

Penghala Internet Tanpa Wayar (Wi-Fi) berkuasa solar untuk pertanian

(Solar powered wireless router for agriculture use)

Mohammad Aufa Mhd Bookeri, Yuhanawati Mat Yunus dan Wan Mohd Syafiq Wan Harun

Pengenalan

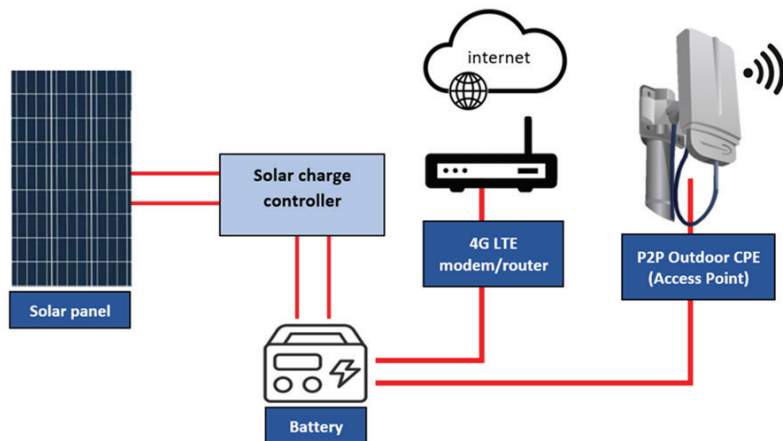
Internet Pelbagai Benda [*Internet of Things (IoT)*], kecerdasan buatan [*Artificial Intelligence (AI)*] dan pembangunan teknologi robotik dalam sektor pertanian telah mendapat perhatian ramai ahli akademik, penyelidik, pengilang dan petani di seluruh dunia selaras dengan revolusi industri 4.0 (IR4.0). Ketersediaan Internet di kawasan pertanian memainkan peranan penting dalam memacu transformasi digital sektor ini, membolehkan penggunaan teknologi pintar untuk meningkatkan produktiviti, kecekapan dan kemampanan dalam pengurusan ladang. Namun begitu, terdapat pelbagai isu yang perlu diatasi sebelum teknologi IoT dapat digunakan dengan lebih baik, di mana infrastruktur dan kos untuk menyepadukan teknologi pertanian pintar adalah salah satu halangan yang paling ketara. Antara lain adalah kos peralatan yang tinggi, ketersediaan rangkaian Internet di kawasan industri pertanian dan tiada infrastruktur sumber grid kuasa. Walau bagaimanapun, industri pertanian banyak tertumpu di lokasi luar bandar dengan kekurangan akses kepada semua keperluan infrastruktur ini, sekali gus menjadikan pelaksanaan IoT di ladang menjadi lebih mencabar.

Ketiadaan sumber grid kuasa elektrik di lokasi pertanian juga adalah merupakan faktor lain yang turut mempengaruhi penggunaan teknologi. Kebanyakan kawasan pertanian tertumpu di luar bandar, terpencil dan mengalami kekurangan akses kepada sumber tenaga elektrik yang diperlukan. Penggunaan sumber tenaga boleh diperbaharui seperti tenaga solar merupakan salah satu pilihan berpotensi yang boleh digunakan untuk mengatasi masalah bekalan tenaga elektrik. Ia merupakan pilihan yang lebih murah kerana faktor ketersediaannya, keberkesanan kos yang rendah dan kecekapan tenaga, berbanding dengan tenaga boleh diperbaharui lain seperti tenaga angin, hidro, geoterma dan biomas. Ditambah pula kedudukan Malaysia yang terletak di zon khatulistiwa mempunyai sumber cahaya matahari yang mencukupi dan banyak sepanjang tahun. Kekangan liputan jaringan Internet juga perlu diambil kira dalam aplikasi teknologi IoT dalam pertanian. Terdapat pelbagai sistem jaringan tanpa wayar yang tersedia di pasaran, namun kebanyakan sistem ini kurang sesuai dan mempunyai liputan terhad yang seterusnya menghadkan keupayaan penggunaan teknologi berasaskan IoT terutamanya di kawasan ladang yang luas. Reka bentuk rangkaian tanpa wayar kebiasaannya memerlukan modul komunikasi tambahan pada setiap nod penerima untuk berkomunikasi dengan

stesen pangkalan data, yang akan meningkatkan kos seperti penggunaan protokol LoRa, ZigBee dan lain-lain. Oleh itu, satu sistem penghala Internet tanpa wayar (Wi-Fi) berkuasa solar kos rendah telah dibangunkan dengan liputan jaringan minimum 800 m dan akses terus kepada sambungan Internet tanpa wayar tanpa memerlukan modul komunikasi tambahan. Teknologi ini berpotensi untuk diterapkan di kawasan terpencil, luar bandar, kawasan yang terjejas akibat bencana, serta negara membangun di mana sambungan Internet berasaskan grid tradisional tidak dapat dilaksanakan dengan berkesan atau tidak ekonomik.

Konsep pembangunan sistem

Sistem Wi-Fi bertenaga suria menggunakan teknologi Wi-Fi biasa untuk mewujudkan sambungan tanpa wayar antara peranti. Sistem ini mampu menyediakan akses Internet kepada pelbagai peranti seperti telefon pintar, tablet, komputer riba dan peranti lain yang menyokong sambungan Wi-Fi. Sistem penghala Internet tanpa wayar berkuasa solar ini terdiri daripada dua bahagian modul utama iaitu modul sistem kuasa solar dan modul titik capaian tanpa wayar. Keseluruhan struktur seni bina sistem prototaip diterangkan seperti dalam *Gambar rajah 1*. Jumlah keperluan tenaga elektrik maksimum untuk sistem ini beroperasi ialah 432 Wj sehari. Untuk memastikan keterhubungan yang tidak terganggu, sistem Wi-Fi bertenaga suria dijana kuasakan oleh panel solar sebagai sumber tenaga utama dilengkapi penyelesaian penyimpanan tenaga seperti bateri. Bateri ini menyimpan tenaga suria berlebihan yang dihasilkan sepanjang hari yang akan berfungsi sebagai sandaran dan membolehkan sistem Wi-Fi beroperasi semasa tempoh keadaan cuaca mendung atau pada waktu malam. Sambungan jaringan rangkaian Internet disediakan melalui modem atau penghala 4G LTE tanpa wayar, dan dilanjutkan oleh peranti premis pelanggan (CPE) titik ke titik (P2P) luaran untuk kawasan liputan yang lebih baik.



Gambar rajah 1. Keseluruhan seni bina penghala Internet tanpa wayar berkuasa solar

Modul sistem tenaga solar

Apabila mereka bentuk sistem tenaga solar, beberapa faktor perlu dipertimbangkan, kuasa keluaran yang diperlukan dan saiz sistem yang merangkumi jenis dan jumlah bilangan panel solar, kapasiti kuasa bateri, keperluan penyongsang kuasa dan kesesuaian kawasan pemasangan di mana sistem akan ditempatkan. Untuk mengira kapasiti dan bilangan panel suria yang diperlukan bagi sistem Wi-Fi anda, berikut adalah formula bagi pengiraan tersebut.

Untuk mengira kapasiti solar panel diperlukan

Penggunaan Tenaga Harian (W_j) = Penggunaan Kuasa (W) \times Waktu Operasi (j)

$$\text{Kapasiti panel solar yang diperlukan (W)} = \frac{\text{Penggunaan Kuasa Harian (W}_j\text{)}}{\text{Waktu puncak sinar matahari harian (jam)}}$$

Seterusnya pengiraan bilangan panel solar yang diperlukan adalah seperti yang berikut:

$$\text{Bilangan Panel Solar} = \frac{\text{Kapasiti Panel Solar Diperlukan (W)}}{\text{Watt Panel Solar (W)}}$$

Dengan keperluan tenaga sebanyak 432 Wj sehari, kapasiti minimum panel solar yang diperlukan adalah sekurang-kurangnya 70 Watt. Panel solar monohablur berkapasiti 100 W telah dipilih dan digunakan untuk menghidupkan penghala tanpa wayar, manakala lebih tenaga yang dijana akan disimpan dalam bateri 12 V, 300 W dengan kapasiti 120 Ah melalui pengawal pengecas solar. Voltan keluaran yang stabil adalah penting untuk memastikan prestasi optimum dalam aplikasi yang memerlukan kuasa berterusan dan stabil tanpa mengira variasi dalam voltan input atau perubahan keadaan beban seperti penstriman kamera litar tertutup data bersaiz besar. Pengatur voltan dan pengatur langkah naik (*step-up regulator*) yang berfungsi untuk meningkatkan voltan keluaran daripada 12 V ke 24 V serta mengekalkan aras voltan bateri pada 24 V.

Modul titik capaian dan jaringan tanpa wayar

Infrastruktur rangkaian jaringan tanpa wayar merangkumi penghala, modem dan peralatan rangkaian lain yang mengurus trafik data dan memastikan keterhubungan yang lancar antara peranti. Titik akses Wi-Fi pula berfungsi sebagai peranti yang memancarkan dan menerima isyarat tanpa wayar, membolehkan peranti seperti telefon pintar, tablet dan komputer riba untuk menyambung ke Internet. Titik akses ini dikuasakan oleh elektrik yang dihasilkan daripada panel suria. Komponen utama modul ini ialah modem/penghala tanpa wayar yang disertakan dengan slot simkad pembekal rangkaian telekomunikasi dengan mobil Internet. Sebelum memilih syarikat penyedia rangkaian telekomunikasi untuk sistem yang dibangunkan, ujian telah dijalankan untuk menentukan liputan 4G bagi setiap

pembekal telco. Ujian ini penting kerana penghalang ialah sumber utama sambungan Internet dan kestabilan isyarat 4G yang diterima boleh memberi kesan kepada prestasi sistem. Untuk mencapai matlamat ini, aplikasi kekuatan isyarat yang dipanggil *OpenSignal* telah digunakan dan diulang uji beberapa kali di beberapa lokasi berlainan.

Untuk meningkatkan liputan rangkaian Wi-Fi, TENDA 2.4GHz *Outdoor Point-to-Point* (P2P) CPE dilengkapi antena berarah 12dBi meningkatkan kekuatan penghantaran dan penerimaan isyarat tanpa wayar dalam kawasan liputannya. dBi merujuk kepada desibel isotropik, iaitu unit yang mengukur kekuatan pancar antena relatif kepada antena isotropik. Kelebihan antena berarah adalah bahawa ia dapat menumpukan tenaga ke arah tertentu untuk menambah jangkauan dan kekuatan isyarat. Untuk mengira keperluan kekuatan pancar (dBi) bagi liputan Wi-Fi pada jarak 1,500 m yang dikehendaki, kita boleh menggunakan formula *Free Space Path Loss* (FSPL). Formula ini membantu kita memahami kehilangan kekuatan isyarat sepanjang jarak dalam ruang bebas, dan dari situ kita dapat menentukan kekuatan pancar antena yang diperlukan.

$$\text{FSPL(dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55$$

di mana:

d adalah jarak diantara antenna dalam meter
f adalah frekuensi dalam hertz

di mana:

P_t kuasa penghantaran
 S_r receiver sensitiviti

Dalam mod Pusat Akses (AP), TENDA P2P CPE menerima dan memanjangkan sambungan rangkaian tanpa wayar daripada modem 4G LTE dengan menyediakan dan memperluaskan sambungan Internet untuk semua nod penerima dalam kawasan liputannya.

Pengujian prestasi sistem

Sistem Wi-Fi telah dipasang dan diuji di lapangan kawasan penanaman padi bertempat di Stesen Penyelidikan MARDI Parit, Perak. *Gambar 1* memaparkan kedudukan lokasi sistem dengan kawasan yang ditetapkan digariskan dengan warna merah. Kawasan ini membentang kira-kira 1,200 m dari hujung ke hujung dan meliputi kawasan seluas 45 hektar. Prestasi kekuatan isyarat Wi-Fi sistem ini dinilai menggunakan penyedia Internet telco nasional 4G dengan kapasiti kelajuan tanpa had di pelbagai pemisahan dalam satu arah garis lurus dari tapak pemasangan. Keputusan uji guna adalah seperti dalam *Jadual 1*.

Kelajuan muat turun data adalah sangat baik pada jarak 500 m ke bawah dan mula menurun setelah mencecah 500 m dan ke atas. Namun begitu, dengan kelajuan muat turun melebihi 10 mpbs ia masih baik dan boleh digunakan untuk penghantaran data daripada penerima IoT ke pangkalan awan data yang hanya bersaiz beberapa kilobait sahaja. Kedudukan antenna dan sebarang halangan berdekatan mempunyai kesan yang ketara pada jarak capaian liputan isyarat Wi-Fi dan keamatan isyarat pada jarak yang jauh. Peningkatan jarak liputan dapat dioptimumkan dengan memasang antenna pada ketinggian yang sesuai dan dalam keadaan persekitaran yang minima gangguan isyarat seperti objek besar atau medan yang tidak rata. Uji kaji ketahanan untuk mengenal pasti tempoh jangka hayat sistem untuk berfungsi tanpa bekalan utama juga telah dijalankan dengan kapasiti 1200 Ah pada keadaan cas penuh hayat bateri dan penggunaan kuasa sistem dapat bertahan sehingga tempoh tujuh hari dengan baik.



Gambar 1. Lokasi pemasangan di lapangan MARDI Parit, Perak

Jadual 1. Daya pengeluaran dicapai pada kadar jarak yang berbeza

Jarak (m)	Kelajuan muat turun (Mbps)	Kualiti Isyarat
10	78	Baik
50	75	Baik
100	75	Baik
200	68	Baik
300	67	Baik
400	55	Baik
500	36	Sederhana
600	35	Sederhana
700	27	Sederhana
800	12	Sederhana

Kos pembangunan dan perbandingan sistem

Setelah dipasang, sistem Wi-Fi bertenaga solar dilihat mampu membekalkan tenaga tanpa kos tambahan dan memerlukan penyelenggaraan yang minimum. Kos persediaan awal mungkin sedikit tinggi, tetapi pulangan pelaburan (ROI) boleh dicapai dalam masa beberapa bulan kerana penjimatan kos elektrik dan juga pengurangan penggunaan peranti nod komunikasi tambahan konvensional. *Jadual 2* menunjukkan jumlah kos untuk sistem yang dibangunkan tidak termasuk langganan dan pemasangan Internet bulanan.

Dalam mempertimbangkan pilihan antara rangkaian tanpa wayar untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT), pelbagai faktor kos dan keperluan teknikal perlu dianalisis dengan teliti. Satu perbandingan seperti dalam *Jadual 3* menunjukkan perincian kos untuk sistem yang dibangunkan berbanding dengan sistem jaringan tanpa wayar lain yang terdapat di pasaran LoRaWAN, NB-IoT dan Sigfox. LoRaWAN menawarkan fleksibiliti dengan kemampuan untuk membina rangkaian persendirian yang boleh mengurangkan kos jangka panjang, tetapi memerlukan pelaburan awal dalam Gateways. Di sisi lain, NB-IoT menyediakan perkhidmatan bersesuaian melalui rangkaian selular yang sedia ada, tetapi kos langganan bulanan boleh menjadi tinggi. Sigfox pula menawarkan penyelesaian kos efektif dengan model langganan tetap yang mudah diramalkan, tetapi terhad dalam kapasiti data dan frekuensi penghantaran mesej. Oleh itu, pemilihan teknologi yang tepat harus berdasarkan keperluan spesifik projek, anggaran belanjawan dan potensi untuk pertumbuhan masa depan.

Jadual 2. Senarai peralatan dan kos berkaitan

Alat	Harga (RM)
Panel solar (100 W)	300
Stesen kuasa mudah alih (12 V, 300 W, 120 Ah)	450
Pengaruh Voltan	10
Pengawal pengecas solar	40
4G LTE modem	180
P2P CPE tahan cuaca	140
Aksesori	60
Fabrikasi	1,000
Jumlah	2,180

Jadual 3. Perbandingan kos dan struktur

	LoRaWAN	NB-IoT	Sigfox	Solar Wi-fi
Infrastruktur Gateways (RM)	300 – 2,000 setiap unit	Tiada, tidak diperlukan	Infrastruktur diurus oleh penyedia	Tiada, tidak diperlukan
Kawasan liputan	Sehingga beberapa kilometer setiap gateways	Bergantung kepada liputan selular	Liputan rangkaian global	Sehingga 2 km
Peranti akhir				
Kos setiap peranti (RM)	100 – 250	200 – 300	80 – 200	Tiada, tidak diperlukan
Kompleksiti peranti	Berubah (ringan hingga kompleks)	Umumnya lebih kompleks	Umumnya rendah kompleksiti	Umumnya rendah kompleksiti
Kos rangkaian				
Yuran langganan bulanan (RM)	45 hingga beberapa ratus (bergantung kepada penyedia)	45 setiap peranti	25 setiap peranti	50 untuk 100 peranti (bergantung kepada penyedia)
Had data	Berubah mengikut pelan dilanggan	Biasanya 1 MB hingga 10 MB sebulan	Terhad kepada bilangan mesej tertentu	Berubah mengikut pelan dilanggan
Kos pemasangan				
Pemasangan pintu gerbang	Sederhana (bergantung kepada penyediaan tapak)	Rendah (tiada pintu gerbang diperlukan)	Rendah (infrastruktur diurus oleh Sigfox)	Sederhana (bergantung kepada penyediaan tapak)
Kos operasi				
Penyelenggaraan	Umumnya rendah	Sederhana (bergantung kepada pengendali)	Rendah (Sigfox mengurus rangkaian)	Umumnya rendah
Bekalan kuasa	Penggantian bateri untuk peranti	Umumnya hayat bateri lebih lama	Beroperasi dengan bateri penyelenggaraan rendah	Solar dan bateri



Gambar 2. Penghala Internet tanpa wayar berkuasa solar di lapangan

Pengurusan sumber kuasa solar

Jumlah penjanaan tenaga suria sangat bergantung pada lokasi geografi, bahan panel, implikasi persekitaran sekitar dan kecondongan panel. *Rajah 1* menunjukkan purata setiap jam keluaran elektrik Wj bagi setiap W panel solar bagi Malaysia.

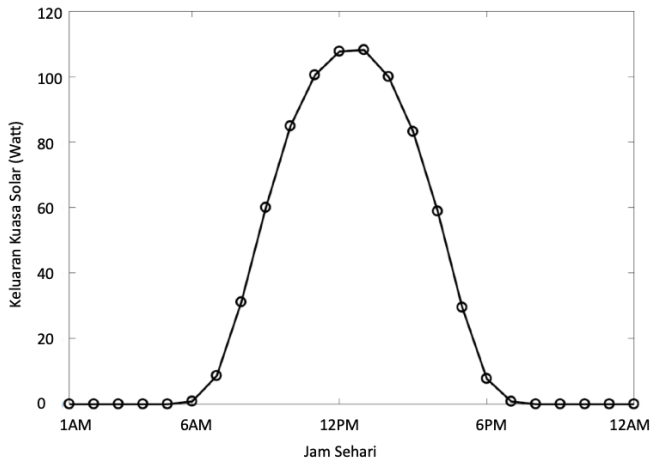
Rajah 2 menunjukkan purata pengeluaran kuasa elektrik setiap jam daripada sistem PV solar serta penggunaan kuasa bagi satu unit sistem penghala Internet tanpa wayar yang dibangunkan.

Daripada *Rajah 5*, kita perhatikan bahawa sejumlah besar tenaga elektrik yang dihasilkan oleh sistem solar (ditunjukkan dalam warna hijau) terbuang, sedangkan ia boleh digunakan untuk penggunaan oleh peranti tambahan seperti penerima, kamera dan peranti-peranti lain yang berkuasa kecil. Tenaga ini boleh digunakan sekurang-kurangnya dengan dua cara:

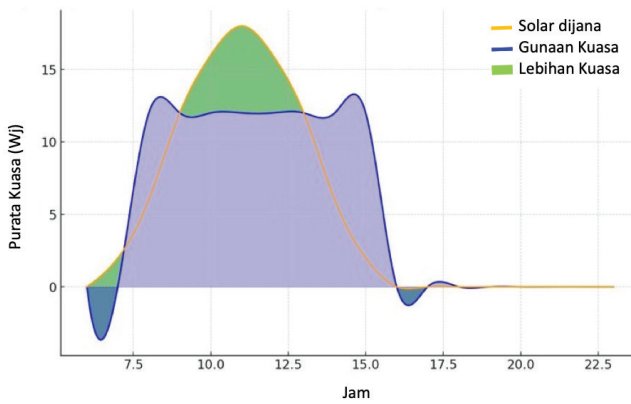
- i. Ia boleh disimpan dalam bateri dan digunakan kemudian untuk mengoperasikan unit peranti elektronik dalam tempoh masa yang lebih lama.
- ii. Ia boleh digunakan untuk menjalankan peranti elektronik tambahan yang berkuasa kecil, pada waktu-waktu di mana sistem solar masih menghasilkan tenaga elektrik yang mencukupi untuk peranti kecil, tetapi tidak mencukupi untuk peranti yang lebih besar.

Atau ia boleh digunakan sebagai kombinasi kedua-duanya; sebahagian daripada tenaga lebihan digunakan untuk menjalankan peranti elektronik berkuasa kecil manakala sebahagian lagi disimpan dalam bateri untuk kegunaan pada lain masa seperti yang ditunjukkan dalam *Rajah 3*.

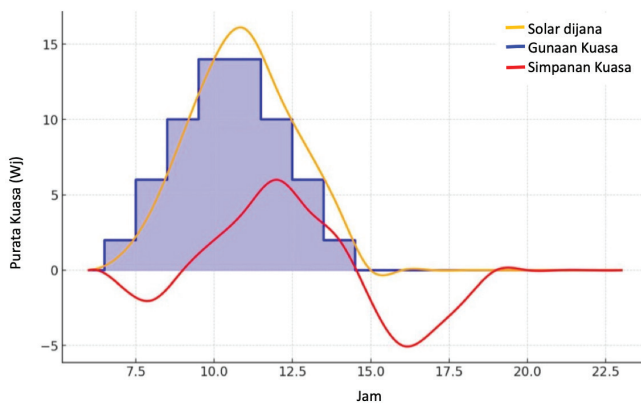
Daripada *Rajah 3*, kita perhatikan bahawa operasi sistem penghala tanpa wayar bergantung kepada jumlah tenaga elektrik yang tersedia. Kita juga dapat melihat bagaimana penyimpanan berbeza mengikut masa; garis graf meningkat apabila terdapat tenaga lebihan dan bateri sedang dicas, manakala ia menurun apabila bateri sedang digunakan. Sama ada pengguna memutuskan untuk memasang bateri atau menambah peranti elektronik lain yang berkuasa kecil ke dalam sistem untuk memanfaatkan tenaga lebihan, pengguna perlu sedar akan kos tambahan yang akan terlibat, baik dalam pelaburan awal mahupun kos lain seperti kos penyelenggaraan.



Rajah 1. Purata setiap jam keluaran elektrik Wh bagi setiap W panel solar



Rajah 2. Purata pengeluaran solar dan penggunaan sistem, tanpa penyimpan tenaga



Rajah 3. Purata pengeluaran solar dan penggunaan sistem dengan penyimpan tenaga

Kesimpulan

Dalam dunia di mana keterhubungan menjadi elemen kritikal dalam kehidupan seharian, sistem rangkaian Internet tanpa wayar yang menggunakan tenaga suria muncul sebagai penyelesaian untuk menyediakan akses Internet ke kawasan-kawasan terpencil. Dengan memanfaatkan tenaga boleh diperbaharui, sistem ini mampu mengurangkan kebergantungan kepada sumber tenaga tradisional dan mewujudkan ekosistem komunikasi yang lebih mampan. Pendekatan ini bukan sahaja memperluaskan liputan rangkaian, tetapi juga menyumbang kepada masa depan yang lebih hijau dan terhubung secara global. Secara keseluruhannya, walaupun penggunaan Wi-Fi bertenaga suria masih belum meluas dan tahap popularitinya semakin meningkat, kami menjangkakan teknologi ini akan berkembang pesat dalam masa terdekat. Sistem ini menawarkan penyelesaian yang mampan serta kos efektif untuk memperluas keterhubungan Internet ke kawasan terpencil, sambil mengurangkan kesan negatif terhadap alam sekitar. Teknologi ini berperanan penting dalam merapatkan jurang digital, sekali gus memudahkan akses kepada maklumat dan perkhidmatan dalam talian dalam kalangan komuniti industri pertanian yang sebelum ini tidak terhubung.

Bibliografi

- Edirisinghe, E. A. T. M., Sajith, M. M., Hirshan, R., Kumara, W. G. C. W., & Kishanthan, Y. (n.d.) (2021). Development of A Solar Powered Fixed Wireless Network Extender. *Sri Lankan Journal of Technology*. 2(01), IISN 2773-6970, 16–23.
- Khan, R., & Ansari, R. (2016). Long Range Wireless Point to Point Link Network on 5 GHz Frequency Band with VoIP. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*. 190–190. 10.18100/ijamec.270089.
- Reigadas, F. J. S., Fernandez, A. M., Garcia, P. O., Sanz, S. L., & Pascual, J. S. (2008). The design of a wireless solar-powered router for rural environments isolated from health facilities. *IEEE Wireless Communications*, 15(3), 24–30.

Ringkasan

Kawasan pertanian lazimnya terletak di luar bandar, terputus grid kuasa dan kekurangan infrastruktur rangkaian Internet terutamanya di negara membangun. Ini merupakan halangan utama bagi petani untuk menggunakan teknologi IoT dalam pertanian. Penggunaan teknologi berpotensi untuk merevolusikan industri pertanian dengan membolehkan petani membuat keputusan berasaskan data yang mengoptimumkan hasil tanaman, mengurangkan pembaziran dan meningkatkan kemampuan. Secara amnya, pembangunan teknologi rangkaian tanpa wayar luar grid telah menjadi tumpuan pengeluar dan penyedia rangkaian Internet, namun ia tidak tersedia untuk diguna pakai oleh petani kecil khususnya di Malaysia. Artikel ini membentangkan reka bentuk dan pembangunan penghala tanpa wayar berkuasa solar untuk kegunaan pertanian dengan kos pembangunan yang rendah dan berpatutan untuk petani kecil. Penghala LTE 4G dengan slot kad sim digunakan sebagai sumber Internet utama untuk sistem. Peranti CPE luaran telah disediakan bagi memanjangkan dan menyediakan nod titik akses tanpa wayar untuk semua peranti IoT di lapangan bagi kawasan liputan yang lebih baik

Summary

Agricultural areas are usually located in rural areas, isolated from the power grid and lack of Internet network infrastructure, especially in developing countries. This is a major obstacle for farmers to use IoT technology in agriculture. The use of technology has the potential to revolutionise the agricultural industry by enabling farmers to make data-based decisions that optimise crop yields, reduce waste and improve sustainability. In general, the development of off-grid wireless network technology has been the focus of manufacturers and network providers, but it is not available for use by small farmers especially in Malaysia. This article presents the design and development of a solar wireless router for agricultural use with low development cost and affordable for small farmers. A 4G LTE router with a sim card slot is used as the primary Internet source for the system. Outdoor point to point CPE devices are provided to extend and provide wireless access points for all node in the field for better coverage area in the field.

Pengarang

Mohammad Aufa Mhd Bookeri
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, MARDI Seberang Perai
Jalan Paya Keladi-Pinang Tunggal, 13200 Kepala Batas
Pulau Pinang
E-mel: aufa@mardi.gov.my

Yuhanawati Mat Yunus
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, MARDI Seberang Perai
Jalan Paya Keladi-Pinang Tunggal, 13200 Kepala Batas
Pulau Pinang

Wan Mohd Syafiq Wan Harun
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, MARDI Parit
Jalan Tanjung Belanja – Bota Kiri
32800 Parit, Perak