urban Technology, vol. 29, no. 4, pp. 567–589, 2022.
[11] A. Setiawan, Y. Tan, and S. Lim, "*Energy efficiency and user comfort improvements through motion sensor technology*," Journal of Smart Systems, vol. 8, no. 1, pp. 101–115, 2023.
[12] M. Alam and H. Abbas, "*The impact of smart lighting systems on energy savings and pollutant reduction*," Environmental Technology Journal, vol. 15, no. 3, pp. 210–225, 2020.
[13] T. Cresswell, "*The impact of adaptive street lighting on traffic safety*," Journal of Traffic and Transportation Engineering, vol. 8, no. 3, pp. 215–230, 2021.
[14] L. Fernández and J. Pérez, "*Low-cost adaptive lighting: LDR and microcontroller integration for public lighting," Journal of Illuminating Engineering*, vol. 49, no. 2, pp. 101–109, 2020.
[15] R. Singh and A. Das, "*Performance evaluation of PIR sensors under varying environmental conditions*," Journal of Sensors and Actuator Networks, vol. 12, no. 1, Art. no. 45, 2023.
[16] M. Efendi, R. Juliansyah, and A. Salim, "*Comparative study of motion sensors for smart lighting*," Journal of Electrical Engineering, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2017.
[17] N. Gupta and R. Sharma, "*Energy consumption analysis of LED street lights in smart cities*," Sustainable Cities and Society, vol. 78, Art. no. 103603, 2022.
[18] P. Silva and J. Almeida, "*Solar-powered smart street lighting for rural environments*," Renewable Energy, vol. 155, pp. 1124–1133, 2020.
[19] Suruhanjaya Tenaga Malaysia, "*Guidelines on energy-efficient street lighting*," Suruhanjaya Tenaga Malaysia, Malaysia, Tech. Rep., 2021.
[20] A. Gautam, R. P. Singh, and V. Kumar, "*Smart street lighting: A review of energy-efficient lighting technologies and IoT-based control systems*," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 121, Art. no. 109697, 2020.