

Pembangunan dan Penilaian Sistem Kawalan Suis Pintar Berasaskan Internet of Things (IoT) bagi Meningkatkan Keselamatan dan Kecekapan Tenaga Elektrik di Hostel Pekerja

¹Irma Suryani Binti Abu Bakar ²Ali Yusny Bin Daud & ³Muhammad Hakim Bin Musa

^{1,3}Department of Electrical Engineering, Politeknik Sultan Abdul Halim
Mu'adzam Shah

²School of Computing, Universiti Utara Malaysia

Abstrak: Kebakaran yang berpunca daripada penggunaan arus elektrik berlebihan, litar pintas serta kecuaiian pengguna merupakan isu keselamatan yang kerap berlaku di bangunan kediaman yang padat seperti hostel pekerja. Keadaan ini bukan sahaja mengancam keselamatan nyawa dan harta benda, malah menyumbang kepada pembaziran tenaga elektrik serta peningkatan kos operasi. Seiring dengan perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT), pelbagai penyelesaian pintar telah diperkenalkan bagi meningkatkan tahap pemantauan dan kawalan sistem elektrik secara masa nyata. Kajian ini bertujuan membangunkan dan menilai satu sistem kawalan suis pintar berasaskan IoT yang dilengkapi dengan fungsi pemutusan (*cutoff*) automatik bagi mengurangkan risiko kebakaran elektrik. Ia juga meningkatkan keselamatan pengguna serta menggalakkan penggunaan tenaga secara berhemah. Sistem yang dibangunkan menggunakan mikropengawal ESP32 sebagai unit pemprosesan utama, sensor arus ACS712 bagi pemantauan arus, sensor voltan ZMPT101B bagi pemantauan voltan serta modul *relay* bagi kawalan lampu dan soket. Aplikasi Blynk digunakan sebagai antara muka pengguna untuk tujuan pemantauan dan kawalan jarak jauh. Metodologi kajian merangkumi reka bentuk sistem, pembangunan perkakasan dan perisian, serta pengujian fungsi di persekitaran makmal. Dapatan kajian menunjukkan bahawa sistem ini mampu memaparkan bacaan arus, voltan dan kuasa secara masa nyata serta melaksanakan pemutusan bekalan kuasa secara automatik apabila had penggunaan arus dicapai. Secara keseluruhan, sistem yang dibangunkan berpotensi meningkatkan tahap keselamatan elektrik, mengurangkan pembaziran tenaga dan menyokong amalan penggunaan tenaga yang lebih lestari di hostel pekerja.

Kata kunci: *Internet of Things, keselamatan elektrik, kawalan suis pintar, fungsi cutoff, pemantauan tenaga*

1.0 Pendahuluan

Keselamatan elektrik ialah komponen asas dalam pengurusan kemudahan bangunan, terutamanya di premis yang menempatkan ramai penghuni seperti hostel pekerja (Al-Rashdi et al., 2026). Dalam persekitaran sedemikian, peralatan elektrik lazimnya digunakan secara berkongsi, beroperasi dalam tempoh yang panjang dan sering dipasang melalui sambungan tambahan seperti 'extension' atau soket yang berbilang (Sinar Harian, 2025). Amalan ini meningkatkan risiko arus berlebihan, pemanasan pendawaian, kerosakan penebat serta kejadian litar pintas yang boleh mencetuskan kebakaran.

Al-Rashdi et al. (2020) menyatakan selain faktor teknikal, faktor tingkah laku pengguna juga memainkan peranan penting. Kecuaiian menutup suis, membiarkan pengecas atau peralatan beroperasi tanpa pengawasan, serta kurangnya kesedaran tentang had arus selamat, menjadikan hostel pekerja antara lokasi berisiko tinggi. Pendekatan konvensional yang bergantung kepada poster amaran dan garis panduan keselamatan sering kali tidak memadai kerana keberkesanannya bergantung pada disiplin pengguna dan pemantauan manual oleh pihak pengurusan.

Dalam konteks ini, teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan potensi besar untuk mempertingkatkan pengurusan elektrik secara proaktif. IoT membolehkan data operasi (contohnya

arus, voltan dan kuasa) direkod dan dihantar secara masa nyata, manakala tindakan kawalan boleh dilaksanakan dari jarak jauh melalui aplikasi mudah alih (Pawar et al., 2021). Lebih penting, IoT boleh mengautomasikan tindak balas keselamatan, contohnya memutuskan bekalan kuasa secara automatik apabila penggunaan arus melepasi tahap yang ditetapkan.

Oleh itu, kajian ini memfokuskan pembangunan dan penilaian sistem kawalan suis pintar berasaskan IoT dengan fungsi *cutoff* automatik. Sistem direka bagi (i) memantau parameter elektrik secara masa nyata, (ii) memberi kawalan suis/*relay* melalui aplikasi mudah alih, dan (iii) melaksanakan pemutusan bekalan kuasa secara automatik apabila berlaku arus berlebihan. Hasil kajian diharap dapat menyumbang kepada peningkatan keselamatan, penjimatan tenaga dan kebolehgunaan sistem elektrik di hostel pekerja serta menjadi contoh aplikasi projek dalam pendidikan TVET.

2.0 Kajian Literatur

Kajian literatur dilaksanakan untuk mengenal pasti trend, pendekatan teknologi serta jurang kajian berkaitan pemantauan tenaga dan kawalan elektrik berasaskan IoT. Secara umum, penyelesaian Internet of Things (IoT) dalam domain pengurusan tenaga elektrik boleh dikategorikan kepada sistem pemantauan tenaga, sistem kawalan peralatan dan sistem perlindungan keselamatan yang melaksanakan automasi bagi mengurangkan risiko arus berlebihan (Al-Fuqaha et al., 2015; Gungor et al., 2013; Pawar et al., 2021).

Bagi sistem pemantauan tenaga, banyak kajian terdahulu menggunakan mikropengawal seperti Arduino UNO, NodeMCU atau ESP32 bersama *sensor* arus untuk mengukur penggunaan elektrik. Data biasanya dipaparkan melalui aplikasi mudah alih atau paparan digital. Kekuatan utama pendekatan ini ialah peningkatan keterlihatan (*visibility*) penggunaan tenaga, iaitu pengguna boleh mengenal pasti peralatan yang menyumbang kepada penggunaan tinggi dan mengesan pola pembaziran. Walau bagaimanapun, fokus pemantauan semata-mata masih memerlukan tindakan manual pengguna apabila bacaan menunjukkan keadaan berbahaya.

Sementara itu, sistem kawalan peralatan menggunakan modul *relay* atau ‘*smart switch*’ untuk menghidupkan dan mematikan peralatan dari jarak jauh. Fungsi ini membantu mengurangkan pembaziran apabila pengguna terlupa mematikan peralatan. Namun, banyak sistem kawalan pintar lebih menekankan kemudahan (*convenience*) dan kurang menekankan ciri keselamatan seperti pemutusan automatik apabila arus melebihi tahapnya. Dalam persekitaran hostel pekerja, ciri keselamatan adalah kritikal kerana pengawasan pengguna di sini adalah sangat tidak konsisten.

Bagi sistem perlindungan keselamatan, terdapat pendekatan yang menghantar notifikasi atau amaran apabila arus melebihi tahap tertentu. Walaupun notifikasi meningkatkan kesedaran, sistem masih bergantung pada respons manual. Jurang utama yang dikenal pasti ialah kekurangan integrasi menyeluruh antara pemantauan tenaga, kawalan suis dan perlindungan automatik dalam satu platform kos rendah yang mudah digunakan. Oleh itu, kajian ini mengisi jurang dengan membangunkan sistem yang menggabungkan tiga elemen tersebut dalam satu penyelesaian IoT yang praktikal.

Jadual 1 menunjukkan perbandingan dengan kajian terdahulu. Perbandingan ini dilakukan dengan IoT Energy Meter (El-Khozondar et. al., 2024), Smart Energy Monitor (Hidayat, K. M. W., & Al-Faris, M. G., 2025) dan Energy Alert System (Chong, H. S., 2025).

Jadual 1

Perbandingan Kajian Terdahulu dengan Sistem Kajian Ini

| Kajian/Projek | Mikropengawal | Fungsi Pemantauan | Kawalan Suis | Cutoff Automatik | Antara Muka |
|----------------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------|
| IoT Energy Meter | Arduino UNO | Ya | Terhad | Tidak | Blynk/App |
| Smart Energy Monitor | NodeMCU | Ya | Ya | Tidak | App |
| Energy Alert System | ESP32 | Ya | Tidak | Notifikasi sahaja | App |
| Kajian Ini | ESP32 | Ya | Ya | Ya | Blynk |

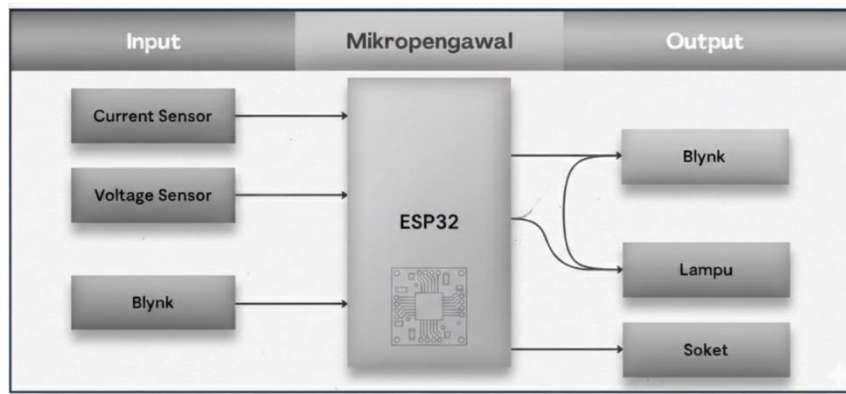
3.0 Metodologi

Metodologi kajian merangkumi empat fasa utama: (i) reka bentuk sistem, (ii) pembangunan perkakasan, (iii) pembangunan perisian, dan (iv) pengujian serta penilaian seperti yang ditunjukkan dalam rajah 1. Pendekatan ini memastikan pembangunan sistem dilakukan secara sistematik dan boleh diulang (*replicable*).

Pada fasa reka bentuk, keperluan fungsi ditetapkan merangkumi pemantauan arus/voltan, pengiraan kuasa, kawalan *relay* melalui aplikasi serta logik *cutoff* automatik. Rajah 2 memaparkan blok diagram rekabentuk bagi kajian ini. ESP32 dipilih sebagai pemproses utama kerana mempunyai Wi-Fi terbina, prestasi yang baik serta ekosistem pembangunan yang meluas. Sensor ACS712 dipilih untuk pengukuran arus kerana kos rendah dan kemudahan integrasi, manakala ZMPT101B digunakan untuk pengukuran voltan AC. Modul *relay* digunakan sebagai pengantara antara kawalan digital dan beban elektrik.



Rajah 1: Metodologi Kajian



Rajah 2: Blok Diagram Rekabentuk Sistem Projek

Pada fasa pembangunan perkakasan, sambungan komponen dilakukan mengikut susun atur yang selamat. Input analog digunakan untuk bacaan sensor, manakala output digital ESP32 mengawal *relay*. Langkah keselamatan diambil dengan memastikan pengasingan antara litar kawalan voltan rendah dan litar beban AC, serta menggunakan kaedah pendawaian yang kemas untuk mengurangkan risiko sentuhan secara tidak sengaja. Rajah 3 menunjukkan carta alir pembangunan perkakasan dan perisian projek ini.

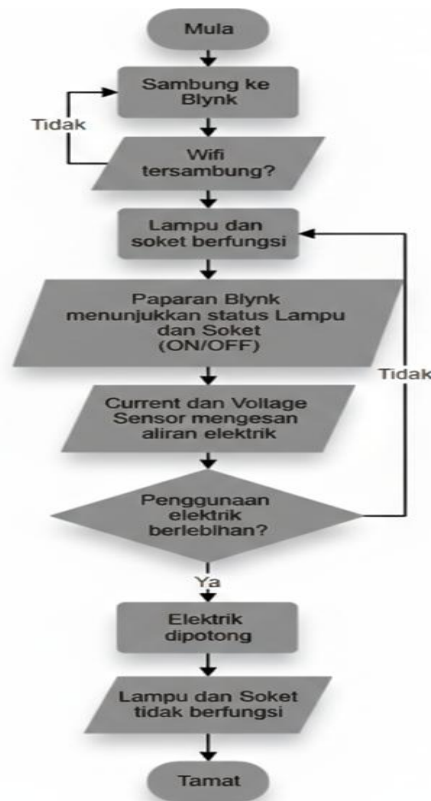
Pada fasa pembangunan perisian, pengaturcaraan dilakukan menggunakan Arduino IDE. Algoritma utama melibatkan pembacaan nilai sensor, penapisan bacaan (bagi mengurangkan bising/hingar), pengiraan kuasa ($P \approx V \times I$ sebagai anggaran), penghantaran data ke aplikasi Blynk dan pelaksanaan logik *cutoff*. Nilai maksimum arus ditetapkan sebagai parameter keselamatan dan boleh dilaras mengikut keperluan premis.

Selain itu, proses penentukuran (*calibration*) telah dijalankan bagi meningkatkan ketepatan bacaan sensor. Sensor arus ACS712 diukur dengan menentukan nilai *offset* sifar apabila tiada beban disambungkan. Ia diikuti dengan pelarasan skala berdasarkan beban rujukan yang diperolehi. Sensor voltan ZMPT101B pula diukur dengan membandingkan bacaan dengan multimeter standard bagi memastikan keseragaman nilai voltan AC.

Bagi mengurangkan kesan hingar (*noise*) dan turun naik bacaan sensor, beberapa sampel bacaan diambil dan dipuratakan sebelum diproses. Kaedah ini membantu meningkatkan kestabilan bacaan terutamanya apabila beban berubah-ubah.

Walau bagaimanapun, pengiraan kuasa dalam kajian ini menggunakan formula anggaran, iaitu $P \approx V \times I$, yang mengandaikan faktor kuasa (*power factor*) adalah bersamaan satu. Oleh itu, pengiraan ini tidak mengambil kira komponen kuasa reaktif dalam sistem AC, yang boleh menyebabkan ralat pengukuran terutamanya bagi beban jenis induktif atau kapasitif.

Pengujian sistem dijalankan di persekitaran makmal menggunakan beberapa beban elektrik (contohnya lampu LED, beban soket dan gabungan beban). Ujian menilai (i) kestabilan bacaan sensor, (ii) keupayaan paparan masa nyata, (iii) tindak balas *cutoff* terhadap arus berlebihan, dan (iv) kebolegunaan kawalan jarak jauh melalui aplikasi.



Rajah 3: Carta Alir Pembangunan Perkakasan dan Perisian Projek

4.0 Analisis Data dan Dapatan Kajian

Bahagian ini membentangkan dapatan pengujian sistem berdasarkan parameter pemantauan dan fungsi keselamatan. Analisis memfokuskan prestasi bacaan arus/voltan, ketepatan relatif pengiraan kuasa, serta keberkesanan *cutoff* dalam situasi arus berlebihan.

Secara keseluruhan, bacaan arus dan voltan menunjukkan corak yang konsisten mengikut perubahan beban. Paparan masa nyata melalui Blynk memudahkan pengguna memantau keadaan operasi semasa. Keupayaan ini penting sebagai asas kepada pengesanan awal keadaan tidak normal.

Jadual 2

Contoh Bacaan Arus, Voltan dan Kuasa Semasa Pengujian

| Jenis Beban | Voltan (V) | Arus (A) | Kuasa (W) |
|----------------------------------|------------|----------|-----------|
| Lampu LED | 232 | 0.18 | 41.76 |
| Soket Elektrik (beban sederhana) | 230 | 0.65 | 149.50 |
| Gabungan Beban | 231 | 0.83 | 191.73 |

Berdasarkan Jadual 2, peningkatan beban meningkatkan nilai arus dan kuasa. Walaupun nilai kuasa yang dipaparkan adalah anggaran (bergantung kepada faktor kuasa beban), ia memadai sebagai indikator untuk tujuan pemantauan dan kawalan keselamatan di peringkat prototaip.

Bagi menilai ketepatan sistem, bacaan sensor telah dibandingkan dengan bacaan daripada multimeter digital standard di bawah keadaan beban yang sama. Hasil perbandingan menunjukkan bahawa bacaan arus dan voltan mempunyai julat ralat anggaran sekitar $\pm 5\%$ hingga $\pm 8\%$, bergantung kepada kestabilan beban dan gangguan persekitaran.

Perbezaan ini disumbangkan oleh had ketepatan sensor, kesan hingar isyarat serta ketiadaan teknik penapisan isyarat lanjutan. Walaubagaimanapun, tahap ketepatan ini masih boleh diterima bagi tujuan pemantauan dan kawalan keselamatan pada peringkat prototaip.

Fungsi *cutoff* diuji dengan menetapkan ambang arus yang berbeza. Apabila bacaan melebihi ambang, *relay* diputuskan secara automatik. Mekanisme ini mengurangkan risiko pemanasan berlebihan pada pendawaian serta mengelakkan beban daripada terus menerima arus tinggi dalam tempoh yang lama.

Jadual 3
Keputusan Pengujian Fungsi *Cutoff*

| Had Arus (A) | Arus Dikesan (A) | Status Relay | Tindakan Sistem |
|--------------|------------------|--------------|---------------------------------------|
| 0.70 | 0.65 | ON | Operasi normal (tiada <i>cutoff</i>) |
| 0.70 | 0.72 | OFF | <i>Cutoff</i> diaktifkan |
| 0.80 | 0.83 | OFF | <i>Cutoff</i> diaktifkan |

Jadual 3 menunjukkan *cutoff* berfungsi apabila arus melepasi had yang ditetapkan. Tindak balas automatik ini mengurangkan kebergantungan kepada tindakan manual pengguna, yang sering menjadi punca kelewatan dalam situasi berisiko. Jadual 4 pula merumuskan penilaian implikasi sistem terhadap keselamatan, penjimatan tenaga dan kebolehgunaan yang didapati hasil ujian yang telah dijalankan.

Jadual 4
Implikasi Sistem Berdasarkan Aspek Utama

| Aspek | Huraian Implikasi | Kesan Kepada Pengguna/Premis |
|-------------------|---|--|
| Keselamatan | Pemutusan kuasa automatik apabila arus berlebihan; pengesanan awal keadaan tidak normal | Risiko kebakaran dan kerosakan peralatan dapat dikurangkan |
| Penjimatan tenaga | Pemantauan masa nyata dan kawalan jarak jauh | Pengurangan pembaziran dan kos bil elektrik |

| | |
|--------------|--|
| Kebolegunaan | mengelakkan peralatan hidup tanpa keperluan Antara muka Blynk Mudah digunakan oleh ringkas; kawalan boleh pengguna bukan teknikal dilakukan melalui telefon pintar |
|--------------|--|

Dari aspek penanda aras prestasi (*performance benchmarking*), sistem yang dibangunkan menunjukkan fungsi yang setara dengan sistem pemantauan tenaga berasaskan IoT kos rendah yang dilaporkan dalam kajian terdahulu. Sama seperti sistem yang menggunakan ESP32 dan sensor arus asas, projek ini berjaya menyediakan pemantauan masa nyata serta fungsi pemutusan automatik (*cutoff*).

Walau bagaimanapun, jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan modul pengukuran tenaga khusus seperti PZEM, sistem ini mempunyai ketepatan pengukuran yang lebih rendah. Namun, kelebihan utama sistem ini adalah dari segi kos yang lebih rendah, reka bentuk yang ringkas serta kemudahan pelaksanaan. Ia menjadikannya sesuai untuk aplikasi pendidikan dan skala kecil.

5.0 Perbincangan

Perbincangan ini menilai dapatan kajian secara kritikal, dengan menekankan sumbangan sistem terhadap keselamatan dan kecekapan tenaga di hostel pekerja. Berbanding sistem pemantauan tenaga semata-mata, sistem kajian ini mengintegrasikan pemantauan, kawalan suis dan perlindungan automatik dalam satu platform.

Dari perspektif keselamatan, fungsi *cutoff* automatik adalah kelebihan utama. Dalam persekitaran hostel pekerja, penggunaan peralatan elektrik sering tidak dipantau secara konsisten. Oleh itu, mekanisme yang boleh bertindak tanpa menunggu respons pengguna adalah lebih sesuai. Keupayaan sistem untuk memutuskan *relay* apabila arus melepasi tahap membantu mengurangkan risiko pemanasan pendawaian dan kegagalan penambat yang boleh mencetus kebakaran.

Dari perspektif penjimatan tenaga, pemantauan masa nyata memberi '*feedback*' segera kepada pengguna mengenai penggunaan semasa. Kajian dalam domain pemantauan tenaga menunjukkan maklum balas masa nyata boleh mengubah tingkah laku penggunaan (contohnya mengurangkan tabiat meninggalkan peralatan hidup). Dalam sistem ini, kawalan jarak jauh melalui Blynk membolehkan tindakan pembetulan dilakukan dengan segera, contohnya mematikan soket yang tidak digunakan.

Aspek kebolegunaan pula penting untuk penerimaan pengguna (*user acceptance*). Antara muka Blynk yang ringkas membolehkan pengguna bukan teknikal memahami status sistem dan melakukan kawalan asas. Namun, sistem masih bergantung kepada kestabilan Wi-Fi untuk pemantauan masa nyata. Walaupun *cutoff* boleh direka untuk kekal berfungsi secara tempatan (tanpa internet), gangguan rangkaian boleh menjejaskan paparan data dan notifikasi.

Justeru, penambahbaikan masa hadapan boleh mempertimbangkan penyimpanan data tempatan, 'buffering' atau penggunaan rangkaian alternatif.

Selain itu, ketepatan bacaan sensor dipengaruhi oleh penentuan dan bacaan kebisingan/hingar. Untuk aplikasi berskala lebih besar, disyorkan penggunaan kaedah penapisan isyarat yang lebih mantap serta sensor yang lebih tepat. Walau bagaimanapun, bagi tujuan prototaip kos rendah dan pendidikan TVET, kombinasi komponen ini memadai untuk menunjukkan konsep dan keberkesanan fungsi keselamatan.

Dari sudut sumbangan kepada TVET, projek ini sesuai dijadikan bahan pembelajaran berasaskan projek kerana ia menggabungkan elemen pendawaian asas, elektronik, pengaturcaraan mikropengawal, IoT dan aspek keselamatan. Pelajar dapat memahami bagaimana teknologi digital diterjemah kepada penyelesaian masalah dunia sebenar, termasuk aspek keperluan pengguna, risiko keselamatan dan penilaian prestasi.

Salah satu limitasi utama sistem ini ialah kaedah pengiraan kuasa yang digunakan adalah secara anggaran dan tidak mengambil kira faktor kuasa. Dalam sistem AC sebenar, terutamanya bagi beban seperti kipas atau motor, nilai kuasa sebenar mungkin berbeza daripada nilai yang dikira. Oleh itu, penambahbaikan pada masa hadapan boleh melibatkan integrasi pengukuran faktor kuasa atau penggunaan modul pengukuran tenaga yang lebih tepat.

6.0 Kesimpulan

Kajian ini berjaya membangunkan satu sistem kawalan suis pintar berasaskan *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi fungsi *cutoff* automatik bagi meningkatkan keselamatan dan kecekapan penggunaan tenaga elektrik di hostel pekerja. Sistem menggunakan ESP32, ACS712, ZMPT101B, modul relay dan aplikasi Blynk untuk pemantauan serta kawalan jarak jauh.

Dapatan pengujian menunjukkan sistem mampu memaparkan bacaan arus, voltan dan kuasa secara masa nyata serta memutuskan bekalan kuasa secara automatik apabila penggunaan arus melebihi had yang ditetapkan. Keupayaan ini berpotensi mengurangkan risiko kebakaran elektrik dan mengelakkan kerosakan peralatan akibat arus berlebihan.

Walaupun sistem ini menunjukkan prestasi yang baik dari segi pemantauan dan keselamatan, penambahbaikan pada masa hadapan perlu memberi fokus kepada peningkatan ketepatan pengukuran melalui teknik penentuan yang lebih mantap, integrasi faktor kuasa serta pengujian dalam persekitaran sebenar. Penambahbaikan boleh meliputi penggunaan sensor yang lebih tepat, integrasi fungsi rekod data *trend*, penambahbaikan kestabilan rangkaian serta pengujian lapangan di hostel pekerja bagi menilai kebolehpercayaan dan impak penjimatan tenaga dalam situasi sebenar.

RUJUKAN

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). *Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Al-Rashdi, D. H., Muhamad, S., & Rusni, I. M. (2026). *Electrical fire safety knowledge and awareness among residential buildings' occupants in the Sultanate of Oman*. *Journal of Engineering Research and Education*, 17, 21–32.
- Al-Rashdi, D. H., Muhamad, S., & Rusni, I. M. (2020). *Electrical fire safety knowledge and awareness among residential building occupants*. *Journal of Engineering Research and Education*, 12(2), 45–56.
- Chong, H. S. (2025). *IoT-based Smart Energy Meter Monitoring With Theft Control*. *Journal of Engineering & Technological Advances*, 9(2), 115-130. <https://doi.org/10.35934/segi.v9i2.122>
- Circuit Digest. (2022). *Smart electricity meter with energy monitoring and feedback system for theft detection*. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/smart-electricity-meter-with-energy-monitoring-and-theft-detection>
- Circuitschools Staff. (2022, March 30). *Measure AC current by interfacing ACS712 sensor with ESP32*. *Circuit Schools*. <https://circuitschools.com/measure-ac-current-by-interfacing-ac712-sensor-with-esp32>
- El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H., & Abd El Halim, A. E. B. (2024). *A Smart Energy Monitoring System using ESP32 Microcontroller*. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 1 – 10, <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
- Electronics Hub. (2021). *ZMPT101B voltage sensor module with ESP32*. <https://www.electronicshub.org/zmpt101b-voltage-sensor-module-with-esp32>
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). *Smart grid technologies: Communication technologies and standards*. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4),529–539. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>
- Hidayat, K. M. W., & Al-Faris, M. G. (2025). *IoT-Based Electrical Power Consumption Monitoring System in Households Using ESP32 and PZEM-004T*. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 5(2), 1077–1081. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v5i2.6368>
- Just Do Electronics. (2022). *Smart electricity energy meter with ESP32 & Blynk 2.0*. <https://justdoelectronics.com/smart-electricity-energy-meter-with-esp32-blynk-2-0>



Pawar, V., Patil, S., & Kulkarni, P. (2021). *IoT-based smart energy monitoring system using ESP32*. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 11(6), 5252–5260. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i6.pp5252-5260>

Santos, R. (2021). *ESP32 GPIO reference guide: What you need to know*. Random Nerd Tutorials. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios>

Sinar Harian. (2025, May 26). *Peralatan elektrik, pendawaian faktor utama kebakaran*. <https://www.sinarharian.com.my/article/730616/berita/semasa/peralatan-elektrik-pendawaian-faktor-utama-kebakaran>