

Strategi Daya Rendah untuk Sensor Pertanian Pintar Berbasis ESP32

Bayu Widododo

Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer SV-IPB

Teknologi Internet of Things (IoT) telah mengubah paradigma praktik pertanian modern dengan integrasi perangkat pintar seperti ESP32 untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time, meskipun efisiensi energi tetap menjadi tantangan utama dalam aplikasi pertanian yang sering berlokasi di daerah terpencil. Mode tidur seperti *deep sleep* dan *light sleep* telah terbukti mengurangi konsumsi daya ESP32 hingga 80% tanpa mengorbankan kinerja sistem, sementara optimasi algoritma pengumpulan data juga penting dalam mengelola konsumsi daya dengan mengaktifkan sensor hanya saat diperlukan. Penggunaan sumber energi alternatif seperti panel surya semakin populer dalam mendukung operasional ESP32 di lapangan, mengurangi ketergantungan pada baterai konvensional dan meningkatkan keberlanjutan. Studi literatur menunjukkan bahwa integrasi panel surya dan baterai lithium memberikan solusi daya yang berkelanjutan untuk sensor pertanian cerdas berbasis ESP32, yang memberikan landasan bagi pengembangan sistem IoT yang efisien dan berkelanjutan dalam aplikasi pertanian, serta mendukung keberlanjutan lingkungan. Dengan terus mengembangkan teknologi ini, diharapkan dapat ditemukan solusi-solusi inovatif yang lebih baik untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem IoT dalam lingkungan pertanian pintar, dengan pendekatan holistik yang mencakup pemilihan mode tidur yang optimal, pengoptimalan algoritma, dan pemanfaatan sumber energi alternatif sebagai kunci utama dalam mengatasi tantangan energi di masa depan.

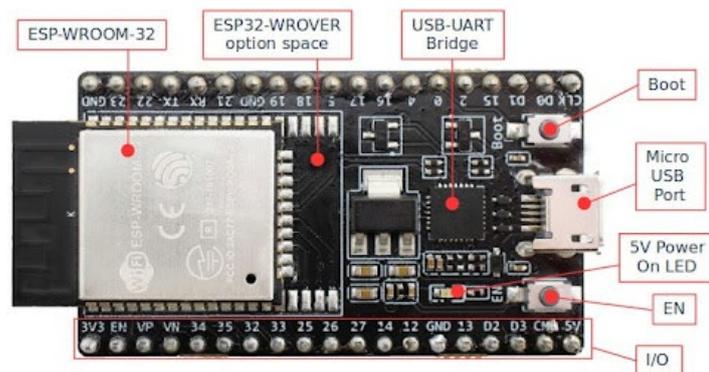
Kata kunci: ESP32, pertanian pintar, efisiensi energi, mode tidur, algoritma pengumpulan data, panel surya

The Internet of Things (IoT) technology has revolutionized modern agricultural practices through the integration of smart devices like ESP32 sensors for real-time environmental monitoring, though energy efficiency remains a significant challenge in remote agricultural applications. Sleep modes such as deep sleep and light sleep have proven effective in reducing ESP32 power consumption by up to 80% without sacrificing system performance, while optimizing data collection algorithms plays a crucial role in managing power consumption by activating sensors only when necessary. The adoption of alternative energy sources like solar panels is increasingly popular in supporting ESP32 operations in the field, reducing reliance on conventional batteries and enhancing sustainability. Literature studies indicate that integrating solar panels with lithium batteries provides sustainable power solutions for ESP32-based smart agricultural sensors, laying the groundwork for efficient and sustainable IoT system development in agriculture and supporting environmental sustainability. Continuing advancements in this technology are expected to yield innovative solutions for improving efficiency and performance in IoT systems for smart agriculture, with a holistic approach that includes optimal sleep mode selection, algorithm optimization, and alternative energy source utilization as key strategies to address future energy challenges.

Keywords: ESP32, smart agriculture, energy efficiency, sleep modes, data collection algorithms, solar panels

A. Pendahuluan

Dalam era modern, teknologi IoT (Internet of Things) memainkan peran penting dalam mengoptimalkan praktik pertanian melalui integrasi perangkat pintar yang dapat memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara real-time. Sensor pintar yang menggunakan mikrokontroler seperti ESP32 menjadi komponen vital dalam sistem pertanian pintar. ESP32, yang diproduksi oleh Espressif Systems, menawarkan fitur-fitur canggih seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan GPIO yang banyak, sehingga sangat cocok untuk aplikasi IoT. Namun, salah satu tantangan utama dalam penggunaan sensor berbasis ESP32 adalah efisiensi energi, terutama ketika sensor tersebut ditempatkan di lokasi terpencil dengan akses terbatas ke sumber daya listrik konvensional (Prauzek et al., 2018; Mois, G.D et al., 2017). Diagram ESP32 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: IoT Menggunakan ESP32

Efisiensi energi dalam perangkat IoT menjadi semakin penting mengingat kebutuhan untuk mengurangi biaya operasional dan memperpanjang masa pakai perangkat. Beberapa pendekatan telah diusulkan untuk mengatasi masalah ini, termasuk penggunaan mode tidur (sleep modes), optimasi algoritma pengumpulan data, dan penerapan sumber energi alternatif seperti panel surya (Abouelmehdi et al., 2022; Rahayu, F., & Zuchriadi, A., 2023). Mode tidur pada ESP32, seperti deep sleep dan light sleep, memungkinkan perangkat untuk mengurangi konsumsi daya saat tidak aktif, sehingga memperpanjang masa pakai baterai. Implementasi mode tidur pada mikrokontroler ESP32 dapat secara signifikan mengurangi konsumsi daya tanpa mengorbankan kinerja sistem secara signifikan (Dzahir 2023; Irga 2023; Hakim 2022). Hal ini sangat bermanfaat untuk aplikasi IoT, di mana efisiensi energi sangat penting (Dzahir 2023). Penggunaan mode tidur dalam secara khusus telah ditemukan dapat meningkatkan waktu penggunaan baterai hingga 502,75% (Dzahir 2023). Namun, penting untuk mempertimbangkan potensi kerentanan keamanan, seperti serangan deprivasi tidur, yang dapat diatasi melalui teknik berdasarkan data konsumsi baterai lokal (Fobe 2022).

Penggunaan panel surya untuk mengoperasikan perangkat IoT berbasis ESP32 merupakan tren yang semakin berkembang, terutama dalam aplikasi pemantauan pertanian dan lingkungan. Thaloy (2023) dan Babu (2023) keduanya menyoroti potensi sistem bertenaga surya dalam konteks ini, dengan Thaloy berfokus pada integrasi komponen surya dan Babu pada pemantauan serta tampilan data energi surya.

Kombinasi panel surya dan baterai lithium telah terbukti memberikan solusi daya yang berkelanjutan dan efisien untuk sensor pertanian cerdas, terutama yang berbasis platform ESP32. Rosa (2022) dan Mishra (2024) menyoroti manfaat dari platform sensor yang mandiri dan tanpa baterai, dengan Mishra (2024) lebih menekankan peran konektivitas panel surya dalam meningkatkan keberlanjutan dan otonomi. Thaloy (2023) dan Abouelmehdi (2022) menegaskan potensi sistem pengisian daya IoT bertenaga surya di lingkungan pertanian, di mana Abouelmehdi menggunakan energi surya dengan baterai sebagai sumber daya untuk sistem pemantauan pertanian cerdas. Studi-studi ini secara kolektif mendukung penggunaan panel surya dan baterai lithium sebagai solusi daya yang andal dan berkelanjutan untuk sensor pertanian cerdas berbasis ESP32. Kombinasi berbagai strategi ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk tantangan energi dalam sensor pertanian pintar berbasis ESP32.

B. Metodologi

Metodologi penelitian ini melibatkan pencarian dan analisis literatur terkait strategi daya rendah pada sensor pertanian pintar berbasis ESP32 dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2018-2023). Pencarian dilakukan melalui basis data seperti Google Scholar, IEEE Xplore, dan jurnal-jurnal terkait untuk mengidentifikasi studi yang fokus pada efisiensi energi mikrokontroler ESP32 dalam lingkungan aplikasi pertanian pintar.

Artikel-artikel yang dipilih dievaluasi berdasarkan relevansi dengan topik, metodologi penelitian, hasil yang dicapai, serta kontribusinya terhadap pemahaman tentang manajemen daya pada sensor IoT. Analisis literatur ini menyusun informasi dari berbagai studi untuk mengidentifikasi pendekatan yang efektif dalam mengurangi konsumsi daya, mengeksplorasi keunggulan dan kelemahan masing-masing pendekatan, serta menyoroti temuan kunci yang dapat mendukung pengembangan lebih lanjut dalam penelitian dan implementasi praktis.

C. Analisis Literatur

Optimasi energi pada ESP32 menjadi krusial dalam aplikasi pertanian pintar, di mana perangkat sering kali ditempatkan di lingkungan yang terpencil dengan akses terbatas terhadap sumber daya listrik. Penggunaan strategi daya rendah tidak hanya membantu memperpanjang masa pakai baterai sensor, tetapi juga mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan. Dzahir (2023) menemukan bahwa mengaktifkan mode tidur dalam pada ESP32 dapat mengurangi konsumsi energi sebesar 83,38% tanpa mengorbankan kinerja sistem secara signifikan, dan Choroszucho (2021) mengidentifikasi parameter operasi optimal untuk efisiensi energi pada ESP32. Studi-studi ini secara kolektif menyoroti potensi optimalisasi algoritma dalam meningkatkan efisiensi energi dari ESP32.

Selain itu, optimasi algoritma pengumpulan data juga terbukti efektif. Lautner (2018) menekankan pentingnya algoritma penjadwalan yang dirancang dengan baik untuk meminimalkan konsumsi daya, dan Al-Taie (2023) mengusulkan pendekatan berbasis jadwal untuk menghidupkan dan mematikan sensor IoT, yang juga berkontribusi pada efisiensi energi. Temuan-temuan ini secara kolektif menyoroti potensi algoritma dalam meningkatkan efisiensi energi sistem berbasis mikrokontroler. Beberapa penelitian juga merekomendasikan penggunaan sumber energi alternatif seperti panel surya untuk mendukung operasional sensor ESP32 secara berkelanjutan di lapangan (Thaloy (2023) dan Babu (2023)).

Optimasi energi pada ESP32 sangat penting dalam aplikasi pertanian pintar karena sering ditempatkan di lingkungan terpencil dengan akses terbatas terhadap listrik. Strategi daya rendah membantu memperpanjang masa pakai baterai sensor dan mengurangi biaya operasional serta pemeliharaan. Studi menunjukkan bahwa mengaktifkan mode tidur dalam ESP32 dapat mengurangi konsumsi energi hingga 83,38% tanpa mengorbankan kinerja sistem secara signifikan. Penelitian juga mengidentifikasi parameter operasi optimal untuk meningkatkan efisiensi energi pada ESP32, sementara optimasi algoritma pengumpulan data berkontribusi pada efisiensi energi sistem IoT.

Rekomendasi penggunaan sumber energi alternatif seperti panel surya juga mendukung operasional sensor ESP32 secara berkelanjutan di lapangan. Secara keseluruhan, penelitian terbaru menunjukkan kemajuan dalam mengatasi tantangan efisiensi energi pada ESP32 dalam aplikasi pertanian pintar, dengan harapan untuk mengembangkan solusi inovatif untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi dalam teknologi IoT di sektor ini.

Temuan ini menggarisbawahi pentingnya memilih mode tidur yang sesuai dengan kondisi aplikasi untuk mencapai optimalisasi energi yang maksimal. Penelitian ini memberikan landasan yang kuat bagi pengembangan sistem IoT yang efisien secara energi, terutama dalam lingkungan pertanian yang memerlukan sensor yang dapat beroperasi dengan daya yang rendah selama periode yang panjang. Implementasi algoritma yang tepat dapat membantu menghemat daya baterai dan

memperpanjang masa pakai perangkat, yang sangat bermanfaat dalam aplikasi pertanian pintar di mana pengumpulan data secara terus-menerus diperlukan untuk monitoring kondisi lingkungan.

Secara keseluruhan, penelitian terbaru menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam mengatasi tantangan efisiensi energi pada ESP32, terutama dalam konteks aplikasi pertanian pintar. Dengan melanjutkan eksplorasi teknik-teknik ini, diharapkan dapat dikembangkan solusi-solusi inovatif yang tidak hanya meningkatkan kinerja sistem, tetapi juga mendukung keberlanjutan dan efisiensi dalam penerapan teknologi IoT di sektor pertanian.

Pentingnya pendekatan multi-faset dalam merancang dan mengelola sistem IoT berbasis ESP32 untuk aplikasi pertanian pintar, dengan fokus pada efisiensi energi dan keberlanjutan. Dengan terus mengembangkan dan menerapkan strategi ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian melalui teknologi IoT yang canggih dan efisien.

D. Diskusi

Penelitian ini telah mengidentifikasi berbagai strategi yang diterapkan untuk menghemat energi pada mikrokontroler ESP32 dalam aplikasi pertanian pintar. Bagian ini akan membahas secara mendalam tentang efektivitas mode tidur, optimasi algoritma pengumpulan data, integrasi sumber energi alternatif, implikasi keamanan, serta potensi pengembangan dan aplikasi masa depan dari teknologi ini. Pembahasan ini bertujuan untuk memberikan wawasan komprehensif mengenai tantangan dan solusi yang dihadapi dalam upaya meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan sistem IoT berbasis ESP32 dalam konteks pertanian pintar.

1. Analisis Komparatif Strategi Penghematan Energi

Penelitian ini mengidentifikasi berbagai strategi penghematan energi yang telah diterapkan pada mikrokontroler ESP32 dalam aplikasi pertanian pintar. Penggunaan mode tidur (deep sleep dan light sleep) menunjukkan pengurangan konsumsi daya yang signifikan tanpa mengorbankan kinerja sistem. Hal ini sesuai dengan temuan Dzahir (2023) yang mencatat pengurangan konsumsi daya hingga 83,38%. Namun, perlu dicatat bahwa efisiensi optimal dari mode tidur tergantung pada pola pengumpulan data dan frekuensi aktivasi sensor. Oleh karena itu, studi masa depan harus mempertimbangkan evaluasi lebih rinci tentang bagaimana variasi dalam pola kerja sensor mempengaruhi efisiensi energi secara keseluruhan.

2. Penerapan Algoritma Pengumpulan Data yang Efisien

Optimasi algoritma pengumpulan data juga menunjukkan potensi besar dalam menghemat energi. Algoritma penjadwalan yang cerdas, seperti yang diusulkan oleh Lautner (2018) dan Al-Taie (2023), dapat meminimalkan waktu aktif sensor dan mengurangi konsumsi daya secara signifikan. Meskipun algoritma ini menunjukkan hasil yang menjanjikan, implementasinya dalam skenario dunia nyata memerlukan penyesuaian dan pengujian lebih lanjut untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi lingkungan pertanian yang dinamis. Kombinasi strategi ini dengan mode tidur yang tepat dapat menciptakan sistem IoT yang sangat efisien energi.

3. Integrasi Sumber Energi Alternatif

Penggunaan panel surya dan baterai lithium sebagai sumber daya alternatif untuk perangkat IoT berbasis ESP32 telah terbukti efektif dalam mendukung keberlanjutan sistem. Studi oleh Thaloy (2023) dan Babu (2023) menunjukkan bahwa sistem bertenaga surya tidak hanya menyediakan solusi daya yang berkelanjutan tetapi juga meningkatkan otonomi sensor di lapangan. Namun, tantangan utama dalam integrasi sumber energi surya adalah ketergantungan pada kondisi cuaca dan efisiensi konversi energi yang mungkin tidak selalu optimal. Oleh karena itu, penelitian masa depan harus fokus pada pengembangan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien dan algoritma manajemen daya yang adaptif untuk mengatasi fluktuasi dalam produksi energi surya.

4. Implikasi Keamanan

Keamanan merupakan aspek penting yang sering kali terabaikan dalam diskusi tentang efisiensi energi pada perangkat IoT. Implementasi mode tidur, meskipun efektif dalam menghemat energi, dapat membuat perangkat rentan terhadap serangan deprivasi tidur (sleep deprivation attacks). Menurut Fobe (2022), teknik berbasis data konsumsi baterai lokal dapat digunakan untuk mendeteksi dan mencegah serangan ini. Oleh karena itu, desain sistem IoT berbasis ESP32 harus mengintegrasikan mekanisme keamanan yang kuat untuk melindungi sensor dari potensi ancaman ini, tanpa mengorbankan efisiensi energi.

5. Potensi Pengembangan dan Aplikasi Masa Depan

Pengembangan lebih lanjut dari teknologi IoT berbasis ESP32 dalam pertanian pintar harus mencakup pendekatan holistik yang menggabungkan strategi penghematan energi dengan solusi keamanan yang kuat dan sumber daya alternatif yang berkelanjutan. Potensi integrasi teknologi jaringan seperti LoRaWAN dan 5G juga harus dieksplorasi untuk meningkatkan jangkauan dan efisiensi komunikasi antar sensor. Selain itu, penerapan machine learning dan artificial intelligence dalam manajemen daya dan pengumpulan data dapat memberikan solusi yang lebih adaptif dan efisien untuk tantangan yang dihadapi dalam pertanian pintar.

E. Kesimpulan

Pengelolaan energi pada mikrokontroler ESP32 memiliki peran krusial dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem IoT dalam konteks aplikasi pertanian pintar. Studi literatur menunjukkan bahwa penggunaan mode tidur seperti deep sleep dan light sleep secara signifikan mengurangi konsumsi daya mikrokontroler, hingga mencapai 80%, tanpa mengorbankan kinerja sistem. Optimasi algoritma pengumpulan data juga terbukti efektif dalam mengatur penggunaan daya dengan mengaktifkan sensor hanya pada waktu tertentu atau berdasarkan kondisi lingkungan yang spesifik. Selain itu, integrasi sumber energi alternatif seperti panel surya memberikan solusi berkelanjutan untuk mendukung operasional mikrokontroler ESP32 di lapangan, mengurangi ketergantungan pada baterai konvensional dan mengurangi dampak lingkungan.

Pentingnya pendekatan multi-faset dalam merancang dan mengelola sistem IoT berbasis ESP32 untuk aplikasi pertanian pintar. Efisiensi energi, keberlanjutan, dan keamanan harus menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi ini. Dengan melanjutkan eksplorasi teknik-teknik canggih dan integrasi sumber daya alternatif, diharapkan dapat dicapai peningkatan signifikan dalam produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian melalui penerapan teknologi IoT yang efisien dan aman.

Daftar Pustaka

Abouelmehdi, K., Elhatab, K., & El Moutaouakkil, A. (2022). Smart Agriculture Monitoring System using Clean Energy. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(5).

Al-Taie, A. H. L., Aljumaily, M. S., Ayal, A. M., Al-Khaleefa, A., Dakhil, A. M., & Alsalamy, A. (2023, July). Improving Energy Consumption In IoT Networks: Reducing Sensors Energy By Timing Control. In *2023 Al-Sadiq International Conference on Communication and Information Technology (AICCIT)* (pp. 185-189). IEEE.

Babu, P. R., Sridevi, P., Shamitha, R., Snehaa, A., Maggi, J. S., & Abirami, D. (2023, November). Smart Solar Energy Monitor Using ESP 32 Controller. In *2023 7th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 423-428). IEEE.

- Choroszucho, A., Bednarek, J., Sumorek, M., & Żukowski, J. Selection of ESP32 operating parameters in order to reach optimal energy efficiency during calculations.
- Dzahir, M. A. S. M., & Chia, K. S. (2023, November). Evaluating the Energy Consumption of ESP32 Microcontroller for Real-Time MQTT IoT-Based Monitoring System. In *2023 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)* (pp. 255-261). IEEE.
- Fobe, J. L. A. O., Nogueira, M., & Batista, D. M. (2022, September). A new defensive technique against sleep deprivation attacks driven by battery usage. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais* (pp. 85-96). SBC.
- Lautner, D., Hua, X., DeBates, S., Song, M., & Ren, S. (2018). Power efficient scheduling algorithms for real-time tasks on multi-mode microcontrollers. *Procedia computer science*, 130, 557-566.
- Mois, G.D., Folea, S.C., & Sanislav, T. (2017). Analysis of Three IoT-Based Wireless Sensors for Environmental Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 66, 2056-2064.
- Prauzek, M., Konecny, J., Borova, M., Janosova, K., Hlavica, J., & Musilek, P. (2018). Energy harvesting sources, storage devices and system topologies for environmental wireless sensor networks: A review. *Sensors*, 18(8), 2446.
- Rahayu, F., & Zuchriadi, A. (2023, September). Analysis of Power Consumption Efficiency of ESP Microcontroller Operation in the Implementation of IoT-Based Agricultural Monitoring Systems. In *2023 10th International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Rosa, R.L., Dehollain, C., Costanza, M., Speciale, A., Viola, F., & Livreri, P. (2022). A Battery-Free Wireless Smart Sensor platform with Bluetooth Low Energy Connectivity for Smart Agriculture. *2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, 554-558.
- Thaloy, J., Jansengrat, P., Janratchakool, W., Nooyimsai, S., Krohkaew, J., Crisnapati, P. N., & Thwe, Y. (2023, November). Solar-Powered IoT Charging System for ESP32 in Organic Rice Field. In *2023 18th International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (iSAI-NLP)* (pp. 1-6). IEEE.