

RUMAH HIJAU BERKUASA IOT

SAIMON MAH WEI YUNG

PROF. DR. MOHD JUZAIDDIN BIN AB AZIZ

*Fakulti Teknologi & Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,
Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

ABSTRAK

Projek Rumah Hijau Berasaskan IoT adalah suatu candangan dan penyelesaian dalam cabaran untuk mengatasi cabaran dalam pertanian, di mana pertanian tidak tertumpu di suatu kawasan tetapi mampu dan boleh dibawa dari suatu tempat yang besar ke tempat yang kecil sambil mengekalkan persekitarannya di tempat baru mahupun kecil bagi mengoptimumkan penggunaan tanah. Dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT), projek ini memperkenalkan sebuah rumah tumbuhan pintar yang dilengkapi dengan sensor dan kawalan automatik. Sistem ini mengoptimumkan faktor-faktor alam sekitar utama seperti suhu, kelembapan, kelembapan tanah, dan intensiti cahaya sambil menyediakan data secara nyata untuk membuat keputusan yang tepat. Projek ini akan dilaksanakan melalui pelaksanaan yang mengintegrasikan sistem mikro-kawal (Microcontroller) di mana senibina sistem ini menggunakan sensor-sensor dan penggerak(aktuator) untuk mencipta persekitaran automatik dan aplikasi analitik berasaskan teknologi Cloud. Logik sistem kawalan secara dinamik akan menguruskan persekitaran rumah hijau, memastikan keadaan optimum untuk pertumbuhan tanaman. Aplikasi pengguna, boleh diakses melalui aplikasi web atau mudah alih, menawarkan pandangan data secara langsung serta membantu petani untuk memantau dan mengawal rumah tumbuhan dari jauh. Hasil menunjukkan bahawa sistem rumah tumbuhan pintar ini berjaya menguruskan persekitaran rumah hijau secara dinamik, memastikan keadaan optimum untuk pertumbuhan tanaman di walaupun di kawasan kecil bagi memberikan pandangan masa nyata kepada petani. Ini membolehkan pemantauan dan kawalan rumah tumbuhan dari jauh secara efektif, menjadikan pertanian lebih baik.

PENGENALAN

Harga beras yang semakin meningkat menyebabkan masalah di kalangan masyarakat. Menurut artikel dari Utusan Malaysia, "Fokus Pertanian Moden Atasi Kekurangan Tanah," pertanian memainkan peranan penting dalam bekalan makanan negara, tetapi menghadapi cabaran dengan pembangunan yang sering bersaing dengan tanah pertanian. Artikel tersebut juga menekankan

bahawa banyak tanah kecil tidak dimanfaatkan dengan baik. Pertanian seperti tanaman padi memerlukan persekitaran yang sesuai untuk pertumbuhan optimum, tetapi seringkali tanah yang ada tidak mencukupi syarat ini. Projek Rumah Hijau Berasaskan IoT adalah satu cadangan untuk mengatasi cabaran ini dengan membawa teknologi pertanian moden ke kawasan yang lebih kecil, tetapi tetap memelihara persekitaran asal. Projek ini tidak hanya memperbaiki pertumbuhan padi, tetapi juga membuka ruang untuk tanaman lain yang memerlukan persekitaran unik.

METODOLOGI KAJIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembangunan projek ini adalah metodologi Waterfall, yang merupakan pendekatan linear dan berurutan dalam pengurusan projek. Setiap fasa projek ini mengikuti urutan yang jelas dan telah ditetapkan, termasuk pengumpulan keperluan, reka bentuk sistem, implementasi dan pengujian. Metodologi ini memastikan pemeriksaan sistematik dan menyeluruh terhadap setiap aspek projek, memberikan laluan yang jelas untuk pembangunan. Bagi saya, metodologi Waterfall ini adalah sesuai dengan projek ini di mana keperluan telah ditakrifkan dengan baik dan perubahan dijangkakan minima.

Fasa analisis

Fasa ini adalah melibatkan pengumpulan keperluan pengguna dan spesifikasi keperluan sistem. Langkah-langkah ini termasuk menganalisis keperluan fungsian dan bukan fungsian dan ini menentukan spesifikasi perkakasan, dan membina model sistem seperti. Analisis ini bertujuan untuk memastikan semua aspek penting projek dikenalpasti dan difahami sebelum fasa pembangunan bermula, dengan memastikan sistem dapat memenuhi keperluan pengguna.

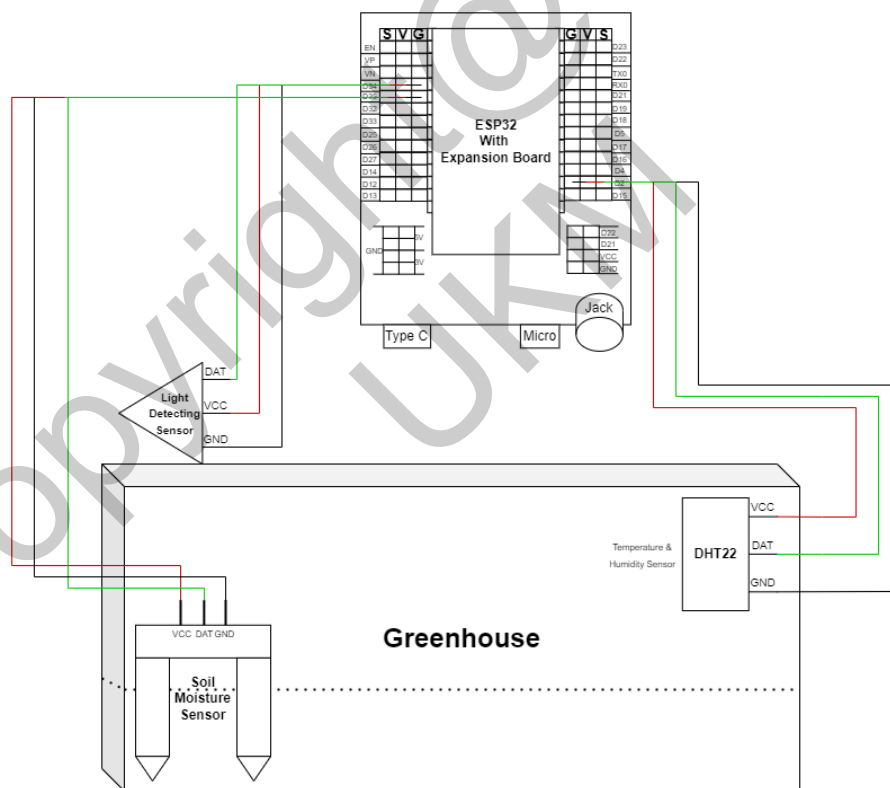
Fasa reka bentuk

Fasa reka bentuk dalam projek ini melibatkan beberapa elemen iaitu pertama, reka bentuk seni bina sistem yang mengintegrasikan pelbagai sensor dan aktuator untuk memantau serta mengawal parameter persekitaran seperti suhu, kelembapan, kelembapan tanah, dan pencahayaan. Kedua, reka bentuk pangkalan data memastikan komunikasi antara pengguna dan pentadbir dijelaskan dengan tumpuan kepada struktur dan hubungan data yang memastikan integriti serta kecekapan dalam penyimpanan dan pengambilan maklumat. Seterusnya, reka bentuk algoritma yang menerangkan proses-proses untuk menyelesaikan masalah dalam sistem rumah hijau ini dijelaskan secara terperinci, termasuk logik kawalan yang mengatur tindakan berdasarkan data masa nyata dari sensor. Akhir sekali, reka bentuk antara muka, iaitu visual yang dapat dilihat oleh pengguna semasa melayari sistem, dijelaskan dengan teliti.

Fasa pelaksanaan

Rumah hijau berasaskan Internet of Things adalah salah satu sistem untuk memantau dan mengawal persekitaran dalam rumah hijau secara automatik. Sistem ini menggunakan sensor, aktuator, Cloud (AWS) dan aplikasi web untuk pemantauan dan pengawalan secara jarak jauh atau dipanggil online. Di dalam projek ini, implementasi saya menggunakan sepenuhnya dari Amazon Web Service.

ESP32 adalah microcontroller yang akan mengawal sensor, aktuator, dan berkomunikasi dengan sistem Cloud untuk menghantar data sensor dan juga mendapatkan data ambang (threshold) dari pengguna. ESP32 akan menghantar data sensor ke AWS IoT Core melalui protokol MQTT, di mana data ini diterima dan diproses oleh AWS IoT Core. AWS IoT Core kemudian mengarahkan data tersebut ke DynamoDB melalui peraturan IoT menggunakan fungsi Lambda untuk memproses dan menyimpan data. Pengguna dapat mengakses data ini melalui aplikasi web yang dibuat dengan JavaScript, yang mengambil data dari DynamoDB. Selain itu, pengguna dapat mengirimkan data ambang baru melalui aplikasi web, yang kemudian dikirim kembali ke ESP32 melalui MQTT untuk mengatur ambang baru pada microcontroller.



Rajah 1 Skematik Sensor Dan Microcontroller

Rajah 1 menunjukkan reka bentuk skematik bagi sensor untuk Rumah Hijau IoT. dimana skematik di atas merupakan komponen utama dan langkah pertama dalam pelaksanaan Rumah Hijau IoT ini. Tiga sensor ini digunakan untuk mendapatkan data persekitaran bagi komponen suhu, kelembapan, pegasanan cahaya dan kelembapan tanah. Sensor akan menggunakan tiga pin utama

iaitu VCC bagi Voltage, GND bagi Ground dan DAT bagi Data. Pin DAT mempunyai banyak jenis seperti Digital I/O, Analog Input, PWM dan sebagainya. Dalam projek ini, pin Analog akan digunakan untuk membaca isyarat voltan dari sensor bagi ketempatan untuk pengawalan nanti. Data sensor ini akan digunakan untuk mendapatkan data persekitaran rumah hijau yang akan dihantar melalui Microcontroller (ESP32) ke sistem Cloud AWS.

Ini boleh dilakukan setelah kita mengkodkan ESP32 untuk mengakses AWS IoT Core dengan membuat IoT things di IoT Core bagi mendapatkan kunci dan sijil untuk mengakses perkhidmatan AWS IoT seperti rajah di atas. Langkah pertama adalah mencipta dan mendaftarkan IoT things di AWS IoT Core, yang menetapkan identiti unik untuk setiap peranti dan mengkonfigurasi keupayaan komunikasi mereka. Selepas itu, sijil keselamatan dan kunci peribadi perlu dijana dan dimuat turun untuk memastikan komunikasi yang selamat antara ESP32 dan AWS IoT Core. Setiap sijil dan kunci ini adalah unik untuk peranti dan harus disimpan dengan selamat. Kod ESP32 kemudian perlu dikonfigurasi dengan maklumat rangkaian Wi-Fi dan titik akhir AWS IoT, serta memasukkan sijil dan kunci yang dimuat turun ke dalam kod. Setelah semua ini selesai, kod ini akan dimasukkan ke ESP32 dan diuji untuk memastikan ia boleh berhubung dengan AWS IoT Core, menghantar dan menerima data dan bertindak balas dari arahan AWS IoT. Proses ini akan memastikan bahawa peranti ESP32 dapat berkomunikasi dengan AWS IoT Core dan menghantar dan menerima data atau arahan.

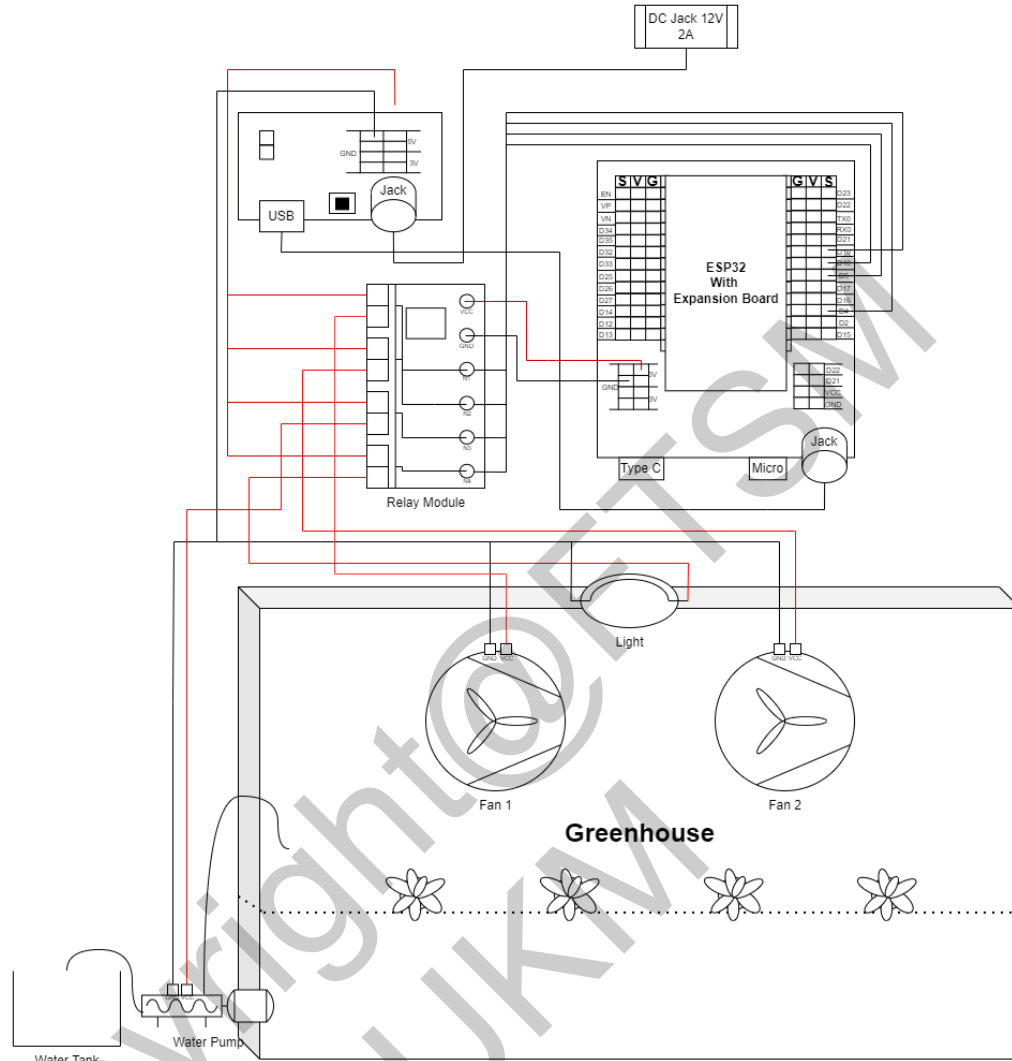
Data sensor yang diterima dan dihantar akan ke AWS IoT melalui topik MQTT yang ditetapkan. Data ini merangkumi beberapa parameter penting, seperti suhu (30.2°C), kelembapan (81.9%), intensiti cahaya (1936), dan tahap kelembapan tanah (1107). Suhu menunjukkan keadaan persekitaran pada masa data dikumpulkan, di mana suhu yang tinggi mungkin menunjukkan persekitaran yang panas. Kelembapan mencerminkan jumlah wap air di udara; nilai yang tinggi seperti 81.9% menunjukkan udara yang sangat lembap. Tahap kelembapan tanah diukur sebagai 1107, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan keadaan tanah yang lebih kering. Sebagai contoh, jika tahap kelembapan tanah adalah tinggi, ini bermakna tanah sedang kering dan mungkin memerlukan penyiraman. Intensiti cahaya yang dicatatkan adalah 1936, yang lebih tinggi menunjukkan keadaan gelap atau kurang pencahayaan, berbeza dengan nilai yang lebih rendah yang menunjukkan persekitaran yang terang. Sebagai contoh, nilai intensiti cahaya sekitar 1300 menunjukkan keadaan terang, manakala nilai di atas 2000 menunjukkan keadaan yang lebih gelap. Data ini dikemas kini secara berkala dan dihantar ke AWS IoT untuk pemantauan dan analisis lanjut. Proses ini membolehkan pengguna memantau keadaan persekitaran secara real-time dan mengambil tindakan yang diperlukan berdasarkan data yang diterima. Dengan menggunakan AWS IoT, data sensor boleh disimpan, diproses, dan dipaparkan dalam aplikasi web atau platform lain untuk memudahkan pengurusan dan kawalan.

Selepas itu, data boleh di hantar ke jadual Amazon Dynamodb dengan menggunakan fungsi lambda di mana lambda akan menetapkan di mana data sensor ini akan dihantar. Data yang diterima ini akan diperiksa dan memastikan bahawa semua data yang diterima dari peranti IoT direkodkan

dengan betul dan boleh digunakan untuk analisis selanjutnya serta pemantauan keadaan persekitaran dalam masa nyata. Di dalam jadual dari DynamoDb, ia akan menunjukkan data yang diterima daripada peranti IoT dan disimpan dalam jadual iaitu sebagai contoh Esp32_DataTableV2. Setiap data dalam jadual ini mengandungi nilai masa (time), kelembapan (humidity), intensiti cahaya (light_intensity), tahap kelembapan tanah (moisture_level), dan suhu (temperature). Data ini diterima secara berkala dari peranti IoT dan disimpan dengan menggunakan fungsi Lambda seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.4. Dalam paparan ini, kita dapat melihat beberapa rekod data yang telah disimpan, dengan setiap rekod mempunyai masa yang unik yang menunjukkan masa data tersebut diterima. Nilai kelembapan, intensiti cahaya, tahap kelembapan tanah, dan suhu ditunjukkan dalam format berangka, yang kemudiannya boleh digunakan untuk analisis lanjut, pengurusan persekitaran dan aktuator dalam masa nyata.

Setelah data dari peranti IoT disimpan dalam jadual DynamoDB, langkah seterusnya adalah menyediakan akses selamat kepada jadual tersebut untuk laman web dan juga untuk menghantar data ambang (threshold data). Untuk mencapai ini, saya menggunakan Access Management (IAM) untuk membuat peranan (Role) yang diperlukan. Dengan membuat peranan IAM, saya dapat memberikan kebenaran untuk mengakses jadual DynamoDB dan membantu dalam memastikan bahawa laman web boleh membaca data terkini dari jadual. Peranan ini juga mempunyai polisi yang membenarkan operasi seperti 'Subscribe' dan 'Publish' untuk digunakan bagi data Ambang dari pengguna nanti. Bagi laman web, Node.JS akan digunakan untuk project ini dengan menggunakan JavaScript bagi mengakses MQTT test untuk penghantaran data ambang dan juga mendapatkan data dari DynamoDB.

Laman ini akan menunjukkan data sensor yang didapati di jadual dynamodb tersebut dan laman ini juga akan membolehkan pengguna untuk menetapkan ambang melalui javascript. Javascript ini akan mempunyai kod untuk mengakses topik mqtt dari role IAM yang dibuat dan mempunyai akses untuk memasuki topik mqtt. Kod javascript ini juga akan mempunyai logik di aktuator akan diaktifkan atau tidak seperti kelembapan tanah tidak boleh rendah dari ambang yang ditetapkan oleh pengguna.



Rajah 2 Skematik Aktuator

Rajah 2 di atas menunjukkan rajah skematik aktuator yang dipakai dan digunakan dalam Rumah Hijau dengan menggunakan Modul Relay (Relay Module). Modul Relay merupakan komponen yang berfungsi seperti suis elektrik yang dikendalikan oleh isyarat elektronik biasanya dari mikrokontroler seperti projek ini ESP32. Isyarat yang diterima dari modul relay merupakan arahan yang diterima dan dihantar oleh pengguna melalui topik MQTT “Esp32/setThreshold” ke ESP32 dimana ia akan memproses dan menghantar isyarat ke modul relay. Modul relay terus akan mengaktifkan suis yang perlu diaktifkan dan suis ini akan mangabungkan dua wayar voltage seperti suis biasa di mana satu wayar adalah wayar voltage dari aktuator dan satu lagi wayar voltage yang menerima voltage. Jika suis diaktifkan, voltage akan mengalir dan dihantar ke aktuator dan ini akan mengaktifkan aktuator tersebut.

Fasa pengujian adalah elemen penting dalam pembangunan projek "Sistem Rumah Hijau Berasaskan IoT". Proses pengujian ini melibatkan penilaian menyeluruh terhadap fungsi dan prestasi sistem untuk memastikan ia berfungsi seperti yang diharapkan serta memenuhi semua keperluan pengguna dan spesifikasi teknikal. Objektif utama pengujian adalah untuk mengesan dan memperbaiki sebarang kelemahan atau masalah dalam sistem, memastikan kestabilan dan keserasian sistem, serta meningkatkan pengalaman pengguna dengan menyediakan antara muka yang lancar. Setiap tahap pengujian, dari pengujian unit hingga pengujian penerimaan pengguna adalah langkah penting untuk memastikan produk memenuhi kriteria yang telah ditetapkan sebelum. Objektif pengujian projek "Sistem Rumah Hijau Berasaskan IoT" adalah untuk memastikan bahawa sistem berfungsi dengan baik dan memenuhi semua keperluan yang telah ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk menilai keberkesanan rangkaian sensor IoT dalam memantau faktor-faktor alam sekitar utama seperti suhu, kelembapan, kelembapan tanah, dan tahap cahaya dalam rumah tanaman. Objektif pengujian adalah seperti memastikan fungsi utama beroperasi dengan betul, mengidentifikasikan dan memperbaiki kelemahan dan menilai kestabilan.

No	Fungsi	Definisi
1.	Pemantauan Suhu	Sistem memantau suhu dalam rumah hijau dan memaparkan data tersebut.
2.	Pemantauan Kelembapan Udara	Sistem memantau kelembapan udara dalam rumah hijau dan memaparkan data tersebut.
3.	Pemantauan Kelembapan Tanah	Sistem memantau tahap kelembapan tanah dalam rumah hijau dan memaparkan data tersebut.
4.	Pemantauan Tahap Cahaya	Sistem memantau intensiti cahaya dalam rumah hijau dan memaparkan data tersebut.
5.	Tetapan Data Ambang	Sistem memberikan data ambang yang ditetapkan oleh pengguna kepada microcontroller.
6.	Automasi Aktuator	Sistem mengawal aktuator seperti kipas, lampu, dan pam air berdasarkan data sensor dan ambang yang diterima.
7.	Perubahan data persekitaran	Data persekitaran iaitu suhu, kelembapan udara dan tanah serta cahaya berubah setelah aktuator diaktifkan dan mengikut ketetapan ambang
8..	Antara Muka Pengguna (Laman Website)	Antara muka web yang membolehkan pengguna melihat data sensor dan menetapkan nilai ambang.

Ujian fungsi di atas ini adalah untuk memastikan setiap aspek sistem diuji, termasuk fungsi utama seperti pemantauan suhu, kelembapan, kelembapan tanah, dan tahap cahaya, serta automasi aktuator berdasarkan data sensor. Untuk menilai fungsi, ujian kes guna akan digunakan di mana teknik pengujian ini akan menumpukan pada penggunaan sebenar sistem oleh pengguna untuk menyelesaikan tugas tertentu. Teknik ini bertujuan untuk mengesahkan bahawa sistem berfungsi seperti yang diharapkan dalam senario dunia nyata dan memenuhi keperluan pengguna. Dalam konteks projek "Sistem Rumah Hijau Berasaskan IoT", ujian kes guna melibatkan simulasi pengguna yang menetapkan nilai ambang, memantau data sensor, dan melihat bagaimana sistem mengawal aktuator berdasarkan data tersebut. Terdapat tiga kes guna iaitu, pemantauan data sensor, menetapkan nilai ambang dan automasi aktuator berdasarkan data ambang.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Hasil keputusan pengujian merangkumi semua data dan penemuan yang diperolehi dari pelaksanaan ujian terhadap sistem rumah hijau berasaskan IoT. Keputusan ini menunjukkan sejauh mana sistem memenuhi keperluan yang telah ditetapkan dan bagaimana ia berfungsi dalam senario dunia nyata. Berikut adalah hasil pengujian untuk setiap kes ujian yang telah dilaksanakan.

Kes Ujian	Pemantauan	Ujian Diuji	Status
Pemantauan Data Sensor	Data sensor untuk suhu, kelembapan, kelembapan tanah, dan intensiti cahaya berjaya disimpan dalam pangkalan data dan dipaparkan dengan di laman web	1. Pemantauan Suhu	Lulus
		2. Pemantauan Kelembapan Udara	Lulus
		3. Pemantauan Kelembapan Tanah	Lulus
		4. Pemantauan Tahap Cahaya	Lulus
		5. Antara Muka Pengguna (Website)	Lulus
Penetapan Nilai Ambang	Nilai ambang dihantar dan notifikasi juga dipamerkan setelah nilai ambang berjaya dihantar. Ambang dihantar melalui sistem cloud melalui topik MQTT dan dan boleh	1. Menetapkan data ambang	Lulus

	dilihat di Iot Core MQTT Test		
Automasi Aktuator dan Perubahan data persekitaran berdasarkan ambang	Aktuator diaktifkan secara automator mengikut data ambang yang ditetapkan dan persekitaran mempunyai perubahan yang diinginkan	1. Automasi Aktuator	Lulus
		2. Perubahan data persekitaran	Lulus

Tegasnya, semua ujian telah dilaksanakan dan menunjukkan bahawa sistem rumah hijau berasaskan IoT ini berfungsi dan memenuhi semua objektif yang telah diinginkan. Data persekitaran melalui sensor dihantar ke pangkalan data dan dipamerkan ke halaman web. Penetapan ambang untuk automasi aktuator juga berjaya dilakukan dan membuat perubahan yang diinginkan seperti suhu berkurang dan berada di data ambang. Tetapi, perubahan persekitaran menggunakan aktuator iaitu suhu dan kelembapan udara tidak mempunyai perubahan yang ketara dan mempunyai batas nya sendiri.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, projek IoT ini telah berjaya dibangunkan, di mana semua objektif kajian dan keperluan yang telah ditetapkan pada peringkat awal telah berjaya dicapai. Walaupun terdapat beberapa cabaran dan halangan sepanjang proses pembangunan, seperti isu teknikal, masalah integrasi komponen, dan kekangan masa, kesemua ini berjaya diatasi melalui pendekatan dari membuat pelbagai rujukan di luar sana.

Kekuatan Sistem

Kekuatan sistem Rumah Hijau berkuasa IoT ini adalah kemampuan automasi dan pemantauan masa nyata terhadap parameter penting seperti suhu, kelembapan, kelembapan tanah, dan pencahayaan. Ini memastikan persekitaran tumbuhan sentiasa dioptimumkan tanpa secara manual. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan data yang diterima dari jadual untuk komunikasi dengan pengguna dengan menggunakan halaman web. Ini membolehkan pengguna untuk mengakses dan mengetahui persekitaran rumah hijau secara jauh dan juga boleh menetapkan untuk kawalan automasi.

Kelemahan Sistem

Kelemahan sistem ini adalah kebergantungan yang tinggi pada sambungan internet yang stabil untuk pemantauan dan kawalan masa nyata. Jika sambungan internet terputus atau tidak stabil,

sistem mungkin tidak dapat berfungsi dengan efektif dan ini boleh menyebabkan gangguan dalam pemantauan dan pengawalan parameter persekitaran. Selain itu, kompleksiti teknikal dalam mengintegrasikan pelbagai sensor dan aktuator memerlukan pengetahuan mendalam untuk mengelakkan masalah sambungan atau kerosakan komponen. Kebergantungan pada bekalan kuasa yang berterusan juga merupakan satu lagi kelemahan, kerana sebarang gangguan elektrik boleh mengakibatkan kerosakan data atau kegagalan sistem

PENGHARGAAN

Saya ingin mengucapkan penghargaan yang tinggi serta terima kasih yang tidak terhingga kepada PROF. DR. MOHD JUZAIDDIN BIN AB AZIZ, penyelia sepanjang kajian ini, atas tunjuk ajar dan bimbingan yang telah diberikan, yang membolehkan saya untuk menyiapkan projek ini dan mencapai kejayaan. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan secara langsung atau tidak langsung dalam menyempurnakan projek ini. Sokongan mereka amatlah dihargai kerana tanpa mereka, projek ini tidak mungkin dapat diselesaikan dengan baik. Semoga Tuhan memberkati dan membalas segala jasa baik mereka semua.

RUJUKAN

- Zhang, H., Wang, L., & Chen, Y. (2018). "Advancements in Greenhouse Technologies: A Comprehensive Review." **Journal of Agricultural Science*, 20*(3), 123-145.
- Gonzalez, M., & Patel, S. (2019). "Precision Agriculture in Greenhouses: Challenges and Opportunities." **International Journal of Agricultural Technology*, 15*(2), 67-85.
- Wang, L., Zhang, Q., & Chen, Y. (2020). "Sensor Integration for Environmental Monitoring in Greenhouses: A Review." **Sensors*, 20*(8), 2101.
- Lee, C., & Kim, E. (2019). "Challenges and Opportunities in Adopting Smart Technologies for Greenhouse Management." **Agricultural Engineering Today*, 25*(4), 56-72.
- Zhang, H., Liu, Q., & Wang, Y. (2021). "Future Directions in Autonomous Greenhouse Systems: A Comprehensive Outlook." **Agricultural and Forest Meteorology*, 301*, 108345.
- Johnson, R., & Patel, S. (2017). "IoT in Agriculture: A Comprehensive Review." **Agricultural Technology Journal*, 12*(1), 45-62.
- Martinez, A., et al. (2019). "IoT Control Systems for Greenhouses: A Case Study." **Journal of Agricultural Automation*, 25*(3), 189-204.

- Smith, J., & Brown, A. (2020). "Data Analytics in IoT Control Systems: A Framework for Agriculture." *Journal of Precision Agriculture, 18*(5), 657-675.
- Garcia, M., et al. (2018). "Remote Monitoring and Decision Support System for Greenhouse Cultivation." *Computers and Electronics in Agriculture, 150*, 65-78.
- Kim, S., & Chang, Y. (2021). "Energy-efficient Greenhouse Management through IoT Control Systems." *Sustainable Agriculture Journal, 30*(2), 145-162.
- Wilson, A., & Garcia, S. (2016). "IoT-Based Smart Irrigation Systems: A Comprehensive Review." *Agricultural Water Management, 180*, 173-185.
- Jones, R., et al. (2019). "Wireless Sensor Networks for Crop Monitoring: A Review." *Computers and Electronics in Agriculture, 157*, 123-138.
- Patel, A., & Sharma, S. (2020). "Machine Learning in Plant Disease Detection: A Review." *Computers and Electronics in Agriculture, 171*, 105310.
- Wang, J., & Li, X. (2018). "Automation in Vertical Farming: A Review." *Journal of Agricultural Automation, 21*(4), 487-502.
- Smith, M., et al. (2021). "Blockchain for Supply Chain Transparency in Plant Cultivation: An Overview." *Computers in Industry, 126*, 103403.

SAIMON MAH WEI YUNG (A197431)
Prof. Madya Dr. Tengku Siti Meriam Tengku Wook
Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
Universiti Kebangsaan Malaysia