



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 3521-3528

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Akuisisi Citra Penyakit Padi Menggunakan Node Sensor IoT Berbasis ESP32-CAM

Yofi Yulianto¹, Pungkas Subarkah², Abdul Azis³, Riyatno⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Amikom Purwokerto

¹yofiyulianto778@gmail.com, ²subarkah@amikompurwokerto.ac.id, ³abdazis9@amikompurwokerto.ac.id

Abstrak

Penyakit pada tanaman padi, seperti hawar daun dan tungro, dapat menyebabkan penurunan hasil panen secara signifikan yang mengancam ketahanan pangan jika tidak dideteksi sejak dini. Untuk melatih model klasifikasi kecerdasan buatan dalam mengenali penyakit tersebut, dibutuhkan dataset citra visual yang berskala besar dan berkualitas tinggi. Sayangnya, pengambilan dataset secara manual di area persawahan memakan waktu, tenaga, dan sangat rentan terhadap inkonsistensi sudut serta jarak pandang pengamat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun purwarupa perangkat keras node sensor Internet of Things (IoT) berbasis mikrokontroler ESP32-CAM guna mengotomatisasi proses akuisisi data visual penyakit padi di lingkungan terbuka. Sistem utama mengintegrasikan sensor jarak ultrasonik HC-SR04 untuk memastikan lensa kamera OV2640 selalu berada pada titik fokus yang ideal sebelum pengambilan gambar. Selain itu, perangkat keras ini dilengkapi dengan motor servo sebagai aktuator untuk mengatur sudut pandang kamera secara mekanis dan presisi tanpa perlu memindahkan fisik alat. Catu daya sistem disuplai melalui skema distribusi kelistrikan paralel menggunakan powerbank portabel untuk mencegah terjadinya fenomena penurunan tegangan (brownout reset) pada mikrokontroler saat komponen mekanis beroperasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa arsitektur perangkat keras mampu beroperasi dengan sangat stabil tanpa interupsi daya, dan node sensor berhasil mengakuisisi citra daun padi dengan tajam pada jarak fokus optimal. Alat ini memberikan solusi fisik yang tangguh dan portabel untuk pengumpulan dataset visual secara masif. Ke depannya, purwarupa ini siap diintegrasikan dengan aplikasi kontrol jarak jauh untuk memfasilitasi pemantauan dan pergerakan alat secara nirkabel.

Kata kunci: Akuisisi Citra, ESP32-CAM, Node Sensor, Penyakit Padi, Motor Servo.

1. Latar Belakang

Sektor pertanian memegang peranan vital dalam menjaga ketahanan pangan nasional maupun global, di mana tanaman padi bertindak sebagai komoditas utama yang menjadi sumber pangan pokok bagi mayoritas penduduk. Namun, dalam praktik di lapangan, produktivitas lahan pertanian padi sering kali dihadapkan pada ancaman nyata akibat serangan hama dan penyakit tanaman. Keterlambatan dalam mengidentifikasi gejala infeksi penyakit, seperti hawar daun bakteri, blas, maupun tungro, dapat menyebabkan penurunan hasil panen secara drastis dalam skala besar. Oleh sebab itu, implementasi teknologi modern berupa otomasi deteksi dini berbasis pengolahan citra digital dan visi komputer menjadi instrumen kritis yang sangat dibutuhkan untuk memitigasi risiko tersebut [1], [2]. Pengembangan model kecerdasan buatan untuk identifikasi penyakit tanaman secara akurat membutuhkan pasokan dataset citra daun dalam jumlah yang besar, variatif, dan memiliki validitas tinggi. Kendala utamanya adalah metode pengumpulan dataset di lapangan yang saat ini masih mengandalkan pemantauan manual oleh tenaga manusia. Praktik konvensional tersebut tidak hanya tidak efisien untuk skala area pertanian yang luas, melainkan juga rentan terhadap faktor subjektivitas pengamat yang dapat memicu ketidakakuratan serta inkonsistensi kualitas data visual yang dikumpulkan [3]. Guna mengatasi keterbatasan operasional dari pemantauan manual tersebut, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan mengintegrasikan perangkat keras sensor dan modul kamera nirkabel hadir sebagai solusi otomasi pengawasan yang andal di area pertanian [4], [5].

Node sensor berbasis IoT dirancang untuk ditempatkan langsung pada area persawahan guna melakukan pengumpulan data secara kontinu. Salah satu modul perangkat keras yang sangat populer dan efisien dalam ekosistem IoT pertanian adalah ESP32-CAM. Papan sirkuit mikro ini banyak dipilih oleh para peneliti karena mengombinasikan unit pemroses pusat yang bertenaga, modul komunikasi nirkabel Wi-Fi, dan antarmuka kamera OV2640 ke dalam satu dimensi fisik yang sangat ringkas serta bernilai ekonomis. Fleksibilitas serta keandalan modul ESP32-CAM ini telah dibuktikan dalam berbagai macam studi sistem pemantauan nirkabel, mulai dari

otomasi pengawasan keamanan, sistem peringatan pelanggaran marka jalan raya, hingga pemantauan parameter komoditas hortikultura seperti tanaman cabai dan sistem hidroponik [6], [7], [8]. Meskipun modul ESP32-CAM menawarkan portabilitas yang tinggi, penggunaannya pada lingkungan pertanian terbuka menghadapi tantangan teknis terkait dengan konsistensi kualitas fokus citra yang dihasilkan. Untuk menghasilkan dataset daun padi yang valid, lensa kamera harus mengambil gambar pada jarak yang konstan agar struktur morfologi penyakit pada daun dapat terfragmentasi dengan jelas. Oleh karena itu, arsitektur node sensor mutlak memerlukan komponen pengukur jarak yang presisi untuk memvalidasi posisi objek daun sebelum instruksi pengambilan gambar dieksekusi oleh mikrokontroler. Integrasi sensor ultrasonik HC-SR04 menjadi solusi mekanis yang efektif, di mana komponen ini memanfaatkan pantulan gelombang bunyi frekuensi tinggi untuk mendeteksi jarak objek di hadapannya secara *real-time* [4], [9]. Di samping aspek penentuan jarak fokus, pembatasan sudut pandang (*field of view*) kamera yang statis juga menjadi hambatan tersendiri jika alat dipasang pada satu posisi tetap. Guna memperluas cakupan area pemindaian tanpa harus memindahkan posisi fisik tiang penyangga alat secara keseluruhan, sistem membutuhkan dukungan aktuator mekanis berupa satu unit motor servo yang dikonfigurasi khusus untuk mengatur rotasi sudut pandang kamera secara horisontal [8].

Tantangan teknis paling kritis dalam mengintegrasikan ESP32-CAM dengan komponen sensor jarak dan motor penggerak mekanis berada pada sistem manajemen daya lokal. Penggunaan modul komunikasi Wi-Fi pada ESP32-CAM secara bersamaan dengan aktifnya beban induktif dari motor servo sering kali memicu fenomena ketidakstabilan tegangan yang berujung pada kondisi *brownout reset* pada mikrokontroler [8], [10]. Gejala *brownout* ini terjadi karena motor servo menarik lonjakan arus mula (*inrush current*) yang besar saat mulai berputar untuk mengubah orientasi kamera. Jika kebutuhan arus dinamis ini disuplai dari satu jalur bus daya tunggal yang sama dengan mikrokontroler, maka tegangan sistem akan merosot tajam di bawah ambang batas minimum yang diizinkan oleh detektor internal ESP32. Akibatnya, mikrokontroler akan mengalami kegagalan fungsi atau melakukan *restart* secara berulang dengan sendirinya, sehingga menginterupsi proses transmisi data dan merusak dataset citra yang sedang diakuisisi di lapangan [10], [11].

Kesenjangan pada penelitian-penelitian rancang bangun perangkat keras sebelumnya terletak pada minimnya fokus perancangan arsitektur kelistrikan tingkat node sensor yang secara spesifik menggabungkan mekanisme rotasi kamera dengan sistem manajemen daya terdistribusi untuk mencegah masalah *brownout* di lingkungan terbuka. Sebagian besar literatur lebih berfokus pada optimasi algoritma klasifikasi citra, namun mengabaikan faktor keandalan suplai daya lokal pada perangkat keras portabelnya. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun purwarupa perangkat keras node sensor IoT berbasis ESP32-CAM, sensor ultrasonik HC-SR04, dan satu unit motor servo untuk kebutuhan otomasi akuisisi data visual penyakit padi. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan skema distribusi daya paralel menggunakan sumber daya portabel (*powerbank* 5V) yang dimodifikasi. Jalur keluaran daya dipecah menjadi dua aliran mandiri, di mana satu jalur didedikasikan eksklusif untuk menjaga stabilitas tegangan mikrokontroler, sementara jalur paralel lainnya menyuplai kebutuhan arus dinamis motor servo. Pendekatan ini menjamin sistem terbebas dari interupsi daya sehingga proses penangkapan gambar dan pergerakan mekanis dapat berlangsung secara simultan dan stabil.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental murni yang berfokus pada tahapan rancang bangun, sintesis sistem, serta perakitan fisik purwarupa perangkat keras node sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk diaplikasikan secara spesifik pada lingkungan pertanian terbuka [5], [12]. Pendekatan eksperimental ini dipilih karena memungkinkan pengujian secara langsung terhadap variabel fisik kelistrikan dan fungsionalitas sensor di lapangan, sehingga validitas performa alat dapat diukur secara kuantitatif berdasarkan data riil. Proses penelitian terstruktur ini diawali dengan melakukan analisis kebutuhan sistem, pemetaan pin mikrokontroler, perancangan skema elektronika pada simulator, hingga pengujian fungsionalitas prototipe di area persawahan padi untuk mensimulasikan kondisi pengumpulan dataset yang sesungguhnya. Guna memastikan proses penulisan dan pengembangan berjalan secara sistematis, tahapan perancangan dalam penelitian ini dibagi secara komprehensif menjadi tiga bagian utama, yaitu arsitektur interkoneksi perangkat keras, manajemen distribusi daya kelistrikan paralel, dan pemodelan alur kerja sistem (*logical workflow*) [12]. Pembagian metodologi ini sangat krusial untuk mempermudah isolasi parameter evaluasi, baik pada analisis akurasi pembacaan jarak sensor ultrasonik, stabilitas suplai tegangan mekanis aktuator, maupun keberhasilan transmisi nirkabel dari citra visual objek daun yang diakuisisi.

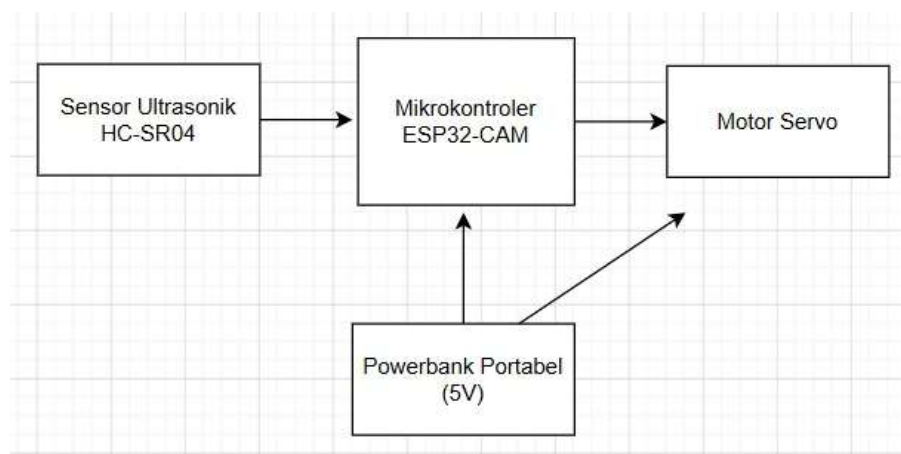
2.1. Arsitektur Perangkat Keras

Sistem utama pada rancang bangun node sensor IoT ini dikembangkan dengan menggunakan papan mikrokontroler ESP32-CAM yang bertindak sebagai pusat kendali pemrosesan data kelistrikan (*central processing unit*) sekaligus sebagai modul pengakuisisi citra visual daun padi [7], [13]. Modul ini dipilih karena telah berhasil mengintegrasikan kemampuan komunikasi nirkabel Wi-Fi dan antarmuka lensa kamera OV2640 dalam satu papan sirkuit yang sangat ringkas [7]. Konfigurasi fisik ini memungkinkan perangkat keras untuk menjalankan fungsi penangkapan gambar penyakit pada tanaman dan mentransmisikannya secara efisien tanpa membutuhkan banyak periferal tambahan yang dapat membebani sistem [13].

Meskipun ringkas, modul kamera OV2640 memiliki karakteristik optik dengan titik fokus tetap, sehingga objek daun target mutlak harus berada pada jarak yang ideal agar citra tidak mengalami distorsi atau efek buram [7]. Untuk memastikan lensa kamera menangkap gambar pada jarak fokus yang optimal sesuai dengan karakteristik kamera OV2640, sistem diintegrasikan dengan sensor jarak ultrasonik HC-SR04 [4]. Sensor ultrasonik ini bekerja dengan tingkat presisi yang baik melalui mekanisme pemancaran gelombang bunyi frekuensi tinggi ke arah luar, yang kemudian mendeteksi gelombang pantulan (gema) yang berbalik arah sesaat setelah membentur permukaan objek di depannya [4]. Berdasarkan prinsip kerja pantulan suara tersebut, jarak absolut antara perangkat dan objek daun padi dihitung secara otomatis oleh mikrokontroler. Kalkulasi ini dieksekusi berdasarkan parameter waktu tempuh pantulan gelombang dengan menggunakan persamaan matematis berikut [4] :

$$S = \frac{v \times t}{2}$$

di mana S adalah jarak, v adalah kecepatan rambat suara di udara, dan t adalah waktu tempuh gelombang [4]. Pembagian dengan bilangan dua pada persamaan tersebut mengompensasi jalur lintasan ganda (pergi dan pulang) yang dilalui oleh pantulan gelombang akustik [4].



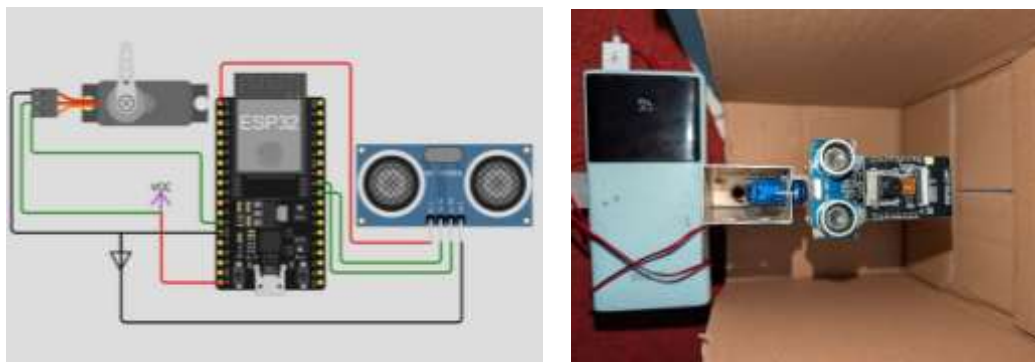
Gambar 1. Blok Arsitektur Node Sensor IoT

Secara keseluruhan, topologi hubungan fungsional dan aliran instruksi antar komponen dalam rancang bangun node sensor ini direpresentasikan secara visual melalui blok arsitektur pada Gambar 1. Diagram tersebut mengilustrasikan tiga alur utama dalam sistem kelistrikan, yakni masukan data (*input*), pemrosesan pusat (*processing*), dan keluaran mekanis (*output*), yang seluruhnya ditopang oleh satu sumber daya terpusat. Pada blok masukan, sensor ultrasonik HC-SR04 bertugas memindai keberadaan rintangan fisik dan mengirimkan data jarak mentah ke mikrokontroler ESP32-CAM untuk dievaluasi melalui logika kondisional guna memastikan parameter jarak ideal terpenuhi sebelum modul kamera diaktifkan. Guna memberikan fleksibilitas pemantauan visual yang lebih dinamis tanpa mengharuskan pemindahan fisik penyangga alat secara manual oleh pengamat di area persawahan, perangkat keras ini dilengkapi dengan mekanisme aktuator elektromekanis menggunakan motor servo [14]. Unit motor servo yang menerima sinyal kendali langsung dari mikrokontroler ini dikonfigurasi secara spesifik pada kedudukan mekanis penyangga modul kamera untuk memfasilitasi rotasi sudut pandang secara horizontal (*panning*) dengan tingkat presisi yang tinggi [14]. Mekanisme pergerakan mekanis ini dirancang agar siap merespons instruksi yang dikirimkan secara nirkabel melalui aplikasi antarmuka jarak jauh, sehingga jangkauan pemindaian penyakit pada daun padi kelak menjadi lebih luas, adaptif, dan sangat efisien. Melengkapi arsitektur fungsional tersebut, diagram ini juga secara tegas memperlihatkan komponen sumber daya portabel

(*powerbank* 5V) yang memecah aliran listriknya menjadi dua arah anak panah yang terpisah menuju mikrokontroler dan motor servo, yang menjadi representasi visual dari penerapan skema distribusi kelistrikan paralel guna mencegah instabilitas tegangan selama sistem beroperasi.

2.2. Manajemen Daya dan Kelistrikan

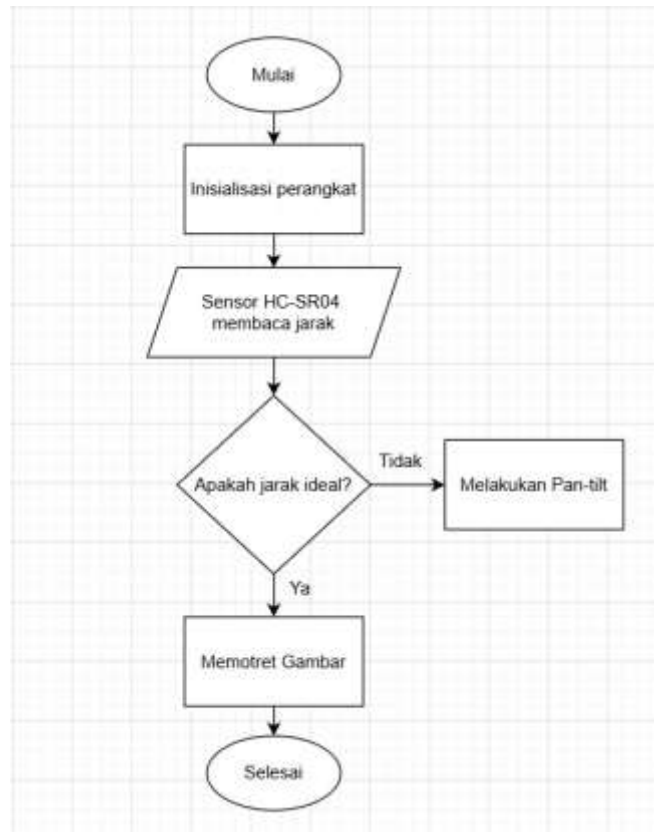
Fokus kritis dalam perancangan perangkat keras ini adalah arsitektur manajemen distribusi daya untuk mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan atau *brownout reset* pada mikrokontroler [10]. Penggunaan modul ESP32-CAM bersamaan dengan pergerakan mekanis motor servo membutuhkan lonjakan arus yang signifikan dan dapat membebani satu jalur catu daya [10]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dirancanglah skema distribusi daya paralel yang ditunjukkan pada Gambar 2. Catu daya dirancang menggunakan sumber daya portabel berupa *powerbank* untuk mendukung mobilitas alat di lahan pertanian [12]. Kabel konektor USB Type-A dimodifikasi untuk memecah pasokan daya lima volt menjadi dua jalur paralel yang independen. Jalur pertama didedikasikan secara eksklusif untuk menyuplai tegangan ke ESP32-CAM, sementara jalur kedua langsung memasok daya ke motor servo agar lonjakan arus tidak mengganggu mikrokontroler [9],[10]. Seluruh rangkaian komponen dihubungkan pada satu titik landasan yang sama (*common ground*) untuk memastikan pembacaan sinyal kontrol tetap stabil dan sinkron antara pin mikrokontroler dan aktuator [9], [14].



Gambar 2. Skema Rangkaian dan Distribusi Daya Paralel
(Menggunakan papan ESP32 standar sebagai representasi mikrokontroler utama).

2.3. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem (*system workflow*) dirancang secara sistematis untuk mengatur seluruh tahapan operasional perangkat keras, mulai dari proses inisialisasi awal hingga tahap akhir penangkapan serta pengiriman citra visual [3]. Ketika sistem pertama kali menerima pasokan daya dari *powerbank*, mikrokontroler ESP32-CAM akan melakukan inisialisasi perifer, mengaktifkan fungsi kamera, dan memicu sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mulai memindai jarak rintangan daun padi secara *real-time* [4]. Rincian tahapan logis dari keseluruhan proses akuisisi data visual ini diilustrasikan secara runtut pada diagram alir di Gambar 3. Setelah jarak fokus ideal berhasil divalidasi oleh sensor ultrasonik, sistem akan menunggu instruksi pergerakan sudut yang dikirimkan dari antarmuka kendali jarak jauh (*remote control*), di mana mikrokontroler kemudian menerjemahkan perintah tersebut menjadi sinyal kendali *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk memutar satu unit motor servo secara horizontal guna menyesuaikan sudut pandang kamera [9]. Siklus kerja ini diakhiri dengan pengambilan citra daun padi yang otomatis ditransmisikan secara nirkabel melalui modul Wi-Fi IoT menuju sistem penyimpanan data [6], [11]. Guna memastikan keandalan alur kerja ini, pengujian lapangan dilakukan secara berulang untuk mengukur tingkat akurasi pembacaan jarak sensor ultrasonik dibandingkan dengan alat ukur manual, serta menguji stabilitas distribusi daya kelistrikan ketika komponen aktuator mekanis dan kamera beroperasi secara simultan di lapangan [3], [4].



Gambar 3. Diagram Alir Akuisisi Data Visual

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

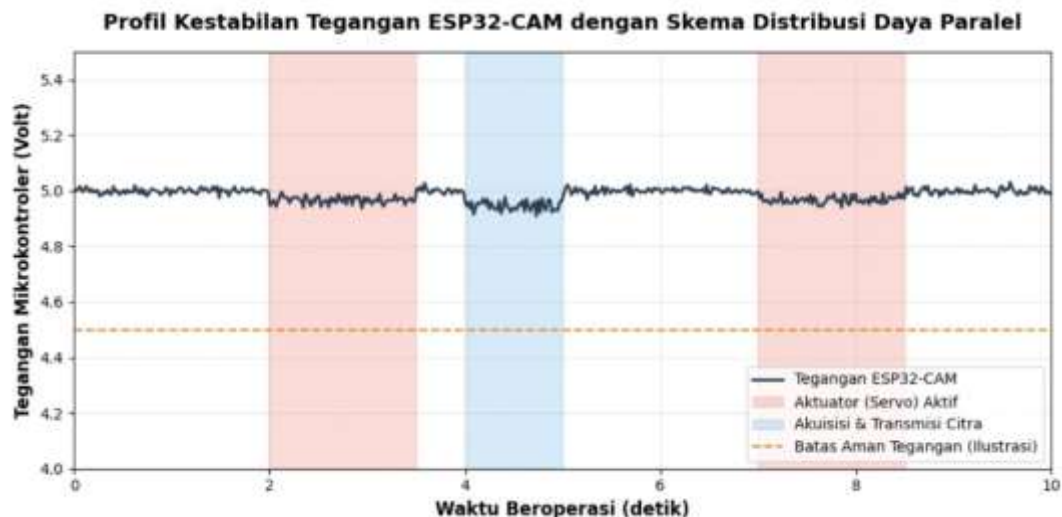
Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk memvalidasi kemampuannya dalam menentukan jarak ideal antara lensa kamera dan permukaan daun padi. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan pembacaan jarak logis pada sistem mikrokontroler terhadap pengukuran fisik manual menggunakan mistar ukur standar pada rentang lima hingga tiga puluh sentimeter [4]. Berdasarkan data pengujian komparatif yang disajikan pada Tabel 1, tingkat kesalahan atau *error* rata-rata yang dihasilkan oleh sensor berada di bawah 7 persen. Selisih pembacaan minor ini sebagian besar dipengaruhi oleh karakteristik bentuk dan tekstur permukaan daun padi yang tidak datar, sehingga menyebabkan sedikit hamburan (*scattering*) pada pantulan gelombang suara yang diterima kembali oleh sensor. Meskipun terdapat deviasi kecil tersebut, tingkat presisi ini tergolong sangat baik dan terbukti memenuhi standar toleransi kebutuhan pemfokusan lensa OV2640, sehingga objek citra daun dapat berada pada titik fokus yang tajam [5], [13]. Dengan jarak fokal yang terjaga secara konsisten melalui pengukuran sensor ini, detail morfologi bercak penyakit pada permukaan daun dapat terekam dengan tingkat kejelasan yang optimal guna memfasilitasi proses ekstraksi fitur oleh algoritma klasifikasi di tahap selanjutnya.

Jarak Manual	Jarak Sensor	Error (%)
5 cm	5 cm	0 %
10 cm	9,5 cm	5 %
20 cm	19 cm	5 %
30 cm	28 cm	6 %

Tabel 1. Perbandingan Pengukuran Jarak Sensor dan Manual

3.2. Pengujian Stabilitas Daya dan Respons Aktuator

Pengujian selanjutnya difokuskan pada keandalan arsitektur distribusi daya paralel saat node sensor menjalankan beban kerja maksimal. Modul ESP32-CAM diinstruksikan untuk mengambil gambar secara terus-menerus sementara motor servo digerakkan secara simultan untuk mengubah sudut pandang kamera [9]. Hasil observasi menunjukkan bahwa pemisahan jalur daya sebesar lima volt secara independen dari sumber *powerbank* terbukti efektif mencegah terjadinya fenomena penurunan tegangan drastis pada mikrokontroler [10]. Tidak ditemukan adanya interupsi aliran daya atau sistem yang melakukan proses *brownout reset* dengan sendirinya selama seratus kali siklus pergerakan mekanis *pan-tilt* dilakukan secara berurutan [7], [10]. Stabilitas respons aktuator dan profil tegangan sistem selama pengujian dapat diamati secara lebih jelas pada Gambar 4. Kemampuan alat dalam mempertahankan tegangan ini mengonfirmasi bahwa arsitektur kelistrikan yang diusulkan berhasil menyelesaikan kelemahan pada rancangan tradisional [9], [12].



Gambar 4. Profil Kestabilan Daya Saat Sistem Beroperasi

3.3. Hasil Akuisisi Citra Visual Penyakit Padi

Aspek terakhir yang dievaluasi dalam penelitian ini adalah kualitas keluaran data visual yang dihasilkan oleh perangkat keras yang telah dirakit. Gambar 5 menunjukkan sampel dataset citra daun padi yang berhasil diakuisisi secara otomatis dan ditransmisikan secara nirkabel melalui koneksi modul Wi-Fi di lingkungan luar ruangan [12]. Proses transmisi data visual berformat JPEG ini berjalan lancar dari modul kamera menuju sistem penyimpanan tanpa mengalami degradasi kualitas gambar ataupun kegagalan pengiriman data di lapangan [12]. Penggunaan sensor ultrasonik sebagai penentu batas jarak terbukti mampu menempatkan posisi kamera pada koordinat fokal yang ideal sebelum instruksi pemotretan dieksekusi oleh mikrokontroler [4]. Mekanisme umpan balik jarak ini secara konsisten meminimalkan kemunculan efek kabur (*blur*) pada foto akibat pergerakan angin di area persawahan terbuka [4]. Hasilnya, karakteristik bercak atau gejala fisik penyakit pada daun terlihat dengan tingkat pencahayaan, ketajaman, dan resolusi piksel yang sangat memadai untuk diproses lebih lanjut oleh model klasifikasi kecerdasan buatan [1], [2]. Kejelasan rincian tepi bercak serta kontras warna pada citra hasil tangkapan tersebut sangat krusial untuk menjamin akurasi ekstraksi fitur pada algoritma pembelajaran mendalam [1], [2].

Secara keseluruhan, arsitektur perangkat keras yang dirancang telah beroperasi secara optimal sesuai dengan spesifikasi teknis yang diharapkan dan mampu menjalankan otomatisasi pengumpulan data visual tanpa kendala teknis perangkat keras yang berarti [3]. Keberhasilan fungsional ini sekaligus memvalidasi bahwa integrasi komponen dalam penelitian ini dapat menjadi solusi praktis bagi standarisasi proses pengumpulan data di sektor pertanian cerdas [3].



Gambar 5. Contoh Hasil Akuisisi Citra Daun Padi

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun purwarupa perangkat keras node sensor IoT berbasis ESP32-CAM untuk kebutuhan otomasi akuisisi data visual penyakit pada daun padi. Berdasarkan hasil pengujian lapangan, integrasi sensor ultrasonik HC-SR04 terbukti efektif dalam memastikan posisi kamera berada pada titik fokus yang presisi dengan tingkat kesalahan (*error*) rata-rata pengukuran jarak di bawah 10%, sehingga mampu menghasilkan citra daun yang tajam untuk kebutuhan dataset kecerdasan buatan. Di samping itu, implementasi mekanisme aktuator menggunakan satu unit motor servo mampu memberikan fleksibilitas penyesuaian sudut pandang kamera secara mekanis dan akurat. Kontribusi kritis dari penelitian ini juga dibuktikan melalui penerapan arsitektur distribusi daya paralel menggunakan *powerbank* 5V, yang terbukti secara nyata mampu mengatasi masalah *brownout reset* pada mikrokontroler. Skema pemisahan jalur kelistrikan mandiri ini menjamin stabilitas tegangan sistem tetap berada pada level aman tanpa adanya interupsi daya, bahkan setelah diuji melalui 100 siklus pergerakan mekanis dan pengambilan gambar beresolusi tinggi secara simultan. Secara praktis, purwarupa perangkat keras ini telah memberikan solusi fisik yang tangguh untuk mempermudah proses pengumpulan data visual di lahan pertanian terbuka secara lebih efisien. Sebagai arah pengembangan pada penelitian selanjutnya, disarankan agar arsitektur perangkat keras node sensor ini diintegrasikan ke dalam sebuah platform bergerak (*mobile platform*) yang terkoneksi langsung dengan ekosistem jaringan nirkabel. Pengembangan sistem kendali otomatis maupun navigasi berbasis aplikasi kontrol jarak jauh (*remote control application*) menjadi prioritas penting berikutnya. Langkah ini akan mengeliminasi kebutuhan campur tangan manusia untuk turun langsung ke area persawahan secara fisik hanya untuk memegang atau memindahkan alat, sehingga proses pemantauan kesehatan tanaman dan pengumpulan dataset dapat berjalan secara penuh, mandiri, aman, dan jauh lebih praktis.

Referensi

- [1] M. Rijal, A. M. Yani, and A. Rahman, "Deteksi Citra Daun Untuk Klasifikasi Penyakit Padi Menggunakan Pendekatan Deep Learning Dengan Model CNN," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 10, no. 1, pp. 56–62, 2024.
- [2] A. A. Santosa, R. Y. Nur, and S. Rizal, "Rice Plant Disease Detection using Digital Image Processing with Convolutional Neural Network," *JESCE (Journal Electr. Syst. Control Eng.)*, vol. 6, no. 2, pp. 98–108, 2023, doi: 10.31289/jesce.v6i2.7930.
- [3] S. Harimurti, M. Rendra, K. Afifah, R. Mazaya, E. Fahri, and A. Wahab, "Sosialisasi Teknologi Kecerdasan Buatan Untuk Mengenal Jenis Sayur dan Buah Secara Otomatis Di Badan Perakitan Dan Modernisasi Pertanian (BRMP) Sayuran Lembang," *COSECANT*, vol. 5, no. 2, pp. 205–210, 2025.
- [4] T. N. Arifin, G. F. Pratiwi, and A. Janrafsasih, "Sensor Ultrasonik Sebagai Sensor Jarak," *J. Tera*, vol. 2, no. 2, pp. 55–62, 2022.
- [5] D. E. Arissandi, "Sistem Monitoring Gambar Daun Mangga Untuk Deteksi Awal Penyakit," *Karapan Netw. J.*, no. 1, 2025.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.8998>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

- [6] Y. Rahmawati and R. B. Simanjuntak, I. U. V. Simorangkir, "Rancang Bangun Purwarupa Sistem Peringatan Pengendara Pelanggar Zebra Cross Berbasis Mikrokontroler ESP-32 CAM," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, pp. 189–195, 2022.
- [7] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 60–66, 2023.
- [8] T. Hariono and D. Y. Cahyono, "Monitoring Kondisi Tanaman Hidroponik Dalam Bentuk Citra Melalui Iot Dengan Modul ESP 32 CAM," *Epic (Exact Pap. Compil.*, vol. 3, no. 4, pp. 453–458, 2021.
- [9] A. N. Yasin and Dahliyusmanto, "Sistem Keamanan Toko IoT : Integrasi ESP32-CAM dan Telegram," *CSRID J.*, vol. 18, no. 2, pp. 218–231, 2026.
- [10] C. Ferry, M. Saputra, and W. Sulisty, "Alat Keamanan Depan Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32-CAM yang Terintegrasi dengan Face Detection dan Telegram," *J. JTIK*, vol. 8, no. 1, 2024.
- [11] R. Harimurti, M. A. Pahlevi, M. S. Zuhrie, and L. E. C. Nignrum, "Penggunaan Esp32 Camera Pemantauan Aktivitas Pembelajaran Peserta Didik Pada Mata Pelajaran Penerapan Rangkaian Elektronika Di Smk Negeri 2 Surabaya," *J. Pendidik. Tek. Elektro*, 2026.
- [12] R. F. Isnanto, H. Ubaya, M. F. Asvi, R. Haidar, and P. Sari, "Sistem Monitoring Jaringan Sensor Node menggunakan RESTful Web Servis pada Teknologi Smart Farming," *Sist. J. Sist. Inf.*, vol. 14, pp. 2146–2164, 2025.
- [13] N. Mehendale, "Object Detection Using ESP 32 CAM," *SSRN Electron. J.*, 2022.
- [14] B. Yanto *et al.*, "Smart Home Monitoring Pintu Rumah Dengan Identifikasi Wajah Menerapkan Camera ESP32 Berbasis IOT," *J. SISFOKOM*, vol. 11, pp. 53–59, 2022.