



Rancang Bangun Pemantauan Kematangan Buah Pisang Cavendish Secara Real-Time Berbasis Internet of Things

Adestia Ayu Safitri^{1*}, Irwansyah², Wahyuni Eka Sari³

¹⁻³Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia

*Penulis Korespondensi: adestiaayusafitri35@gmail.com

Abstract. Cavendish bananas are one of the most widely cultivated fruits and have a relatively high economic value. Determining the ripeness level of Cavendish bananas is essential to obtain good quality and harvest yields. However, this process is still commonly carried out manually based on visual observation of the fruit. This study aims to develop a real-time monitoring system for Cavendish banana ripeness using a TCS3200 color sensor and an ESP32-CAM camera based on the Internet of Things (IoT). The research employed the Waterfall method, which consists of requirements analysis, system design, implementation, and system testing stages. The TCS3200 sensor was used to read RGB color values from Cavendish bananas, while the ESP32-CAM was utilized to capture images of the bananas and leaves. The acquired data were then processed using fuzzy logic to classify fruit ripeness into three categories: unripe, semi-ripe, and ripe. The testing results showed that the system was able to detect color changes in Cavendish bananas and leaves and transmit the data to Firebase for display on a monitoring website. The average time required to send data from the device to the website ranged from 1 to 2 seconds. Based on these results, the developed system can assist in monitoring banana ripeness, enabling faster and easier determination of harvest time. In addition, the system can serve as a technology-based monitoring alternative to help farmers supervise crop conditions more effectively and efficiently.

Keywords: Cavendish Banana; ESP32-CAM; Fuzzy Logic; Internet of Things (IoT); TCS3200 Color Sensor.

Abstrak. Pisang Cavendish merupakan salah satu buah yang banyak dibudidayakan dan memiliki nilai jual yang cukup tinggi. Penentuan tingkat kematangan buah Pisang Cavendish ini sangat penting untuk memperoleh kualitas dan hasil panen yang baik, Namun proses tersebut masih sering dilakukan secara manual berdasarkan pengamatan buah Pisang Cavendish. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem pemantauan kematangan buah Pisang Cavendish secara real-time menggunakan sensor warna TCS3200 dan kamera ESP32-CAM berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini dilakukan dengan metode *Waterfall* yang terdiri dari tahap analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Sensor TCS3200 digunakan untuk membaca nilai warna RGB pada buah Pisang Cavendish, sedangkan ESP32-CAM digunakan untuk mengambil gambar buah Pisang Cavendish dan daun. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan logika fuzzy untuk menentukan tingkat kematangan buah ke dalam kategori mentah, setengah matang, dan matang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membaca perubahan warna buah Pisang Cavendish dan daun serta mengirimkan data ke Firebase untuk ditampilkan data dari alat ke website berkisar antara 1-2 detik. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dibuat dapat membantu proses pemantauan kematangan buah Pisang Cavendish sehingga penentuan waktu panen dapat dilakukan dengan lebih cepat dan mudah. Selain itu, sistem ini dapat menjadi alternatif pemantauan berbasis teknologi yang membantu petani dan melakukan pengawasan kondisi tanaman secara lebih efektif dan efisien.

Kata Kunci: ESP32-CAM; *Internet of Things* (IoT); Logika Fuzzy; Pisang Cavendish; Sensor Warna TCS3200.

1. LATAR BELAKANG

Pisang Cavendish atau yang dikenal sebagai pisang ambon putih merupakan salah satu jenis pisang unggulan yang banyak dibudidayakan di Indonesia serta menjadi komoditas ekspor di berbagai negara. Buah ini memiliki rasa manis, kandungan gizi yang baik, serta bentuk yang seragam sehingga banyak diminati masyarakat. Selain itu, pisang Cavendish memiliki masa simpan yang relative lebih lama dibandingkan beberapa varietas pisang lainnya. Namun, kualitas buah sangat dipengaruhi oleh tingkat kematangannya. Perubahan tingkat kematangan umumnya ditandai dengan perubahan warna kulit buah yang serung dijadikan acuan dalam menentukan waktu panen (P. Saputra et al., 2021). Sampai saat ini, pemantauan

kematangan pisang masih banyak dilakukan secara manual memulai pengamatan warna kulit buah. Cara tersebut cukup sederhana, tetapi hasilnya sering berbeda karena bergantung pada pengalaman dan ketelitian petani. Selain mengamati warna buah, sebagian petani juga memperhatikan perubahan warna daun sebagai indikator tambahan dalam menentukan kesiapan panen. Daun yang mulai menguning atau kecoklatan sering menunjukkan bahwa tanaman telah memasuki fase tertentu menjelang panen. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat membantu memantau kondisi buah dan daun secara lebih akurat dan konsisten.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara otomatis dan real-time. Pada penelitian ini digunakan sensor warna TCS3200 untuk membaca nilai warna pada buah dan daun pisang, sedangkan kamera ESP32-CAM digunakan untuk mengambil gambar dan mengirim data melalui jaringan Wi-Fi. Data yang diperoleh kemudian dikirim ke website monitoring sehingga kondisi tanaman dapat dipantau dari jarak jauh. Untuk menentukan tingkat kematangan buah, digunakan metode logika fuzzy karena mampu mengolah perubahan warna yang terjadi secara bertahap dan tidak memiliki batas yang tegas antara kondisi mentah, setengah matang, dan matang. Melalui penelitian ini dirancang sistem pemantauan kematangan buah pisang Cavendish berbasis IoT yang dapat membantu petani memperoleh informasi kematangan buah secara real-time sehingga proses pemantauan dan penentuan waktu panen dapat dilakukan dengan lebih mudah dan konsisten.

2. KAJIAN TEORITIS

Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang memungkinkan perangkat seperti sensor dan mikrokontroler terhubung melalui jaringan internet untuk memantau *real-time*. Dalam bidang pertanian, penerapan IoT terbukti meningkatkan efisiensi, seperti penelitian (Wahyudi et al., 2025) yang menggambarkan sistem irigasi otomatis berbasis ESP32-CAM dan sensor kelembapan tanah mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air. Data dapat dipantau secara langsung melalui platform seperti Thingspeak. Pada penelitian ini, IoT dimanfaatkan untuk merancang sistem pemantauan kematangan buah pisang Cavendish secara *real-time* menggunakan sensor warna TCS3200 dan kamera ESP32-CAM guna membantu petani menentukan waktu panen yang tepat dan meningkatkan kualitas panen. Pisang Cavendish merupakan salah satu komoditas dengan nilai ekonomi yang cukup tinggi dan banyak diminati oleh pasar, baik di dalam maupun luar negeri. Pengembangan budidaya pisang cavendish di Indonesia dinilai memiliki peluang yang besar untuk meningkatkan pendapatan petani serta mendukung perekonomian daerah. Namun, dalam praktiknya masih terdapat berbagai kendala,

seperti serangan penyakit tanaman dan belum optimalnya pemanfaatan teknologi dalam kegiatan budidaya (Novitasari et al., 2025). oleh karena itu, pada penelitian ini pisang cavendish digunakan sebagai objek penelitian untuk mengembangkan sistem pemantauan ketangan buah secara real-time yang dapat membantu petani dalam menentukan waktu panen dengan lebih tepat. Tingkat Kematangan Pisang dapat diketahui dari perubahan warna kulit buah, mulai dari hijau hingga coklat. Perubahan warna tersebut sering digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat kematangan buah. (Aliansa et al., 2023). melaporkan bahwa metode jaringan syaraf tiruan pada rungan warna RGB mampu mengklasifikasikan 120 sampel pisang ke dalam kategori matang, mengkal, mentah, dan busuk dengan akurasi sebesar 98,3%. Pada penelitian ini, sensor warna TCS3200 dan ESP32-CAM digunakan untuk mendeteksi perubahan warna kulit pisang cavendish secara real-time. Perubahan Warna Daun pisang hijau menjadi kuning atau kecoklatan dapat digunakan sebagai indikator kesiapan panen. Perubahan tersebut terjadi secara alami selama proses pertumbuhan tanaman dan sering dijadikan acuan oleh petani dalam memperkirakan waktu panen. Pada penelitian ini, sensor TCS3200 dan ESP32-CAM digunakan untuk memantau perubahan warna daun secara real-time. Sensor membaca nilai RGB daun, sedangkan ESP32-CAM mengambil gambar dan mengirimkan data melalui jaringan *Internet of Things* (IoT). Data yang diperoleh digunakan untuk membantu proses pemantauan kondisi tanaman sehingga waktu panen dapat ditentukan dengan lebih tepat.

Kamera ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan kamera dan koneksi Wi-Fi sehingga banyak digunakan pada berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT). Modul ini mampu mengambil gambar dan mengirimkan data melalui jaringan internet secara real-time. (Revormasi Ziliwu et al., n.d.) menunjukkan bahwa ESP32-CAM yang dipadukan dengan teknologi TinyML dapat mengklasifikasikan buah dan sayuran dengan baik. Pada penelitian ini, ESP32-CAM digunakan untuk mengambil citra buah pisang cavendish secara real-time sebagai pendukung proses pemantauan tingkat kematangan buah. Sensor Warna TCS3200 merupakan sensor yang dapat membaca warna objek berdasarkan intensitas cahaya dan menghasilkan nilai RGB (*Red*, *Green*, dan *Blue*). Sensor ini sering digunakan untuk mendeteksi tingkat kematangan buah karena mampu membaca perubahan warna kulit buah tanpa merusak objek yang diamati. Selain pada buah, sensor TCS3200 juga dapat digunakan untuk membaca perubahan warna daun yang berkaitan dengan kondisi tanaman. (Putri Lukman et al., n.d.) melaporkan bahwa sensor TCS3200 berbasis *Internet of Things* IoT) dapat digunakan untuk menyortir tingkat kematangan buah dengan baik. Dalam

penelitian ini, sensor TCS3200 digunakan untuk membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang cavendish sebagai dasar penentuan tingkat kematangan.

Batrai 18650 merupakan baterai isi ulang yang banyak digunakan sebagai sumber daya pada perangkat elektronik. Menurut (R. Saputra & Yulianti, n.d.), baterai 18650 memiliki tegangan 3,7 volt dan kapasitas hingga 3600 mAh sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama. Pada penelitian ini, baterai 18650 digunakan sebagai sumber daya untuk menyalakan ESP32-CAM, sensor warna TCS3200, dan komponen pendukung agar alat dapat bekerja tanpa menggunakan sumber listrik langsung. Step Down 5V digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber daya agar sesuai dengan kebutuhan komponen yang digunakan. Penggunaan modul ini membantu menjaga kestabilan tegangan sehingga perangkat dapat bekerja dengan baik. Kuswanto et al., (2025) menggunakan modul step down 5V untuk menyesuaikan tegangan yang dialirkan ke ESP32-CAM pada sistem berbasis IoT. Pada penelitian ini, modul step down digunakan untuk mengatur tegangan yang masuk ke ESP32-CAM dan sensor warna TCS3200 agar sistem dapat beroperasi dengan stabil.

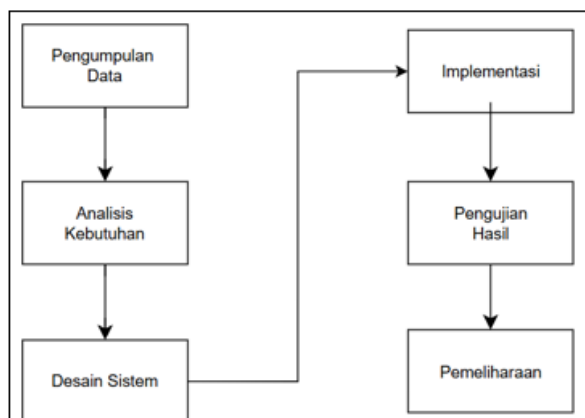
Arduino IDE digunakan untuk membuat, mengedit, dan mengunggah program ke mikrokontroler seperti ESP32-CAM. Perangkat lunak ini banyak digunakan karena mudah digunakan dan mendukung berbagai kebutuhan pengembangan sistem IoT. (Revormasi Ziliwu et al., n.d.) menunjukkan bahwa Arduino IDE dapat digunakan untuk pemrograman ESP32-CAM sebagai pengendali utama sistem, pada penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk membuat program yang mengatur pembacaan data dari sensor warna TCS3200, proses klasifikasi kematangan buah, serta pengiriman data ke Firebase sehingga hasil pemantauan dapat ditampilkan secara real-time pada website. *Fuzzy Logic* merupakan metode yang digunakan untuk mengolah data yang tidak memiliki batas nilai yang pasti. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal nilai benar dan salah, logika fuzzy memungkinkan suatu nilai berada di antara kedua sehingga lebih mendekati cara manusia dalam mengambil keputusan. (Fachrul Rahmadany et al., 2023). menunjukkan bahwa logika fuzzy dapat digunakan untuk menentukan tingkat kematangan buah pepaya berdasarkan nilai warna yang dibaca sensor TCS3200 dengan tingkat akurasi sebesar 93,33%. Proses logika fuzzy terdiri dari tiga tahap, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Pada penelitian ini, logika fuzzy digunakan untuk mengolah nilai RGB yang diperoleh dari sensor TCS3200 sehingga tingkat kematangan buah pisang cavendish dapat ditemukan berdasarkan perubahan warna yang terjadi selama proses pematangan.

Bagian ini memuat kajian ilmiah dari penelitian terdahulu dan dasar teori yang mendukung penelitian. Kajian tersebut digunakan sebagai acuan dalam perancangan dan pengembangan sistem pemantauan kematangan buah pisang cavendish berbasis *Internet of Things* (IoT). (Putro & Rasyid, 2024) meneliti deteksi kematangan buah kelapa sawit menggunakan sensor TCS3200 dan ESP32-CAM. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan nilai RGB dapat digunakan untuk membedakan buah matang dan belum matang dengan tingkat keberhasilan mencapai 86,6%-100%. Muktianto & Indriyani (2022) melakukan identifikasi tingkat kematangan pisang cavendish menggunakan metode Watershed. Hasil penelitian menunjukkan bahwa warna buah dapat digunakan sebagai parameter kematangan dengan akurasi sebesar 65%. P. Saputra et al., (2021) mengembangkan sistem klasifikasi kematangan pisang berdasarkan warna kulit dan berat buah menggunakan sensor TCS3200 dan akurasi sebesar 65%. Hastungkoro et al., (2024) melakukan klasifikasi kualitas dan kematangan pisang cavendish menggunakan metode *Convolution Neural Network* (CNN). Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi terbaik mencapai 95%. Rahmat Ramadhan & Anggara (2025) mengembangkan sistem pendeteksi kematangan pisang berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode YOLOv5. Sistem mampu mendeteksi seluruh sampel yang diuji dengan tingkat akurasi 100%. Widodo et al., (2023) melakukan penelitian mengenai pendeteksian tingkat kematangan buah pisang cavendish menggunakan citra termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan suhu pada setiap tingkat kematangan buah. Perbedaan suhu tersebut dapat digunakan sebagai salah satu indikator dalam menentukan tingkat kematangan pisang cavendish.

3. METODE PENELITIAN

Metode *Waterfall*

Metode *Waterfall* merupakan salah satu model pengembangan sistem yang informasi yang paling klasik dan sistematis. Model ini diperkenalkan sebagai pendekatan linear yang menekankan penyelesaian setiap tahap secara berurutan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Tahapan dalam model *Waterfall* meliputi Analisis Kebutuhan, Desain Sistem, Implementasi, Pengujian Penerapan dan pemeliharaan (Murugaiyan, 2012). dapat dilihat pada gambar 1 tampilan gambar metode *Waterfall*.



Gambar 1. Metode Waterfall.

Alat dan Bahan

Alat

Tabel 1. Alat.

No	Nama Alat	Fungsi
1.	Solder	Berfungsi sebagai menyambung atau melekatkan komponen elektronik pada papan rangkaian (PCB) menggunakan timah.
2.	Gunting	Berfungsi memotong kabel, plastik, atau bahan lain yang digunakan dalam proses perakitan.
3.	Obeng	Berfungsi mengencangkan atau mengendurkan sekrup pada rangkaian atau casing perangkat elektronik.

Bahan

Tabel 2. Bahan.

No	Nama	Fungsi
1.	ESP32-CAM	Berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan seluruh sistem, mengambil gambar, mengolah data dari sensor warna TCS3200, serta mengirimkan hasil pemantauan ke platform monitoring secara <i>real-time</i> melalui koneksi Wi-Fi.
2.	Sensor Warna TCS3200	Berfungsi mendeteksi warna permukaan buah dan daun berdasarkan intensitas cahaya merah, hijau, dan biru (RGB) untuk menentukan tingkat kematangan dan kualitas daun.
3.	Step Down	Berfungsi menurunkan dan menstabilkan tegangan dari baterai 18650 agar sesuai dengan kebutuhan ESP32-CAM dan sensor, sehingga perangkat tidak mengalami overvoltage.
4.	Baterai 18650	Berfungsi sebagai sumber daya utama untuk mengoperasikan sistem secara mandiri tanpa harus terhubung ke PCB.
5.	Kabel Jumper	Berfungsi menghubungkan pin antar komponen seperti ESP32-CAM, sensor TCS3200, dan modul lainnya pada breadboard atau PCB.

6.	Breadboard	Berfungsi sebagai media sementara untuk merangkai dan menguji koneksi antar komponen elektronik tanpa perlu menyolder.
7.	Printed Circuit Board	Berfungsi sebagai papan rangkaian permanen tempat semua komponen dipasang dan disolder setelah pengujian di breadboard selesai.
8.	Timah	Berfungsi sebagai bahan pengantar listrik untuk menyambung kaki komponen dengan jalur pada PCB melalui proses penyolderan.
9.	Box Proyek	Berfungsi melindungi seluruh rangkaian alat dari debu, air, dan benturan, serta membuat alat tampak lebih rapi dan aman saat digunakan dilapangan

Berdasarkan Tabel 2 di atas adalah, perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari ESP32-CAM, sensor warna TCS3200, modul step down, baterai 18650, kabel jumper, breadboard, PCB, Timah, dan box proyek, ESP32-CAM digunakan sebagai pusat kendali sistem sekaligus mengambil gambar buah dan mengirimkan data melalui jaringan WiFi. Sensor warna TCS3200 digunakan untuk membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang cavendish. Modul step down digunakan untuk menyesuaikan tegangan dari baterai 18650 sebelum dialirkan ke komponen lain, sedangkan baterai 18650 digunakan sebagai sumber daya alat. Kabel jumper dan breadboard digunakan saat proses perakitan dan pengujian rangkaian, sementara PCB dan timah digunakan untuk melindungi rangkaian agar lebih aman saat digunakan di lapangan. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan solder, gunting, dan obeng sebagai alat bantu dalam proses perakitan perangkat.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengamati perubahan warna buah dan daun pisang cavendish menggunakan sensor TCS3200 dan ESP32-CAM. Data hasil pengamatan digunakan sebagian besar penentuan parameter warna pada logika fuzzy dan perancangan sistem pemantauan.

Analisis Kebutuhan

Tahap ini dilakukan untuk menentukan sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, yang digunakan dalam pemantauan kematangan buah dan pisang cavendish. Hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem dan penerapan logika fuzzy untuk menentukan tingkat kematangan buah.

Kebutuhan Fungsional

Sistem bekerja dengan membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang menggunakan sensor warna TCS3200, kemudian mengambil gambar buah menggunakan ESP32-CAM. Data RGB yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan metode logika fuzzy untuk menentukan tingkat kematangan buah. Hasil pembacaan sensor dan klasifikasi kemudian dikirim ke

Firebase. Data tersebut ditampilkan pada website secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau informasi mengenai tingkat kematangan buah dan kondisi daun dengan mudah.

Kebutuhan Perangkat Keras

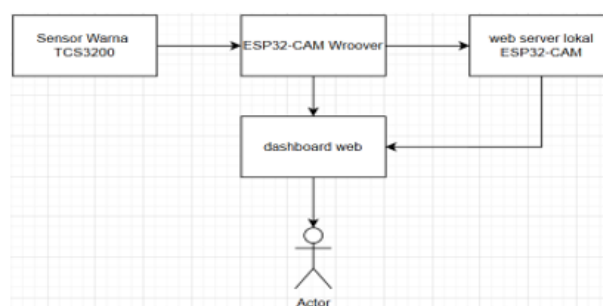
Perangkat yang digunakan dalam sistem ini meliputi ESP32-CAM sebagai mikrokontroler utama untuk mengolah data dan mengirim hasil ke Firebase, sensor warna TCS3200 untuk membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang, *step down* 5V untuk menyesuaikan tegangan sesuai kebutuhan komponen, baterai 18650 sebagai sumber daya utama sistem, *breadboard* dan kabel jumper untuk merangkai serta menghubungkan komponen, serta *box* proyek untuk melindungi rangkaian dari gangguan lingkungan.

Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Arduino IDE untuk membuat dan mengunggah program ke ESP32-CAM, Firebase untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor serta menampilkan data secara *real-time*, Draw.io untuk membuat diagram blok, *flowchart*, dan rancangan sistem, serta Tinkercad untuk membuat desain alat sebelum proses perakitan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

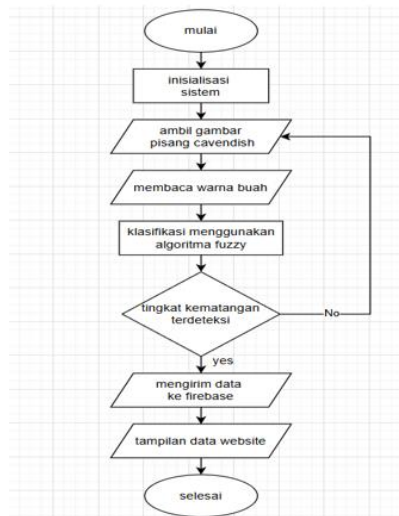
Blok Diagram



Gambar 2. Blok Diagram.

Sistem pemantauan kematangan buah pisang cavendish dimulai dari sensor warna TCS3200 yang membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim ke ESP32-CAM Wrover untuk diproses dan dikelola sebagai pusat kendali sistem. ESP32-CAM juga menjalankan web server lokal yang berfungsi mengirimkan data hasil pemantauan ke dashboard web. Data yang ditampilkan pada dashboard web dapat diakses oleh pengguna secara *real-time* sehingga kondisi buah dan daun dapat dipantau tanpa harus melakukan pengamatan langsung di lokasi. Dengan adanya sistem ini, proses pemantauan kematangan buah pisang cavendish menjadi lebih mudah, cepat, dan efisien.

FlowChart



Gambar 3. FlowChart.

Berdasarkan flowchart pada gambar 3, proses dimulai dengan inisialisasi sistem untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja dengan baik. Setelah itu, ESP32-CAM mengambil gambar objek pisang cavendish dan sensor TCS3200 membaca warna buah untuk memperoleh nilai RGB. Data warna yang diperoleh kemudian diproses menggunakan metode logika fuzzy untuk menentukan tingkat kematangan buah. Jika tingkat kematangan buah belum dapat ditentukan, sistem akan kembali melakukan pengambilan gambar dan pembacaan warna. Apabila tingkat kematangan berhasil terdeteksi, data hasil klasifikasi akan dikirim ke Firebase dan selanjutnya ditampilkan pada website monitoring sehingga pengguna dapat melihat kondisi kematangan buah secara real-time. Setelah data berhasil ditampilkan, proses dinyatakan selesai.

Desain Sistem Alat



Gambar 4. Desain Sistem Alat.

Alat pemantauan kematangan buah pisang Cavendish dirancang dalam bentuk kotak proyek yang dipasang pada batang pohon pisang sebagai tempat penyimpanan komponen utama sistem. Bagian dalam kotak proyek berisi ESP32-CAM, sensor warna TCS3200, baterai 18650, dan modul *step down* yang digunakan untuk proses pembacaan, pengolahan, serta

pengiriman data. Sensor warna TCS3200 dan kamera ESP32-CAM diposisikan menghadap langsung ke buah pisang agar proses pembacaan warna dan pengambilan gambar dapat dilakukan secara optimal. Kotak proyek dipasang pada tiang penyangga yang terhubung dengan batang pohon sehingga posisi alat tetap stabil selama proses pemantauan berlangsung. Data hasil pembacaan sensor dan gambar yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32-CAM dan ditampilkan pada website monitoring secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau tingkat kematangan buah dengan mudah.

Alat Deteksi Kematangan Buah

Berdasarkan gambar 5, sistem pemantauan kematangan buah pisang cavendish berbasis *Internet of Things* (IoT) dibangun menggunakan sensor warna TCS3200, ESP32-CAM, baterai 18650, dan modul step down yang ditempatkan didalam box proyek. Sensor TCS3200 digunakan untuk membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang, sedangkan ESP32-CAM berfungsi sebagai pengendali utama yang mengolah data serta mengambil gambar objek yang diamati. Data warna yang di peroleh kemudian diproses menggunakan logika fuzzy untuk menentukan tingkat kematangan buah, kemudian hasilnya dikirim ke website monitoring secara real-time sehingga dapat diakses oleh pengguna dari jarak jauh. Seluruh komponen dirancang dalam satu wadah yang tertutup untuk melindungi perangkat dari gangguan lingkungan serta memudahkan pemasangan alat di area perkebunan. Dengan rancangan ini, proses pemantauan kematangan buah dapat dilakukan secara lebih mudah dan praktis tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung.

Pengumpulan Data



Gambar 5. Deteksi Kematangan Buah.

Tabel 3. Observasi nilai RGB warna.

No	Kondisi Buah	Nilai R	Nilai G	Nilai B	Keterangan
1	Mentah	45-60	90-110	20-35	Hijau pekat
2	Setengah Matang	20-35	60-80	18-30	Hijau kekuningan
3	Matang	10-22	30-45	12-20	Kuning Kecoklatan

Berdasarkan Tabel 3, pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui perubahan warna kulit buah pisang cavendish pada setiap tingkat kematangan. Data diperoleh menggunakan

sensor warna TCS3200 yang membaca nilai RGB pada permukaan kulit buah. Pengambilan data dilakukan pada kondisi buah mentah, setengah matang, dan matang. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa buah mentah memiliki nilai G (Green) yang lebih tinggi karena warna kulit masih didominasi warna hijau. Seiring proses pematangan, nilai G mengalami penurunan dan warna kulit berubah menjadi hijau kekuningan hingga kuning kecoklatan. Perbedaan nilai RGB pada setiap kondisi buah kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan tingkat kematangan buah.

Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan menggunakan sensor warna TCS3200 untuk membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang cavendish. Pengujian dilakukan pada kondisi buah mentah, setengah matang, dan matang untuk melihat perubahan nilai warna yang terbaca oleh sensor.

Pengujian Sensor Warna TCS3200

Tabel 4. Pengujian Sensor.

Gambar Pisang	Nilai R	Nilai G	Nilai B	Klasifikasi Buah	Kondisi Daun
	204	224	207	Sedang	Hijau
	62	78	101	Matang	Hijau kekuningan

Berdasarkan Tabel 4, sensor TCS3200 dapat membaca nilai RGB pada buah pisang cavendish dengan baik. Setiap kondisi buah menghasilkan nilai RGB yang berbeda sesuai dengan perubahan warna kulit buah selama proses pematangan. Perbedaan nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan tingkat kematangan buah pada sistem yang dikembangkan.

Pengujian Kamera ESP32-CAM

Tabel 5. Pengujian Kamera.

Kondisi Buah	Hasil Foto	Keterangan
Mentah		Warna kulit masih hijau pekat, sesuai dengan pembacaan sensor.
Setengah Matang		Warna kulit mulai menguning sebagian, hasil sesuai data RGB.
Matang		Warna kulit kuning dominan, sesuai perubahan nilai R yang meningkat.

Pengujian kamera dilakukan untuk memastikan ESP32-CAM dapat menampilkan video secara real-time dan mengirim alamat IP ke Firebase. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan ESP32-CAM ke jaringan WiFi, kemudian mengakses alamat stream melalui browser dan website monitoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa video dapat ditampilkan dengan baik pada website dan alamat IP berhasil dikirim ke Firebase. Gambar yang dihasilkan juga cukup jelas untuk melihat kondisi buah pisang pada jarak 10-15 cm. Dengan demikian, kamera ESP32-CAM dapat digunakan sebagai pendukung pemantauan kondisi buah secara real-time.

Pengujian Kerja Sistem

pengujian sistem dilakukan untuk melihat kinerja alat secara keseluruhan. Pengujian meliputi pembacaan warna oleh sensor TCS3200, pengambilan gambar oleh ESP32-CAM, pengiriman data ke Firebase, dan penampilan data pada website monitoring. Hal ini dilakukan untuk memastikan seluruh bagian sistem dapat bekerja dengan baik.

Hasil Pengujian Pembacaan RGB oleh Sensor warna TCS3200



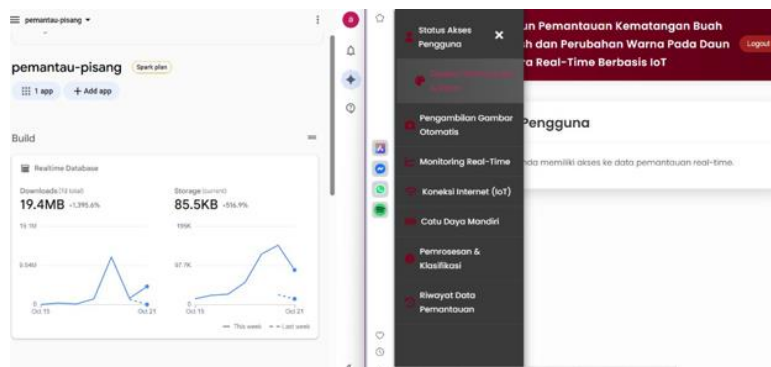
Gambar 6. Pengujian Warna TCS3200.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TCS3200 dapat membaca perubahan warna pada buah dan daun pisang cavendish dengan baik. Data RGB yang diperoleh berhasil dikirim dan ditampilkan pada website secara real-time. Pengujian langsung pada objek juga menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor sesuai dengan perubahan warna yang terjadi pada buah dan daun.

Pengujian Koneksi Firebase dan Website

Tabel 6. Koneksi Firebasi dan Website.

Percobaan ke-	Waktu (Firebase)	Pengiriman Waktu Data Muncul di Website	Selisih (detik)	Keterangan
1	10:02:14	10:02:15	1	Data tampil langsung tanpa jeda berarti
2	10:04:48	10:04:50	2	Tampilan website diperbarui otomatis
3	10:07:22	10:07:23	1	Respon cepat dan stabil
4	10:09:55	10:09:57	2	Tidak terjadi <i>delay</i> signifikan



Gambar 7. Hasil Pengujian Koneksi Firebase dan Website Monitoring.

Pengujian koneksi dilakukan untuk memastikan data dari ESP32-CAM dapat dikirim ke Firebase dan ditampilkan pada website monitoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data berhasil ditampilkan dengan waktu respon sekitar 1-2 detik. Selama pengujian, proses

pengiriman dan penerimaan data berjalan dengan baik sehingga informasi dapat ditampilkan secara real-time pada website.

Analisis Hasil Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem pemantauan kematangan buah pisang cavendish dapat bekerja dengan baik. Sensor warna TCS3200 mampu membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang, sedangkan ESP32-CAM dapat mengambil gambar serta mengirimkan data ke Firebase dan website monitoring. Data yang dikirim juga dapat ditampilkan pada website secara real-time.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan sistem pemantauan kematangan buah pisang cavendish berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor warna TCS3200 dan ESP32-CAM. Sistem yang dikembangkan mampu membaca nilai RGB pada buah dan daun pisang, kemudian menentukan tingkat kematangan buah menggunakan logika fuzzy serta menampilkan hasil pemantauan pada website secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data dapat dikirim dan ditampilkan pada website dengan waktu respon sekitar 1-2 detik, sehingga tujuan penelitian untuk membangun sistem pemantauan kematangan buah secara jarak jauh telah tercapai. Meskipun demikian, hasil pembacaan warna masih dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan disekitar objek dan kestabilan jaringan internet yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat menambahkan sumber pencahayaan yang lebih stabil serta mengembangkan metode klasifikasi yang lebih baik untuk meningkatkan akurasi sistem. Selain itu, pengembangan pada aspek konektivitas dan sumber daya juga perlu dilakukan agar sistem dapat digunakan secara lebih optimal pada lingkungan perkebunan.

DAFTAR REFERENSI

- Aliansa, W., Ifayatin, H. N., & Saputra, R. A. (2023). Segmentasi kematangan pisang raja berbasis fitur warna HSV menggunakan metode KNN. *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, 7(2).
- Fachrul Rahmadany, Zen, N. A., & Kurnianto, D. (2023). Prototype detection system of papaya maturity using fuzzy logic method based on color sensor. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 7(1), 57–70. <https://doi.org/10.31289/jite.v7i1.8712>
- Hastungkoro, A. W., Putro Wicaksono, A. D., & Diah Rosita, Y. (2024). Klasifikasi kualitas dan kematangan pisang Cavendish menggunakan convolutional neural network. *Jurnal SAINTEKOM*, 14(2), 185–194. <https://doi.org/10.33020/saintekom.v14i2.686>
- Kuswanto, J., Dimas Pratama, R., & Syafrizal, M. (2025). Rancangan teknologi IoT berbasis ESP32 dalam mengoptimalkan sistem irigasi cerdas di perkebunan salak Pondoh IoT

- technology design using ESP32 to optimize smart irrigation systems in Salak Pondoh plantations. *Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, 14(1). <https://doi.org/10.30591/smartcomp.v13i1.8270>
- Muktianto, A., & Indriyani, V. (2022). Segmentasi tingkat kematangan buah pisang Cavendish sangat matang berdasarkan warna menggunakan watershed. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 9(1), 148. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v9i1.3828>
- Murugaiyan, D. (2012). International Journal of Information Technology and Business Management WATEERFALL Vs V-MODEL Vs AGILE: A comparative study on SDLC. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 2(1). www.jitbm.com
- Novitasari, Y., Sholihah, Q., & Khusaini, M. (2025). Pemberdayaan petani sebagai kunci keberhasilan model ketahanan wilayah berbasis budidaya pisang Cavendish. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 31(1), 43. <https://doi.org/10.22146/jkn.102600>
- Putri Lukman, M., Bakhtiar, A. S., Pongsamma, M. S., Hidayat, R., & Musamma, N. S. (n.d.). Sistem penyortir otomatis kematangan tomat berdasarkan warna dengan sensor TCS3200 berbasis internet of things. *Journal of Power Energy System*, 01(01). Retrieved from <https://doi.org/xxx>
- Putro, A. C. M., & Rasyid, R. (2024). Rancang bangun detektor kematangan buah kelapa sawit menggunakan sensor TCS3200 dan modul WiFi ESP32-CAM dengan notifikasi via Telegram. *Jurnal Fisika Unand*, 13(1), 68–74. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.1.68-74.2024>
- Rahmat Ramadhan, F., & Anggara, J. (2025). Sistem pendeteksi kematangan pisang menggunakan YOLOv5 berbasis internet of things (IoT) banana ripeness detection system using YOLOv5 based on internet of things (IoT). *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 8(2). <https://doi.org/10.31539/intecom.v8i2.13637>
- Revormasi Ziliwu, J., Setyawan, C., & Budiati, H. (n.d.). Penerapan ESP32-CAM dan TinyML dalam klasifikasi gambar buah dan sayuran. Retrieved from www.kaggle.com
- Saputra, P., Syauqy, D., & Fitriyah, H. (2021). Rancang bangun sistem klasifikasi tingkat kematangan pisang berdasarkan warna kulit dan berat menggunakan metode K-Nearest Neighbor berbasis Arduino, 5(10). <http://j-ptiik.ub.ac.id> <https://doi.org/10.35585/inspir.v10i1.2559>
- Saputra, R., & Yulianti, B. (n.d.). Alat pendeteksi originalitas baterai tipe 18650 berbasis Arduino Nano.
- Wahyudi, W., Pradana, A. I., & Permatasari, H. (2025). Implementasi sistem irigasi otomatis berbasis IoT untuk pertanian greenhouse. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 5(2). <https://doi.org/10.52436/1.jpti.656>
- Widodo, S. E., Waluyo, S., Karyanto, A., Zulferiyeni, Z., Febrianingrum, N., Latansya, R., & Putri, M. D. (2023). Aplikasi thermal image pendeteksi tingkat kematangan buah pisang dan apokat. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(2), 165. <https://doi.org/10.23960/jat.v11i2.6168>