

Penggunaan Lampu Jalan Pintar Di Bandar Jitra

Izza Shafini binti Zainal Abidin¹, Nurul Atikah binti Aderiah², Nurul Hanis binti Abdul Halim³

Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah,

izzashafini@polimas.edu.my

Abstrak: Kajian ini bertujuan untuk meneroka aplikasi penggunaan lampu jalan pintar yang bertujuan untuk mencapai penggunaan tenaga elektrik yang cekap dan efisien di dalam pengurusan bandar pintar. Kertas kerja ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai pembangunan infrastruktur pencahayaan jalan awam pintar yang disesuaikan untuk aplikasi IoT di bandar pintar. Tumpuan diberikan kepada peralihan daripada pencahayaan konvensional kepada teknologi Diod Pemancar Cahaya (LED) dalam sistem pencahayaan jalan. Selain itu, konsep bandar pintar merujuk kepada penerapan infrastruktur digital moden untuk membangunkan fungsi inovatif dan menghubungkan pelbagai aplikasi, sejajar dengan paradigma IoT. Penemuan utama daripada kajian yang dicadangkan telah mempertingkatkan pengetahuan mengenai aplikasi pencahayaan jalan awam pintar. Sistem ini menggabungkan tiang pintar yang dilengkapi dengan teknologi lampu LED, sensor pintar, rangkaian komunikasi dan unit pemantauan, dengan memanfaatkan kemajuan teknologi semasa dalam aplikasi IoT. Sistem ini memberikan impak yang signifikan terhadap pembangunan infrastruktur bandar pintar melalui peningkatan kecekapan tenaga, tahap keselamatan dan kelestarian alam sekitar.

Kata Kunci: Lampu Jalan, Bandar Pintar, Internet of Thing (IoT)

1.0 Pengenalan

Lebih daripada enam bilion orang atau tujuh puluh peratus daripada populasi global, dijangka menghuni kawasan bandar menjelang tahun 2050. Penggunaan elektrik global kini mencapai angka yang ketara dan meningkat sekitar 3% setiap tahun. Pencahayaan luar menyumbang sebanyak 15–19% daripada penggunaan elektrik global, manakala pencahayaan mewakili kira-kira 2.4% daripada sumber tenaga tahunan umat manusia, yang menyumbang kepada 5–6% daripada jumlah pelepasan gas rumah hijau ke atmosfera (Looney, 2020).

Kepekatan atmosfera terdiri daripada karbon dioksida (CO₂), metana dan nitrus oksida telah meningkat sebanyak 40% berbanding era pra-industri, terutamanya akibat pembakaran bahan api fosil. Menurut anggaran, bandar menggunakan hampir 75% tenaga global, dan pencahayaan bandar luar sahaja boleh menyumbang sebanyak 20–40% daripada perbelanjaan bajet berkaitan tenaga. Dalam konteks ini, adalah penting untuk melaksanakan penyelesaian yang membolehkan pengurusan yang betul terhadap alam sekitar semula jadi dan persekitaran buatan manusia. Jawapan kepada cabaran ini mungkin terletak pada pencahayaan pintar, yang merupakan sebahagian daripada konsep bandar pintar. Ia adalah penting untuk memenuhi perjanjian dunia yang telah menetapkan pengurangan pelepasan gas rumah hijau sebanyak 80–90% menjelang tahun 2050 (Looney, 2020).

Oleh itu, bandar perlu menjadi pintar jika mereka mahu terus berfungsi sebagai platform yang mempromosikan kesejahteraan kewangan, sosial, dan alam sekitar. Sebuah bandar pintar ialah yang menggunakan teknologi maklumat dan komunikasi untuk meningkatkan responsif, interaktiviti dan keberkesanan perkhidmatan perbandaran dan pemantauan. Konsep bandar pintar yang sedang meningkat naik adalah demonstrasi berkuasa tentang bagaimana teknologi dapat meningkatkan taraf

hidup sambil juga menjadikan pengurusan tempatan lebih cekap. Hasil daripada globalisasi ekonomi, kadar urbanisasi telah meningkat secara berterusan sejak beberapa dekad kebelakangan ini di kebanyakan negara. Sebuah bandar pintar menawarkan cara yang bijak untuk menguruskan infrastruktur, termasuk rumah dan bangunan, tenaga, kesihatan, pendidikan, pengangkutan dan alam sekitar. Pembinaan bandar pintar terdiri terutamanya daripada teknologi maklumat dan komunikasi (ICT) (Chiradeja, P., & Yoomak, S. (2023). Ia membantu dalam penciptaan, penyebaran, dan promosi strategi pembangunan lestari di seluruh dunia untuk menangani masalah yang ditimbulkan oleh peningkatan urbanisasi. Melalui rangkaian Internet of Thing (IoT), ia membolehkan peranti penderiaan untuk berhubung ke internet, membenarkan pemindahan data dan penubuhan rangkaian komunikasi yang boleh digunakan untuk pengesanan dan pengenalan objek.

Pencahayaan LED (Diod Pemancar Cahaya) menjimatkan tenaga sebanyak 50–70% berbanding teknologi lama. Peralihan kepada pencahayaan LED boleh membawa faedah yang besar kepada bajet bandar yang ketat. Dianggarkan bahawa peralihan global kepada teknologi LED yang cekap tenaga dapat menjimatkan lebih daripada 1400 juta tan CO₂ dan mengelakkan pembinaan 1250 loji janakuasa (Bachanek et. al,2021).

Sehingga hari ini, masih jarang ditemui kejayaan pelaksanaan pemantauan lampu jalan tanpa sistem wayar yang efisien di Malaysia. Walaupun faedah dari segi kecekapan tenaga adalah jelas terbukti menjimatkan, namun pelaksanaan mungkin terhad disebabkan oleh isu seperti kos tinggi dan lampu jalan yang dipasang tidak boleh dimalapkan. Sistem lampu jalan sedia ada di Malaysia didapati menggunakan tenaga dan penyelenggaraan yang tinggi.

Lampu jalan pintar boleh digunakan untuk meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan awam. Walau bagaimanapun, ia bukan sahaja merupakan salah satu struktur yang paling banyak menggunakan elektrik, tetapi juga memberikan beban ekonomi kepada kerajaan tempatan. Lazimnya, banyak pihak berkuasa tempatan (PBT) mengambil pendekatan statik atau konvensional terhadap pencahayaan jalan. Ini menunjukkan banyak ketidakcekapan kerana ia tidak mengambil kira faktor persekitaran seperti tahap cahaya dan aliran trafik. Masalah ini juga dialami oleh pihak berkuasa tempatan di Daerah Kubang Pasu, Kedah. Kos pembiayaan bil elektrik bagi kawasan pentadbiran Majlis Perbandaran Kubang Pasu menunjukkan peningkatan dari masa ke semasa selari dengan peningkatan harga tarif elektrik di Malaysia. Oleh itu, kesedaran akan perlunya pengurusan infrastruktur yang pintar dan cekap amatlah diperlukan bagi menampung keperluan pengguna jalan raya di daerah Kubang Pasu terutama sekali dari aspek penyediaan lampu jalan. Oleh itu, inisiatif harus diambil ke arah penjimatan penggunaan bil elektrik bagi lampu jalan. Hal ini kerana, lampu jalan konvensional atau yang sedia ada digunakan pada masa kini menggunakan tenaga elektrik yang begitu banyak dan memakan kos yang tinggi dari aspek penggunaan dan penyelenggaraan. Lazimnya, jelas kelihatan melihat bahawa lampu jalan di lebuh raya sudah memadai untuk menunjukkan ianya satu pembaziran

tenaga mahupun kos kerana lampu di setiap jalan akan kekal menyala walaupun tiada kenderaan melalui lebuh raya tersebut.

Internet of Things atau dikenali sebagai IoT merupakan teknologi yang mampu menyambungkan peranti kepada rangkaian internet bergantung kepada jarak frekuensi radio seperti Wifi dan Bluetooth. Penggunaan ini semakin digunakan di Malaysia kerana diterapkan dalam sesuatu persekitaran bandar pintar mahupun di rumah. Hal ini dapat dilihat dengan penetapan, pengawalan peranti memudahkan pengguna yang menggunakannya, kebanyakan produk IOT hanya dipacu dengan menggunakan cip kecil hanya sebesar ibu jari tetapi mampu memainkan peranan yang penting di dalam kehidupan manusia. Dengan perkembangan yang semakin canggih ini, kita perlulah memanfaatkannya ke arah kemajuan dan kepintaran seperti memanfaatkannya ke arah mewujudkan lampu jalan pintar di dalam bandar.

2.0 Sorotan Literatur

Pembangunan bandar pintar memberikan pelbagai cabaran kepada pihak berkuasa tempatan, bukan sahaja dari segi penyesuaian teknologi kepada keperluan dan harapan tetapi juga dalam penjagaan alam sekitar. Konsep bandar pintar mempunyai pelbagai definisi, namun berdasarkan kajian mendalam terhadap literatur mengenai topik ini, bandar pintar adalah bandar yang mempunyai strategi pembangunan yang menekankan kreativiti, keterbukaan kepada inovasi, dan keupayaan menyesuaikan diri dengan cepat kepada perubahan luaran dan dalaman. Bandar-bandar ini menggunakan teknologi moden untuk meningkatkan kualiti hidup penduduk sambil mengatasi kesan negatif daripada kemerosotan ekosistem.

Pencahayaan LED berkualiti tinggi meningkatkan kualiti hidup di bandar dengan memberikan pencahayaan yang sesuai, menjadikan jalan lebih terang dan selamat. Menyediakan penyelesaian yang moden, cekap, penjimatan tenaga dan mesra manusia adalah matlamat yang diusahakan oleh pereka dan pengeluar pencahayaan. Kajian menunjukkan bahawa dengan penerapan teknologi inovatif, kehidupan di bandar akan menjadi lebih mudah dan kos berkaitan penggunaan tenaga serta penyelenggaraan infrastruktur akan lebih rendah.

Para saintis juga membuktikan bahawa pencahayaan jalan boleh mengurangkan permintaan tenaga dan mengurangkan CO₂ dengan ketara. Oleh kerana kebimbangan terhadap alam sekitar, pengeluar teknologi canggih cuba memperbaiki pencahayaan agar ia lebih cekap tenaga dan mesra alam. Sensor akan membolehkan penyesuaian intensiti cahaya mengikut keadaan, pencahayaan fokus sumber cahaya individu, serta memberi reaksi terhadap kehadiran pejalan kaki atau penunggang basikal, juga akan membantu meminimumkan penggunaan tenaga. Lampu jalan juga boleh mempunyai fungsi tambahan seperti stesen pengecasan basikal elektrik, yang akan mengurangkan pelepasan karbon dioksida ke atmosfera.

Bandar-bandar pada masa ini adalah pusat penggunaan tenaga terbesar. Oleh itu cabaran besar adalah merancang aktiviti jangka panjang sambil memastikan kecekapan maksimum sistem tenaga bandar. Menurut Bachanek et. al. (2021), dalam artikel mereka menyatakan bahawa apa-apa manifestasi penyelesaian pro-ekologi di bandar yang menjurus kepada pengurangan yang ketara dalam jejak karbon dan kos ekologi akan memberi manfaat jangka panjang untuk penduduk. Maka dengan itu, penggunaan sistem kawalan dan pemantauan pencahayaan lampu jalan yang pintar ataupun elemen bandar pintar yang lain sememangnya mampu menghasilkan penjimatan yang boleh diukur. Oleh itu, pihak berkuasa pengurusan bandar pintar harus melabur dalam teknologi moden seperti pencahayaan jalan pintar.

3.0 Metodologi Kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan penyelidikan kualitatif melalui kaedah analisis kandungan. Kaedah ini sangat meluas digunakan dalam pelbagai bidang meliputi pengurusan teknologi dan inovasi, tingkah laku organisasi, pengurusan sumber manusia mahupun bidang teknologi maklumat dan komunikasi. Pendekatan kaedah ini diterima meluas kerana kebolehan mengesan imej media dan kandungan teks (Duriau et.al, 2007) sesuatu dokumen dan sangat relevan diaplikasi dalam bidang penyelidikan alam sekitar. Jenis penyelidikan ini boleh mengambil pendekatan holistik dan meneroka proses sosial yang kompleks (Rashidi et. al, 2013).

Persampelan artikel dilakukan berpandukan kepada dua kaedah. Pertama, penggunaan kata kunci melalui pencarian artikel secara komprehensif meliputi tema lampu jalan pintar, bandar pintar dan Internet of Things (IoT). Manakala kaedah kedua pula, semakan terhadap senarai rujukan artikel pada akhir jurnal yang dijumpai pada peringkat pertama.

Objektif kajian ini ialah untuk meneroka data statistik berkaitan penggunaan elektrik di setiap negara sepanjang 30 tahun yang lalu. Analisis ini membolehkan kesimpulan dibuat berkaitan perubahan dalam penggunaan elektrik serta penunjuk tahap penggunaan tenaga dan perbelanjaan terhadap pencahayaan bandar dalam menuju ke arah bandar pintar.

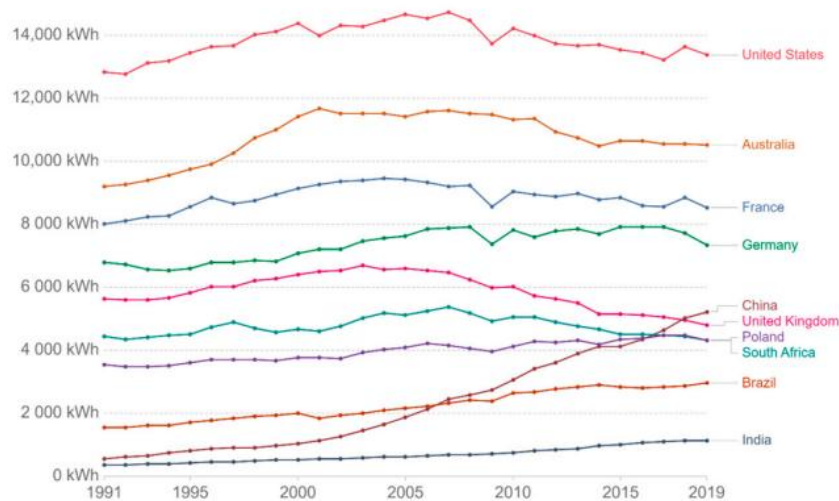
Manakala objektif kedua kajian ini ialah meneroka aplikasi lampu bandar pintar berteraskan penjimatan tenaga serta berbantuan IoT. Pemilihan kajian kes ini bukan secara kebetulan, sebaliknya tertumpu kepada penyelesaian moden yang sama ada merupakan sebahagian daripada konsep yang lebih besar, bersifat inovatif, dan boleh dijadikan penanda aras oleh bandar-bandar lain di dunia. Kaedah ini menunjukkan potensi amalam praktikal dan kesan positif yang boleh dicapai melalui pemakaian pencahayaan LED di bandar-bandar menerusi aplikasi IoT.

4.0 Analisis dan Dapatan Kajian

4.1 Penggunaan Tenaga

Pertambahan populasi bumi serta kecenderungan umum untuk dan meningkatkan taraf hidup telah memberi kesan terhadap peningkatan permintaan terhadap bahan mentah dan tenaga. Data daripada Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (PBB 2019) menunjukkan bahawa menjelang tahun 2030, populasi akan meningkat sebanyak satu bilion, daripada 7.8 bilion pada tahun 2000 kepada 8.6 bilion pada tahun 2030. Pada tahun 2050, dunia dijangka mempunyai 9.8 bilion orang, dan sebanyak 11.2 bilion pada tahun 2100 (Bachanek et.al, 2021). Pertumbuhan populasi sebegini akan menyebabkan permintaan terhadap bahan api dan tenaga terus meningkat.

Rajah 1 menunjukkan penggunaan elektrik per kapita mengikut berdasarkan negara terpilih. Rajah tersebut menunjukkan bahawa permintaan tenaga per kapita negara China, Brazil, dan India juga meningkat dari tahun ke tahun. Manakala kerajaan di Eropah Barat dan Amerika Syarikat pula menunjukkan sedikit penurunan dalam beberapa tahun kebelakangan ini. Di samping itu, Rajah 1 juga memaparkan analisis yang penting. Brazil, China, dan India telah mengalami dinamisme ekonomi yang tinggi sejak awal abad ke-21 dan merupakan kuasa penggerak utama kepada pasaran baru dunia. Negara-negara ini menyumbang kepada sebahagian besar pertumbuhan tenaga global.



Rajah 1: Penggunaan tenaga elektrik perkapita (kWh) untuk negara terpilih

4.2 Penggunaan Lampu Jalan Pintar sebagai Elemen Bandar Pintar

Pencahayaan jalan awam pintar boleh ditakrifkan sebagai satu sistem pintar yang menggunakan teknologi sumber cahaya inovatif, memenuhi pelbagai tujuan yang ditentukan oleh pengguna dan

mengintegrasikan teknologi IoT. Dengan menggabungkan ciri pintar ke dalam perkhidmatan pencahayaan awam, bandar pintar berusaha untuk memenuhi keperluan penduduk yang sentiasa berubah. Oleh itu, bahagian ini menghuraikan prosedur untuk merealisasikan sistem pencahayaan jalan awam pintar, yang merupakan salah satu daripada banyak peluang yang perlu diberi keutamaan oleh sesebuah bandar pintar.

Dalam konteks ini, kajian ini tidak hanya melibatkan penggantian dan naik taraf lampu jalan tradisional kepada teknologi LED, tetapi juga penggunaan infrastruktur komunikasi dan maklumat serta kemungkinan untuk menggabungkan pelbagai prosedur. Pendekatan ini merangkumi sistem pengurusan dan pemantauan untuk seluruh bandar pintar.

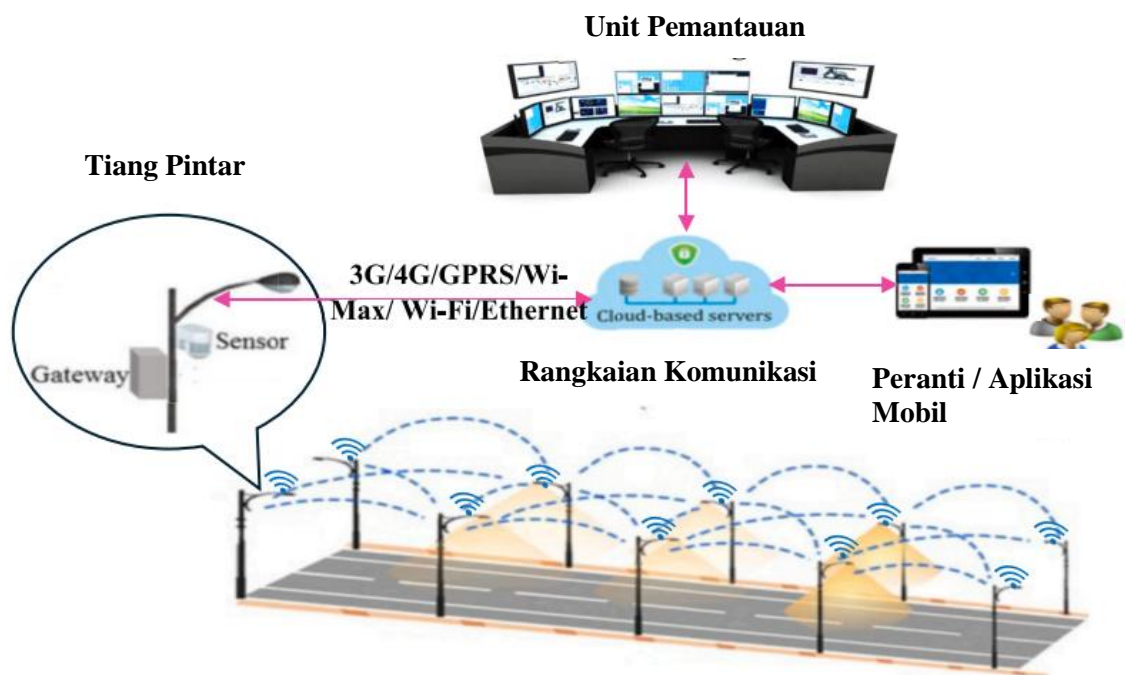
Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1, sistem yang dicadangkan berpusat kepada takrif aplikasi pencahayaan jalan awam pintar, dengan menonjolkan komponen utamanya dan memastikan perkara berikut:

- Penyeliaan jarak jauh terhadap infrastruktur pencahayaan jalan awam.
- Pengurusan pintar lampu jalan untuk melaras intensiti pencahayaan pada setiap lampu atau kumpulan lampu berdasarkan waktu harian, waktu malam, keadaan cuaca, dan kehadiran kenderaan dan/atau pejalan kaki dalam kawasan yang dipantau.
- Memastikan tahap kecerahan memenuhi keperluan yang ditetapkan oleh peraturan serantau/kebangsaan/piawaian dalam semua keadaan operasi.
- Pemantauan trafik dan situasi kecemasan, termasuk kesesakan jalan dan pelanggaran, bagi memastikan sistem lalai yang selamat berfungsi.
- Pengurusan jauh dan pintu masuk kepada semua perkhidmatan bagi mengatur kawalan pencahayaan jalan serta memantau amaran melalui aplikasi web.
- Penubuhan interaksi jauh antara peranti mudah alih, telefon pintar serta aplikasi web menggunakan sambungan WiFi/3G/4G.
- Pengekstrakan semua data secara masa nyata (*real-time*), perkongsian data tersebut dengan aplikasi web dan pemberitahuan kepada sistem pengurusan jauh.
- Keselamatan umum, terutamanya apabila berlaku kerosakan pada sambungan atau komponen, dipastikan melalui pengaktifan mod lalai keselamatan (*failsafe*) dalam sistem pencahayaan jalan pintar. Akibatnya, semua ciri pintar akan dinyahaktifkan dan sistem akan beroperasi seperti sistem konvensional yang tidak bersambung.

Tuntas, evolusi sistem pencahayaan jalan awam pintar dalam tempoh dua dekad yang lalu telah menunjukkan kemajuan yang ketara, khususnya dengan peralihan daripada pencahayaan tradisional kepada teknologi LED. Peralihan ini telah meningkatkan kecekapan tenaga dan mengurangkan kos operasi (Khemakhem,2024).

Pada mulanya, integrasi teknologi LED dan sensor IoT adalah mahal, namun kini telah menjadi lebih mampu milik disebabkan oleh kemajuan teknologi dan ekonomi skala, sekali gus memperluas akses kepada pihak berkuasa tempatan. Polisi kerajaan dan insentif juga telah mempercepatkan penggunaan sistem ini, seiring dengan inisiatif kelestarian dan bandar pintar.

Faktor tambahan seperti kemajuan dalam rangkaian komunikasi, penyelenggaraan ramalan melalui analisis data, dan kesedaran alam sekitar yang semakin meningkat turut membentuk landskap semasa sistem pencahayaan pintar, menekankan konteks sejarah dan kepentingan ekonominya. (Gagliardi et.al, 2020).



Rajah 2:Lampu jalan Pintar berteraskan IoT

Sesungguhnya, konfigurasi standard bagi sistem pencahayaan jalan awam pintar merangkumi komponen asas berikut:

- Tiang Pintar
- Rangkaian Komunikasi
- Unit Pemantauan

4.3 Tiang Pintar

Tiang pintar yang pada asasnya merupakan lekapan lampu jalan, biasanya terdiri daripada lampu jalan yang dilengkapi dengan teknologi lampu LED berkecekapan tinggi, pengawal cahaya setempat, sensor pintar, dan peranti komunikasi. Tiang-tiang pintar ini saling berhubung, mampu

bertukar arahan penyeliaan dan permintaan maklumat antara satu sama lain, serta boleh berinteraksi dengan unit pemantauan melalui pintu gerbang(Chiradeja, dan Yoomak, 2023) . Unit pemantauan ini bertindak sebagai hab pengurusan infrastruktur pusat, yang bertanggungjawab untuk mengawal dan mengkonfigurasi setiap lampu jalan serta memantau status operasi mereka. Komunikasi antara unit pemantauan dan setiap lampu jalan dipermudah melalui rangkaian komunikasi, yang memastikan liputan menyeluruh di seluruh kawasan pemasangan lampu jalan. Pengawal cahaya setempat berfungsi sebagai komponen pintar bagi lampu jalan, yang diintegrasikan dengan sensor IoT dalam rangka kerja bandar pintar. Mereka bertanggungjawab untuk melaksanakan arahan yang diterima daripada unit pemantauan dan menyediakan maklum balas penting apabila diperlukan.

Tiang pintar juga harus dilengkapi dengan sensor pintar yang mengumpul data dan kemudiannya dihantar ke sistem pengawal lampu untuk menentukan tindakan yang sesuai. Dengan berbantuan akses internet yang semakin meluas di bandar-bandar, sistem kawalan lampu jalan berasaskan IoT kini semakin banyak digunakan. Sensor pintar mampu mengesan perubahan masa nyata dalam pelbagai parameter seperti keadaan cuaca, ketersediaan cahaya semula jadi, faktor persekitaran, orientasi lampu, keadaan trafik dan kualiti udara (S.Khemakhem et. al, 2024).

4.4 Rangkaian Komunikasi

Satu lagi aspek penting dalam aplikasi pencahayaan jalan awam pintar ialah kemesraan pengguna dalam komunikasi antara pengendali sistem dan infrastruktur. Unit pemantauan berfungsi sebagai hos sistem dan boleh dipasang sama ada di premis (on-premises) atau di awan (Cloud), bergantung kepada keperluan (Gorgulu et. al,2020).

Oleh itu, sistem pencahayaan jalan awam pintar merangkumi aplikasi web dan aplikasi mudah alih bagi memudahkan kawalan dan penyeliaan dari jauh. Platform ini menawarkan ciri-ciri dan fungsi tambahan, terutamanya apabila menggunakan sensor IoT canggih, infrastruktur teknologi tinggi dan perisian aplikasi yang mantap.

4.5 Unit Pemantauan

Satu lagi aspek penting dalam aplikasi pencahayaan jalan awam pintar ialah kemudahan komunikasi antara pengendali sistem dan infrastruktur. Unit pemantauan berfungsi sebagai hos sistem dan boleh dipasang sama ada secara di premis bergantung kepada keperluan. Oleh itu, sistem pencahayaan jalan awam pintar merangkumi aplikasi web dan aplikasi mudah alih bagi memudahkan kawalan dan penyeliaan dari jauh. Platform ini menawarkan ciri dan fungsi tambahan, terutamanya

apabila menggunakan sensor IoT yang canggih, infrastruktur teknologi tinggi dan perisian aplikasi yang mantap.

5.0 Perbincangan dan Kesimpulan

Lampu jalan pintar berfungsi sebagai asas kepada pelbagai inisiatif bandar pintar di seluruh dunia. Dengan menaik taraf lampu jalan tradisional kepada teknologi LED, ia dapat mengurangkan penggunaan tenaga dan kos operasi hampir sebanyak 46%. Selain kecekapan tenaga, keperluan melengkapkan setiap lampu jalan pintar dengan komunikasi dua hala meningkatkan infrastruktur komunikasi seluruh bandar. Rangkaian ini membolehkan penghantaran maklumat, pengumpulan data dan penyampaian perkhidmatan ke pelbagai peranti IoT.

Kajian ini memperkenalkan konsep infrastruktur pencahayaan jalan pintar berbantuan aplikasi IoT. Pada awalnya, penerangan sistem secara menyeluruh, diikuti dengan garis besar idea asas, ciri utama, dan komponen penting dalam aplikasi pencahayaan jalan awam pintar diterangkan. Peralihan kepada teknologi LED serta sensor menerusi penggunaan tiang lampu pintar bagi pencahayaan jalan juga merupakan faktor penting dalam kejayaan dan pelaksanaan konsep bandar pintar. Ini adalah kerana, sistem lampu pintar mampu menawarkan kecekapan yang lebih tinggi, ketahanan, mesra alam dan kawalan sepenuhnya dan seterusnya memberi manfaat kepada pihak berkepentingan dalam pengurusan bandar yang lestari.

Rujukan

Bachanek, K. N., Tundys, B., Wiśniewski, T., Puzio, E., & Maroušková, A. (2021). Intelligent street lighting in a smart city concepts—A direction to energy saving in cities: An overview and case study. *Energies*, *14*(11), 3018. <https://doi.org/10.3390/en14113018>

Chiradeja, P., & Yoomak, S. (2023). Development of public lighting system with smart lighting control systems and Internet of Things (IoT) technologies for smart city. *Energy Reports*, *10*, 3355–3372. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.027>

Duriau, V. J., Reger, R. K., & Pfarrer, M. D. (2007). A content analysis of the content analysis literature in organization studies: Research themes, data sources, and methodological refinements. *Organizational Research Methods*, *10*(1), 5–34.

Gagliardi, G., Lupia, M., Cario, G., Tedesco, F., Gaccio, F. C., Lo Scudo, F., & Casavola, A. (2020). Advanced adaptive street lighting systems for smart cities. *Smart Cities*, *3*(4), 1495–1512. <https://doi.org/10.3390/smartcities3040071>

Gorgulu, S., & Kocabey, S. (2020). An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems: A case study for a university campus. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121060>

Khemakhem, S., & Krichen, L. (2024). A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities. *Franklin Open*, 8, 100142.

Krippendorff, K. (2013). *Content analysis: An introduction to its methodology* (3rd ed.). SAGE Publications.

Looney, B. (2020). *Full report—BP statistical review of world energy 2020*. BP.

Rashidi, M. N., Ara Begum, R., Mokhtar, M., & Pereira, J. J. (2013). Pelaksanaan analisis kandungan sebagai metodologi kajian bagi mengenalpasti kriteria pembinaan lestari. *Journal of Advanced Research Design*, 1(1), 18–27.

Zissis, G. (2016). Energy consumption and environmental and economic impact of lighting: The current situation. In R. Karlicek, C. C. Sun, G. Zissis, & R. Ma (Eds.), *Handbook of advanced lighting technology* (pp. 1–13). Springer.