

RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI PENYAKIT DAUN TANAMAN CABAI MERAH (*CAPSICUM ANNUM*) MENGGUNAKAN METODE HISTOGRAM EQUALIZATION

Adrianysah Maulana^{1*}, Prihastuti Harsani², Mohamad Iqbal Suriansyah³

^{1,2,3}Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Pakuan; Jalan Pakuan Po. Box 452 Bogor 16143; Telepon (0251) 8363 419, Fax (0251) 8356 927.

Received: 17 Februari 2025

Accepted: 23 Maret 2025

Published: 14 April 2025

Keywords:

Cabai Merah; Deteksi Penyakit Daun; Histogram Equalization

Correspondent Email:

adrimaulana93@gmail.com

Abstrak. Cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura yang vital dalam sektor pertanian di Indonesia, dengan permintaan tinggi dari masyarakat. Namun, cabai rentan terhadap berbagai penyakit, sehingga deteksi dini sangat penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat rancang bangun alat pendeteksi penyakit daun tanaman cabai merah (*capsicum annum*) menggunakan metode histogram equalization. Dengan metode ini, peneliti dapat menghasilkan histogram yang memperlihatkan perbedaan antara daun sehat dan yang terinfeksi, sehingga memudahkan petani dalam identifikasi penyakit. Tahapan pada penelitian ini terdiri dari sembilan tahapan yang meliputi: perencanaan penelitian dan studi referensi, desain elektrik, pengadaan dan pengujian komponen, implementasi elektrik, desain dan implementasi software, uji software, desain dan implementasi software, desain dan implementasi mekanik, integrasi dan uji keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi prediksi sebesar 95% dalam mengidentifikasi penyakit daun cabai, mengungguli aplikasi Plantix yang sering gagal mendeteksi penyakit pada data uji, terutama dalam kondisi pencahayaan kurang atau citra hitam putih. Plantix bahkan mengidentifikasi layu fusarium sebagai tanaman hias. Metode histogram equalization digunakan untuk meningkatkan kualitas citra, menghasilkan deteksi yang lebih akurat dan andal dibandingkan Plantix.

Abstract. Chili is one of the vital horticultural commodities in the agricultural sector in Indonesia, with high demand from the community. However, chili peppers are susceptible to a variety of diseases, so early detection is essential to prevent further damage. The purpose of this study is to design a tool to detect leaf disease of red chili plants (*capsicum annum*) using the histogram equalization method. With this method, researchers can produce a histogram that shows the difference between healthy and infected leaves, making it easier for farmers to identify the disease. The stages of this study consist of nine stages which include: research planning and reference studies, electrical design, component procurement and testing, electrical implementation, software design and implementation, software testing, software design and implementation, mechanical design and implementation, integration and overall testing. The results showed a prediction accuracy rate of 95% in identifying chili leaf diseases, outperforming the Plantix application which often failed to detect the disease in the test data, especially in conditions of poor lighting or black and white imagery. Plantix even identifies fusarium wilt

as an ornamental plant. The histogram equalization method is used to improve image quality, resulting in more accurate and reliable detection than Plantix.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris di mana mayoritas penduduknya menggantungkan hidupnya pada pertanian. Hal ini didukung oleh banyaknya lahan kosong yang dapat dimanfaatkan untuk pertanian, serta kondisi tanah yang subur yang mendukung pertumbuhan tanaman. Salah satu produk hortikultura yang unggul dalam sektor pertanian di Indonesia adalah sayuran. Di antara komoditas sayur, cabai menjadi salah satu yang paling banyak dibutuhkan oleh berbagai lapisan masyarakat, sehingga peredaran di pasaran cukup besar [1]. Produksi cabai merah antara tahun 2015 dan 2019 mengalami peningkatan sebesar 0,63%, seiring dengan proyeksi kebutuhan konsumsi yang naik sebesar 1,17% [2]. Data ini menunjukkan tingginya minat masyarakat Indonesia terhadap cabai merah. Selain itu, tanaman cabai juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Namun, tanaman ini sangat rentan terhadap penyakit, sehingga pengendalian penyakit secara dini sangat penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Sebagian besar gejala penyakit dapat terlihat pada bagian daun, dan mengenali gejala awal diharapkan dapat membantu dalam proses pengendalian penyakit [3].

Beberapa penyakit pada tanaman cabai, seperti yang disebabkan oleh virus kompleks, dapat menyebabkan gejala seperti daun belang (mosaik), menggulung, keriting, klorosis, nekrotik, hingga kerdil. Penyakit ini dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen cabai. Namun, seringkali petani tidak dapat mengenali jenis penyakit yang menyerang tanaman mereka, sehingga pengendalian penyakit terlambat dilakukan. Dalam hal ini, identifikasi dini menjadi kunci untuk mengurangi kerusakan lebih lanjut pada tanaman [4]. Untuk mengatasi penyakit ini, langkah yang tepat perlu diambil, termasuk memberikan pengobatan dan terapi yang sesuai untuk tanaman yang terjangkit. Kurangnya pemahaman dalam menangani penyakit cabai sering kali mengakibatkan kerugian bagi petani [5].

Untuk membantu petani dalam mendeteksi penyakit ini, banyak penelitian terdahulu yang menggunakan teknologi pemrosesan citra untuk mempermudah identifikasi penyakit pada tanaman. Salah satunya adalah penggunaan metode *Histogram Equalization* (HE), yang terbukti efektif dalam meningkatkan kontras citra dan mendeteksi perubahan warna pada daun yang terinfeksi penyakit. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa HE dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas citra tanaman yang terinfeksi, yang membantu memperjelas gejala penyakit [6], [7].

Lebih lanjut, penelitian lainnya menggunakan teknik HE untuk meningkatkan kualitas citra radiografi yang dapat diadaptasi untuk tanaman cabai [8]. Selain itu, beberapa studi juga menguji perbandingan metode HE dengan metode lain: seperti *Power Law* untuk perbaikan kualitas citra CCTV, yang menunjukkan bahwa HE mampu meningkatkan kualitas citra secara signifikan [9]. Penerapan HE juga dilakukan pada peningkatan kontras citra medis, dengan prinsip yang serupa dengan aplikasi HE pada citra tanaman cabai [10].

Berdasarkan permasalahan yang dihadapi petani dan hasil penelitian terdahulu, penulis bertujuan untuk mengembangkan alat pendeteksi penyakit pada daun tanaman cabai merah menggunakan metode *histogram equalization*. Teknik ini efektif dalam mendeteksi perubahan warna pada daun yang terkena penyakit, dengan hasil berupa histogram yang membedakan daun sehat dan daun yang terinfeksi. Dengan pendekatan ini, petani dapat lebih mudah mengenali penyakit yang menyerang tanaman cabai mereka dan mengambil langkah-langkah pengendalian yang tepat. Penelitian ini juga dilengkapi aplikasi android yang dapat diakses oleh pengguna guna untuk memudahkan pemantauan dan penanganan penyakit pada tanaman cabai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Cabai Merah

Cabai merah (*Capsicum annum* L.) adalah komoditas hortikultura dengan beragam

manfaat, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga bahan baku obat tradisional, makanan, minuman, dan industri. Cabai mengandung nutrisi seperti protein, lemak, karbohidrat, kalsium, serta vitamin A, B1, dan C [11]. Potensi ekspor cabai sangat tinggi, dengan India sebagai produsen, konsumen, dan eksportir utama. Namun, rata-rata produktivitas cabai dunia masih rendah, hanya 1,11 ton/ha cabai kering, dibandingkan dengan negara-negara seperti Amerika Serikat, Cina, dan Korea Selatan yang mencapai 3–4 ton/ha [12].

2.2. Penyakit Daun pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum Annum*)

Penyakit virus pada cabai, terutama yang menyerang daun, merupakan faktor utama penurunan produksi cabai merah. Adapun penyakit daun pada tanaman cabai meliputi: bercak daun dan layu fusarium [13]. Penyakit bercak daun disebabkan oleh jamur *Cercospora*, yang menyebar melalui angin, air hujan, vektor, atau alat pertanian. Gejalanya berupa bercak bundar abu-abu dengan pinggiran coklat pada daun, yang dapat menyebabkan daun menguning dan rontok, terutama pada musim hujan dengan kelembapan tinggi [14]. Sementara itu, penyakit layu fusarium ditandai dengan daun tua menguning, pucatnya tulang daun, daun terkulai, dan layu total. Jika serangan mencapai batang, buah kecil akan gugur [15]. Gambar 1a dan 1b menunjukkan penyakit bercak daun dan layu fusarium pada tanaman cabai merah.



Gambar 1. Jenis-jenis penyakit daun tanaman cabai merah: a) Penyakit bercak daun; b) penyakit layu fusarium

2.3. Histogram Equalization (Ekualisasi Histogram)

Histogram merupakan grafik yang menggambarkan penyebaran nilai intensitas

pixel yang berfungsi untuk mengetahui bahwa citra itu dikatakan gelap atau terang. Ekualisasi histogram ialah mengubah nilai-nilai ketajaman citra sehingga penyebarannya *uniform*. Perataan histogram itu sendiri diperoleh dengan langkah mengubah derajat keabuan piksel (r) dengan derajat keabuan yang baru (s) dengan suatu fungsi transformasi T , yang dalam hal ini $s = T(r)$. Ini berarti r dapat diperoleh kembali dari s dengan transformasi invers $r = T^{-1}(s)$ dimana, $0 \leq s \leq 1$. Untuk $0 \leq r \leq 1$. Untuk $0 \leq T(r) \leq 1$. Untuk menjamin pemetaan konsisten pada rentang nilai yang diizinkan. Tujuan dari perataan histogram itu sendiri adalah untuk mendapatkan penyebaran histogram yang menyeluruh, sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang hampir sama. Pada persamaan (1) ditunjukkan persamaan untuk normalisasi data piksel untuk mengetahui kemunculan piksel pada gambar. Setelah normalisasi data pada piksel gambar selesai dilakukan maka tahapan berikutnya adalah tahapan perhitungan *histogram equalization* yang ditunjukkan pada persamaan (2) [16].

$$p_i = \frac{n_i}{M \times N} \quad (1)$$

Dimana p_i merupakan peluang kemunculan warna i ; n_i frekuensi kemunculan warna i ; M merupakan jumlah baris pada citra digital; dan N merupakan jumlah kolom pada citra digital.

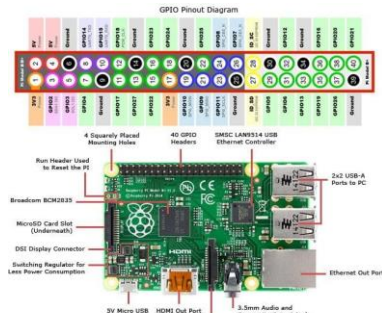
$$S_k = (L - 1) \sum_{i=0}^k p_i \quad (2)$$

Dimana S_k merupakan warna baru dari k ; L jumlah variasi warna pada citra; dan k merupakan warna piksel ke i .

2.4. Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah komputer papan tunggal (*single-board computer*) seukuran kartu kredit yang dapat menjalankan program perkantoran, permainan, dan media hingga video beresolusi tinggi. Dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation, perangkat ini awalnya dirancang untuk belajar pemrograman. *Raspberry Pi* memiliki dua model utama, yaitu model A dengan memori 256 MB dan tanpa *port Ethernet*, serta model B dengan memori 512 MB dan dilengkapi *port Ethernet* [17]. Penelitian ini menggunakan *Raspberry Pi 3 Model B+* yang memiliki fitur *WiFi*, *Bluetooth*, dan *USB boot on-board*.

Popularitas *Raspberry Pi* meluas ke dunia pendidikan, industri, dan penggemar karena fleksibilitasnya, memungkinkan eksperimen kreatif tanpa risiko besar dibandingkan kerusakan pada PC keluarga [18], [19]. Gambar 2 menunjukkan *Raspberry Pi 3 Model B+*.



Gambar 2. *Raspberry Pi Model 3b+*

2.5. Raspicam

Modul kamera *Raspberry Pi* sering digunakan dalam proyek perangkat keras open source sebagai sensor kamera berbiaya rendah. Raspicam memiliki resolusi 5 megapiksel dan mendukung video 720p, 1080p, serta VGA90, dengan sudut pengambilan video yang disarankan $\pm 90^\circ$ terhadap objek. Dalam penelitian ini, modul kamera yang digunakan adalah raspicam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Modul ini terhubung ke konektor CSI *Raspberry Pi* menggunakan kabel pita 15 pin, yang dirancang khusus untuk antarmuka kamera berkecepatan tinggi [18], [20], [21].



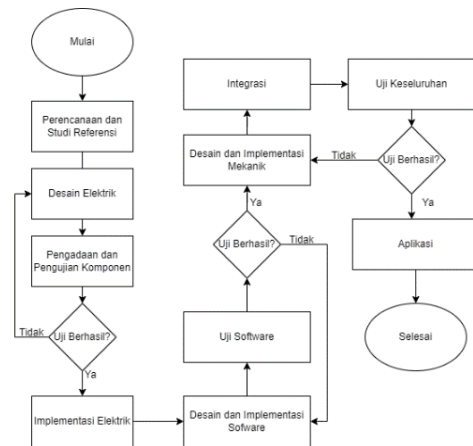
Gambar 3. *Raspicam*

2.6. Android

Android adalah sistem operasi berbasis Linux untuk perangkat mobile yang mencakup sistem operasi, *middleware*, dan aplikasi. Android menyediakan platform terbuka bagi pengembang untuk menciptakan aplikasi. Awalnya dikembangkan oleh Android Inc., yang kemudian diakuisisi oleh Google. Sistem operasi Android dilisensikan di bawah GNU GPLv2, sementara distribusinya menggunakan lisensi *Apache Software*, memungkinkan redistribusi bebas [22].

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian bidang yang meliputi perencanaan penelitian dan studi referensi; desain elektrik; pengadaan dan pengujian komponen; implementasi elektrik; desain dan implementasi *software*; uji *software*; desain dan implementasi mekanik; integrasi; uji keseluruhan dan aplikasi [23], [24], [25], [26]. Adapun diagram alir (*flowchart*) metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Flowchart (Diagram Alir) Metode Penelitian Bidang Hardware Programming*

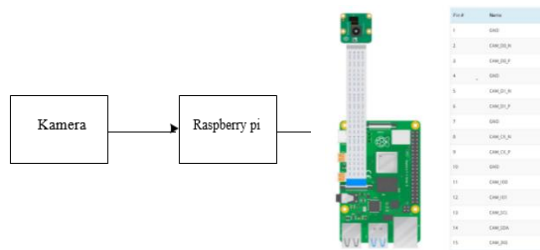
3.1. Perencanaan Penelitian & Studi Referensi

Perencanaan penelitian mencakup pemilihan topik, estimasi kebutuhan alat dan bahan, perhitungan anggaran, serta potensi keberhasilan proyek. Pada tahap ini, dilakukan perencanaan pengadaan komponen seperti modul mikrokontroler *Raspberry Pi 3B+*, Raspicam, adaptor 12 volt, dan baterai. Setelah itu, penelitian dilanjutkan dengan pencarian referensi, perancangan awal rangkaian sistem, serta pengumpulan literatur dan penelitian sebelumnya.

3.2. Desain Elektrik

Tahapan berikutnya adalah pembuatan desain elektrik. Pada tahap ini, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, antara lain: sumber daya dan distribusi daya untuk setiap komponen; kebutuhan tegangan dan arus untuk mikrokontroler, sensor, dan aktuator; serta

desain skema rangkaian. Pada Gambar 5 bagian kiri ditunjukkan diagram blok sistem yang merupakan bagian-bagian blok komponen yang bekerja sebagai input, proses dan output dari desain elektrik yang dibuat. Selain itu juga, pada Gambar 5 bagian kanan ditunjukkan desain elektrik. Pada diagram blok dibagian input gambar dari raspi camera yang akan diproses mikrokontroller raspberry pi yang menjadi penghubung ke dalam jaringan wifi agar mempermudah dalam mengirimkan gambar ke *database* menggunakan internet. Dibagian output terdapat aplikasi yang berguna untuk menampilkan hasil identifikasi penyakit pada daun cabai.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem (sebelah kiri);
Desain Elektrik (sebelah kanan)

3.3. Pengadaan dan Pengujian Komponen

Pengadaan komponen adalah tahap persiapan untuk mengumpulkan semua komponen yang akan digunakan, sehingga proses perakitan tidak terhambat oleh kekurangan komponen. Setelah pengadaan komponen selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian komponen. Pada tahap pengujian ini, dilakukan pemeriksaan fungsi kerja setiap komponen sesuai dengan kebutuhan sistem yang akan dibangun, agar alat dapat beroperasi dengan baik.

3.4. Implementasi Elektrik

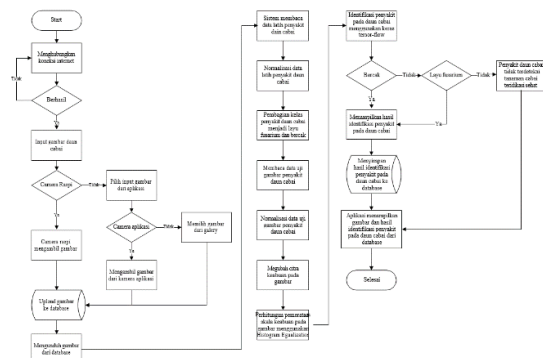
Pada tahap ini, dilakukan proses implementasi desain elektrik yang telah dirancang sebelumnya. Hasil dari implementasi elektrik ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Implementasi Desain Elektrik

3.5. Desain dan Implementasi Software

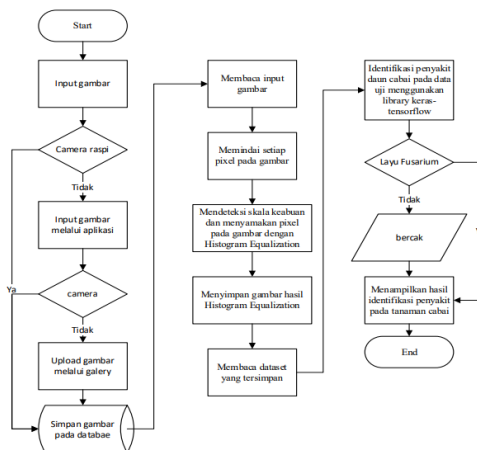
Desain *software* merupakan tahap dalam penelitian yang bertujuan untuk merancang perangkat lunak yang akan digunakan sebagai kontrol pada alat yang sedang dikembangkan. Dalam penelitian ini, desain perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan Visual Studio Code, Processing IDE, Git, Visio, dan browser Chrome. Pada Gambar 7. ditunjukkan *flowchart* sistem pada penelitian ini.



Gambar 7. *Flowchart* Sistem

Berdasarkan Gambar 7, alur sistem dimulai dengan pengaktifan alat, di mana sistem pertama-tama memeriksa koneksi internet. Setelah terhubung, sistem akan menginisialisasi seluruh komponen agar saling terhubung. Proses selanjutnya melibatkan *Raspberry Pi* yang menerima input gambar dari kamera *Raspberry Pi* atau melalui aplikasi. Gambar yang diterima kemudian disimpan dalam *database*. Sistem kemudian melakukan identifikasi penyakit pada daun cabai yang tersimpan dalam *database* dengan membaca data latih dan melakukan normalisasi pada data tersebut. Kelas penyakit daun cabai dibagi menjadi dua yaitu layu fusarium dan bercak daun. Selanjutnya, sistem menerima input data uji dan melakukan normalisasi pada data tersebut sebelum mengubah citra menjadi keabuan. Proses berlanjut dengan perhitungan menggunakan histogram *equalization* untuk

meratakan citra keabuan. Tahapan berikutnya adalah identifikasi penyakit daun cabai menggunakan Keras TensorFlow untuk menentukan penyakit yang terdapat pada data uji. Hasil identifikasi akan menunjukkan apakah penyakit tersebut adalah layu fusarium atau bercak daun, sesuai dengan data uji yang dimasukkan. Jika tidak terdeteksi, sistem akan menunjukkan bahwa tidak ada penyakit pada daun cabai. Hasil akhir dari proses identifikasi penyakit dapat dilihat melalui aplikasi Android. Berdasarkan Gambar 8. dapat diketahui juga bahwa pada penelitian ini menggunakan metode histogram *equalization* dengan bantuan library keras-tensorflow untuk mengidentifikasi penyakit daun pada tanaman cabai. Pada Gambar 8. ditunjukkan *flowchart* algoritma pada histogram *equalization*.



Gambar 8. Flowchart Algoritma Histogram Equalization

Histogram *Equalization* ialah mengubah nilai-nilai ketajaman citra sehingga penyebarannya uniform. Perataan histogram itu sendiri diperoleh dengan langkah mengubah derajat keabuan piksel (r) dengan derajat keabuan yang baru (s) dengan suatu fungsi transformasi T , yang dalam hal ini $s = T(r)$. Ini berarti r dapat diperoleh kembali dari s dengan transformasi invers $r = T^{-1}(s)$ dimana, $0 \leq s \leq 1$. Untuk $0 \leq r_i \leq 1$. Untuk $0 \leq T(r) \leq 1$. Untuk menjamin pemetaan konsisten pada rentang nilai yang diizinkan. Tujuan dari perataan histogram itu sendiri adalah untuk mendapatkan penyebaran histogram yang menyeluruh, sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang hampir sama [8], [9], [16].

Tahapan berikutnya adalah implementasi *software*. Pada tahap ini, akan diuraikan bagaimana desain perangkat lunak yang telah dibuat sebelumnya diimplementasikan. Pada Gambar 9. ditunjukkan tampilan halaman aplikasi android untuk deteksi penyakit daun pada tanaman cabai.



Gambar 9. Tampilan Halaman Deteksi Penyakit Daun pada Tanaman Cabai

Berdasarkan Gambar 9, penelitian ini menggunakan *library Keras TensorFlow* untuk membantu klasifikasi penyakit pada daun cabai merah. Penggunaan *library Keras TensorFlow* dimulai dari data latih (*training data*) yang digunakan untuk klasifikasi penyakit daun cabai merah. Proses data latih dilakukan untuk memahami data yang tersimpan dalam setiap kelas. Dalam penelitian ini, klasifikasi penyakit daun cabai terbagi menjadi dua kelas, yaitu kelas penyakit bercak daun dan layu fusarium. Setelah proses data latih selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian data (*test data*). Pada tahap ini, gambar daun cabai yang tersimpan dalam *database* akan diunduh dan diklasifikasikan menggunakan *library Keras TensorFlow* berdasarkan data latih yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil klasifikasi ini akan memberikan prediksi mengenai penyakit yang terdapat pada daun cabai dalam gambar yang diuji. Pada Gambar 10. ditunjukkan *script* untuk melakukan *training data*. Sedangkan pada Gambar 11. ditunjukkan *script* untuk proses *test data*.

```

dataset_url = "drive/MyDrive/dataset/ditogram"
data_dir = pathlib.Path(dataset_url).with_suffix('')
image_count = len(list(data_dir.glob('*/.png')))
print(image_count)
bercak = list(data_dir.glob('bercak/*'))
PIL.Image.open(str(bercak[0]))

train_ds = tf.keras.utils.ImageDatasetFromDirectory(
    data_dir,
    validation_split=0.2,
    subset="training",
    seed=123,
    image_size=(img_height, img_width),
    batch_size=batch_size)

val_ds = tf.keras.utils.ImageDatasetFromDirectory(
    data_dir,
    validation_split=0.2,
    subset="validation",
    seed=123,
    image_size=(img_height, img_width),
    batch_size=batch_size)
class_names = train_ds.class_names
print(class_names)

```

Gambar 10. Script Proses Training Data

```

ref = db.reference('link')
# print(ref.get())

url = ref.get()
path = tf.keras.utils.get_file('test_bercak_1', origin=url)

img = tf.keras.utils.load_img(
    path, target_size=(img_height, img_width))
img_array = tf.keras.utils.img_to_array(img)
img_array = tf.expand_dims(img_array, 0) # Create a batch

predictions = model.predict(img_array)
score = tf.nn.softmax(predictions[0])

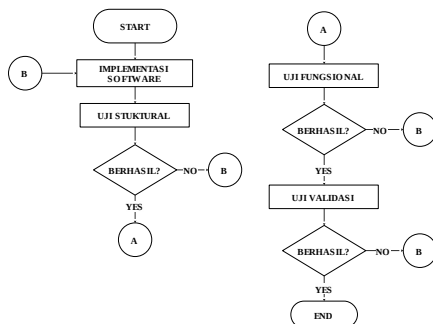
print(
    "This image most likely belongs to {} "
    .format(class_names[np.argmax(score)])
)

```

Gambar 11. Script Proses Test Data

3.6. Uji Software

Pengujian *software* dilakukan untuk memastikan bahwa desain yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan harapan, sehingga perangkat lunak dapat berfungsi dengan baik selama penelitian. Pengujian ini mencakup uji struktural, uji fungsional, dan uji validasi, yang dapat dilihat pada Gambar 12.

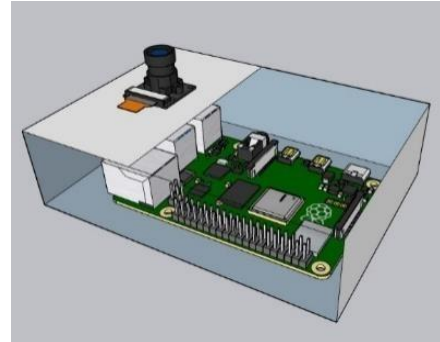


Gambar 12. Flowchart Uji Software

3.7. Desain dan Implementasi Mekanik

Dalam perancangan perangkat keras, desain mekanik memegang peranan penting. Tahap desain sistem mekanis mencakup pertimbangan terkait kebutuhan sistem yang akan dikembangkan, seperti bentuk dan ukuran PCB (*Printed Circuit Board*), ketahanan serta fleksibilitas terhadap lingkungan, penempatan

modul-modul elektronik, dan pengujian terhadap sistem mekanik yang telah dirancang. Setelah desain mekanik selesai, tahap berikutnya adalah implementasi mekanik, di mana desain tersebut direalisasikan. Setelah pengimplementasian mekanik selesai, proses akan dilanjutkan ke tahap integrasi. Pada Gambar 13 ditunjukkan desain mekanik pada penelitian ini.



Gambar 13. Desain Mekanik

3.8. Integrasi

Dalam proses integrasi, dilakukan berdasarkan desain mekanik, desain elektrik, dan desain software, sehingga semuanya dapat menyatu menjadi satu kesatuan alat. Model sistem yang dirakit memiliki dimensi tinggi 15 cm, lebar 8 cm, dan panjang 13 cm. Model perakitan dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Model Perakitan

3.9. Uji Keseluruhan

Pada tahap ini, dilakukan pengujian fungsi dari keseluruhan sistem. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan apakah sistem yang dibuat sesuai dengan rancangannya. Jika ditemukan bagian dari sistem yang tidak berfungsi dengan baik, maka perlu dilakukan proses perakitan ulang pada setiap desain sistem yang ada.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini merupakan rangkuman dari tahapan yang telah dijelaskan sebelumnya, dimulai dari proses perencanaan, perancangan, hingga implementasi keseluruhan alat pendeteksi penyakit pada daun tanaman cabai merah menggunakan metode histogram equalization. Dalam penelitian ini, digunakan kamera *Raspberry Pi* untuk mengambil gambar daun cabai, yang kemudian diproses oleh *Raspberry Pi* dan diunggah ke dalam database. Proses identifikasi dilakukan dengan metode histogram equalization, dibantu oleh *library Keras-TensorFlow* menggunakan bahasa Python untuk mempermudah identifikasi penyakit pada daun cabai.

Data latih yang digunakan untuk identifikasi penyakit terdiri dari 20 gambar untuk masing-masing kelas. Setelah data disimpan dalam dataset, tahapan selanjutnya adalah pelatihan data menggunakan *library Keras-TensorFlow* berdasarkan dataset yang ada. Tahapan terakhir adalah identifikasi penyakit pada tanaman cabai dengan metode histogram equalization dan bantuan *library Keras-TensorFlow* untuk mengetahui penyakit yang ada. Penelitian ini juga mengembangkan aplikasi Android untuk melihat hasil identifikasi penyakit pada daun cabai.

4.1. Uji Keseluruhan

Pengujian pada penelitian ini dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian fungsional hingga pengujian keseluruhan sistem. Pengujian fungsional bertujuan untuk mengetahui apakah fungsi pada alat dan bahan yang digunakan dapat berfungsi sebagai mestinya atau tidak. Pada proses pengujian ini dilakukan dengan menguji fungsi pada *raspi camera* untuk mengambil gambar dan mikrokontroler *rasberry pi* untuk menerima gambar dan menyimpannya ke dalam *database*. Setelah beberapa rangkaian pengujian yang telah dilakukan pada setiap komponen yang ada, maka tahap selanjutnya yang dilakukan pengujian keseluruhan pada sistem yang dibuat. Tahap pertama yang dilakukan merangkai semua komponen. Adapun beberapa pengujian yang dilakukan pada sistem keseluruhan antara lain:

- 1) Pengujian pengecekan dari mikrokontroler *rasberry pi*, pengecekan terhadap konektivitas dari

rasberry pi, apakah terkoneksi dengan jaringan sekitar sehingga dapat terhubung dengan jaringan internet, seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengujian Konektivitas Raspberry Pi

- 2) Pengujian rancang bangun alat pendeteksi penyakit pada daun tanaman buah cabai merah menggunakan metode histogram equalization dilakukan pada saat alat pertama kali diaktifkan dan semua komponen yang digunakan telah berfungsi sesuai yang dibutuhkan. Pengujian ini meliputi pengujian pengambilan gambar dengan kamera raspi dan mengunggahnya ke *database* dengan menjalankan program.
- 3) Pengujian selanjutnya adalah pengujian untuk proses identifikasi penyakit pada daun cabai menggunakan bahasa python pada metode histogram equalization dengan bantuan *library keras-tensorflow*. Script pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 16.

```
img = Image.open(img_filename)
imggray = img.convert(mode='L')
img_array = np.asarray(imggray)
histogram_array = np.bincount(img_array.flatten(), minlength=256)
num_pixels = np.sum(histogram_array)
histogram_array = histogram_array/num_pixels
chistogram_array = np.cumsum(histogram_array)
transform_map = np.floor(255 * chistogram_array).astype(np.uint8)
img_list = list(img_array.flatten())
eq_img_list = [transform_map[p] for p in img_list]
eq_img_array = np.reshape(np.asarray(eq_img_list), img_array.shape)
eq_img = Image.fromarray(eq_img_array, mode='L')
eq_img.save(save_filename)
#identifikasi penyakit dengan library keras-tensorflow
img = tf.keras.utils.load_img(
    save_filename, target_size=(img_height, img_width))
]
img_array = tf.keras.utils.img_to_array(img)
img_array = tf.expand_dims(img_array, 0) # create a batch
predictions = model.predict(img_array)
score = tf.nn.softmax(predictions[0])
```

Gambar 16. Script Pengujian Identifikasi Penyakit pada Daun Cabai

Pada pengujian identifikasi penyakit daun cabai merah sudah berhasil dilakukan maka hasil ini akan

ditampilkan pada *output* yang dapat dilihat pada Gambar 17.

```
1/1 [=====] - 0s 84ms/step
Penyakit pada daun cabai : bercak.
```

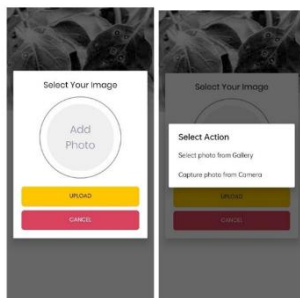
Gambar 17. Hasil Pengujian Identifikasi Penyakit pada Daun Cabai

- 4) Dalam pengujian *user interface* akan menampilkan data hasil identifikasi penyakit pada daun cabai. Pada halaman utama ini akan menampilkan hasil identifikasi penyakit pada daun cabai serta penjelasan singkat mengenai penyakit pada daun cabai merah. Tampilan halaman utama aplikasi dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Tampilan Halaman Utama

Pada halaman utama dibuatkan tombol untuk mengunggah gambar daun cabai pada aplikasi android yang akan tersimpan ke *database*. Pada halaman unggah gambar user dapat melakukan unggah gambar melalui kamera aplikasi maupun melalui galeri smartphone untuk memudahkan dalam mendeteksi penyakit pada daun cabai. Tampilan halaman untuk mengunggah gambar daun cabai dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Tampilan Halaman Unggah Gambar Daun Cabai

4.2. Uji Validasi

Pada Tahapan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah cara kerja dan fungsi yang dijalankan sudah sesuai dengan yang sudah di rancang sebelumnya. Pada penelitian ini dalam membuat rancang bangun alat pendeteksi penyakit pada daun tanaman buah cabai merah menggunakan metode histogram equalization menggunakan mikrokontroler *rassbery pi*. Pengujian validasi dan perbandingan dengan aplikasi plantix dilakukan kepada 80 data gambar daun cabai. Pada Tabel 1. ditunjukkan Data Gambar Daun Cabai dan Tabel 2. hasil uji validasi untuk sepuluh data.

Tabel 1. Data Gambar Daun Cabai

Data Ke -	Gambar Daun Cabai	Gambar Daun Cabai Metode Histogram Equalization
1		
2		
3		
4		
5		
6		

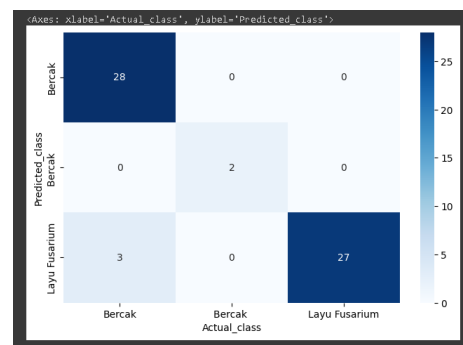
Data Ke -	Gambar Daun Cabai	Gambar Daun Cabai Metode Histogram <i>Equalization</i>
7		
8		
9		
10		

Tabel 2. Hasil Uji Validasi

Data Ke -	Hasil Deteksi Penyakit Daun Cabai	Persentase Penyakit Terdeteksi	Hasil Deteksi Penyakit Daun Cabai dengan Plantix
1	Bercak	99,77 %	Bercak
2	Bercak	94,66%	Bercak
3	Bercak	98,94%	Bercak
4	Bercak	98,76%	Bercak
5	Bercak	99,89%	Bercak
6	Layu Fusarium	50,17%	Layu Fusarium
7	Layu Fusarium	72,52%	Tidak Terdeteksi
8	Layu Fusarium	57,39%	Tidak Terdeteksi
9	Layu Fusarium	79,87%	Tidak Terdeteksi
10	Layu Fusarium	83,83%	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan uji validasi diatas deteksi penyakit pada daun cabai menggunakan metode histogram *equalization* dapat mendeteksi penyakit pada daun cabai berdasarkan data

gambar yang diuji. Pada pengujian yang dilakukan terbagi menjadi dua kelas penyakit yaitu penyakit bercak pada daun dan layu fusarium serta kelas sehat pada tanaman cabai. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan untuk mengetahui akurasi prediksi yang dilakukan menggunakan *histogram equalization* maka dilakukan perhitungan dengan confusion matrix. Hasil pengujian deteksi penyakit pada daun cabai dengan confusion matrix ditunjukkan pada Gambar 20. Berdasarkan pengujian dengan confusion matrix yang sudah dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah perhitungan akurasi pada prediksi penyakit daun tanaman cabai yang sudah dilakukan. Hasil perhitungan akurasi pada prediksi penyakit daun tanaman cabai ditunjukkan pada Gambar 21.

Gambar 20. Hasil Pengujian dengan *Confusion Matrix*

	precision	recall	f1-score	support
Bercak	1.000000	0.903226	0.949153	31.00
Bercak	1.000000	1.000000	1.000000	2.00
Layu Fusarium	0.900000	1.000000	0.947368	27.00
accuracy	0.950000	0.950000	0.950000	0.95
macro avg	0.966667	0.967742	0.965507	60.00
weighted avg	0.955000	0.950000	0.950045	60.00

Gambar 21. Akurasi Prediksi Penyakit Daun Cabai

Berdasarkan hasil perhitungan akurasi prediksi yang sudah dilakukan maka di dapatkan akurasi prediksi dengan nilai 0.95 atau 95% akurasi. Pada pengujian ini dilakukan juga menggunakan aplikasi plantix sebagai perbandingan hasil identifikasi penyakit daun cabai. Pada pengujian menggunakan aplikasi plantix terdapat beberapa penyakit yang

terdeteksi oleh plantix sebagai bercak dan layu fusarium. Namun, pada data uji yang digunakan pada penelitian ini plantix lebih banyak tidak dapat mendeteksi penyakit pada data uji yang digunakan. Hal ini dikarenakan gambar yang diuji pada penelitian ini tidak mendapatkan cahaya yang memadai selain itu data uji pada aplikasi plantix tidak dapat mendeteksi penyakit daun cabai dengan citra hitam putih. Pada aplikasi plantix untuk pengujian mendeteksi penyakit layu fusarium dengan satu daun plantix akan membacanya sebagai tanaman hias sehingga pengujian perbandingan deteksi penyakit daun cabai dengan aplikasi plantix pada data uji yang digunakan lebih banyak penyakit yang tidak terdeteksi. Pada penelitian ini metode histogram equalization digunakan untuk meratakan intensitas suatu citra pada gambar daun cabai pada penelitian ini. Pada penelitian ini histogram equalization akan melakukan normalisasi data piksel pada gambar yang diuji menggunakan persamaan (1). Adapun hasil normalisasi data piksel pada gambar yang diuji adalah sebagai berikut:

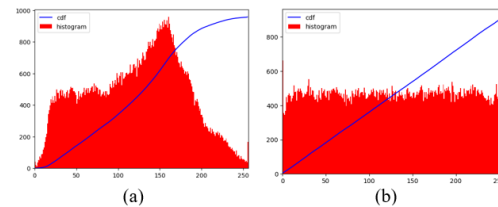
$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{19}{299 \times 400} = 0.1587 & P_6 &= \frac{69}{299 \times 400} = 0.1587 \\
 P_3 &= \frac{25}{299 \times 400} = 0.2090 & P_7 &= \frac{25}{299 \times 400} = 0.2090 \\
 P_4 &= \frac{58}{299 \times 400} = 0.4849 & P_8 &= \frac{58}{299 \times 400} = 0.4849 \\
 P_5 &= \frac{53}{299 \times 400} = 0.4347
 \end{aligned}$$

Setelah normalisasi data dilakukan berikut ini merupakan perhitungan *histogram equalization* beberapa piksel pada gambar yang diuji menggunakan persamaan (2).

$$\begin{aligned}
 S2 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587) = 71.877 \\
 S3 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587 + 0.290) = 124.7543 \\
 S4 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587 + 0.290 + 0.4849) = 247.434 \\
 S5 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587 + 0.290 + 0.4849 + 0.4347) = 357.413 \\
 S6 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587 + 0.290 + 0.4849 + 0.4347 + 0.5769) = 503.3688 \\
 S7 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587 + 0.290 + 0.4849 + 0.4347 + 0.5769 + 0.4849) = 626.0485 \\
 S8 &= 253 * (0.0334 + 0.0920 * 0.1587 + 0.290 + 0.4849 + 0.4347 + 0.5769 + 0.4849 + 0.6355) = 786.829
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan *histogram equalization* yang sudah dilakukan pada setiap

piksel gambar yang diuji maka dapat diketahui sebaran piksel pada gambar sebelum dan *histogram equalization* yang ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik Sebaran Warna pada Piksel. a) sebelum *histogram equalization*; b) sesudah *histogram equalization*

Berdasarkan Gambar 22 dapat diketahui bahwa pada gambar sebelum dilakukan *histogram equalization* sebaran warna pada piksel gambar tidak merata. Sedangkan, sesudah dilakukan *histogram equalization* sebaran warna pada piksel lebih merata sehingga gambar yang dihasilkan memiliki pemerataan warna yang baik pada setiap piksel pada gambar.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pendeteksi penyakit pada daun tanaman cabai merah menggunakan metode Histogram Equalization dan algoritma Keras-TensorFlow. Sistem ini memungkinkan identifikasi penyakit melalui gambar daun cabai yang diambil menggunakan kamera Raspberry Pi atau diunggah melalui aplikasi yang telah dibuat. Gambar tersebut disimpan di *database* dan kemudian diproses untuk mengidentifikasi penyakit.

Proses identifikasi dimulai dengan mengunduh gambar uji dari *database*, yang kemudian diproses menggunakan metode Histogram Equalization untuk meratakan citra keabuan. Setelah itu, gambar diolah lebih lanjut dengan Keras-TensorFlow untuk mendeteksi penyakit berdasarkan dataset yang telah disiapkan sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi deteksi penyakit pada sistem ini mencapai lebih dari 95%.

Sistem yang dibangun juga menyimpan hasil identifikasi dan gambar olahan di *database*, yang dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi untuk memudahkan

pemantauan dan penanganan penyakit pada tanaman cabai. Sistem ini lebih efektif dibandingkan aplikasi Plantix, terutama dalam mendeteksi penyakit pada gambar yang kurang cahaya atau citra hitam putih, di mana Plantix sering gagal mendeteksi penyakit. Dengan demikian, sistem ini menawarkan solusi yang lebih akurat untuk mendeteksi penyakit tanaman cabai, khususnya dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Dr. Prihastuti Harsani, M.Si. dan Mohamad Iqbal Suriansyah, M.Kom. atas bimbingan dan bantuan yang berharga dalam menyelesaikan penelitian ini. Penghargaan yang tulus juga ditujukan kepada kedua orang tua tercinta atas doa, semangat, dan kasih sayang yang telah menjadi dukungan utama dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Haq, A. Pata, and M. A. Sadat, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Minat Petani Dalam Budidaya Cabai Besar Di Desa Pattiro Deceng, Kecamatan Camba, Kabupaten Maros," *J. Agribisnis*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 2018.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Produksi Cabai Besar menurut Provinsi 2015- 2019," Badan Pusat Statistik. Accessed: Jun. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/ZUhFd1JtZzJWVpqpWTJsV05XTllhVmhRSzFoNFFUMDkjMw==/produksi-tanaman-sayuran-menurut-provinsi-dan-jenis-tanaman--2019.html?year=2019>
- [3] D. Darmansah, "Analisa Penyebab Kerusakan Tanaman Cabai Menggunakan Metode K-Means," *JATISI (Jurnal Tek. Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 126–134, Aug. 2020, doi: 10.35957/jatisi.v7i2.309.
- [4] Y. R. W. U. Sri Hariyati Fitriasih, Tomi Winanto, "Sistem Pakar Diagnosa Hama Dan Penyakit Tanaman Cabai Besar Menggunakan Metode Certainty Factor," *J. Ilm. SINUS*, vol. 15, no. 2, Jul. 2017, doi: 10.30646/sinus.v15i2.302.
- [5] D. A. Meko, D. R. Sina, and K. Letelay, "Diagnosa Hama dan Penyakit Pada Tanaman Cabai Menggunakan Metode Variable Centered Intelligent Rule System (VCIRS)," *J-ICON (Jurnal Komput. dan Inform.)*, vol. 6, no. 2, pp. 14–21, 2018.
- [6] Y. Zhang, Z. Liu, and X. Zhao, "Utilizing Histogram Equalization for Improved Image Recognition of Plant Diseases," *J. Agric. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 123–122, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jast.2021.01.003>.
- [7] J. Xiong *et al.*, "Application of Histogram Equalization for Image Enhancement in Corrosion Areas," *Shock Vib.*, vol. 2021, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.1155/2021/8883571.
- [8] G. Winarno, M. Irsal, C. A. Karenina, G. Sari, and R. N. Hidayati, "Metode Histogram Equalization untuk Peningkatan Kualitas Citra dengan Menggunakan Studi Phantom Lumbosacral," *J. Kesehat. Vokasional*, vol. 7, no. 2, p. 104, May 2022, doi: 10.22146/jkesvo.71469.
- [9] M. F. Mahfuzh, R. V. Yuliantari, and B. Fatkhurrozi, "Perbandingan Metode Histogram Equalization dan Power Law pada Perbaikan Kualitas Citra CCTV Menggunakan Bahasa Python," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 4–9, Jun. 2022, doi: 10.30871/jaee.v6i1.3992.
- [10] J. Kalyani and M. Chakraborty, "Contrast Enhancement of MRI Images using Histogram Equalization Techniques," in *2020 International Conference on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE)*, IEEE, Jan. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICCECE48148.2020.9223088.
- [11] F. Zahroh, K. Kusrinah, and S. M. Setyawati, "Perbandingan Variasi Konsentrasi Pupuk Organik Cair dari Limbah Ikan Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.)," *Al-Hayat J. Biol. Appl. Biol.*, vol. 1, no. 1, p. 50, Aug. 2018, doi: 10.21580/ah.v1i1.2687.
- [12] P. Singh, P. . Jain, and A. Tiwari, "Principal Component Analysis Approach for Yield Attributing Traits in Chilli (*Capsicum annum* L.) Genotypes," *Chem. Sci. Rev. Lett.*, vol. 9, no. 33, pp. 87–91, Oct. 2020, doi: 10.17762/jaz.v44i3.1254.
- [13] D. B. Devi, M. K. Reddy, B. Padmodaya, V. L. N. Reddy, and V. Srilatha, "Survey for the Incidence of Viral Diseases in Chilli in Andhra Pradesh," *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 11, pp. 2136–2143, Nov. 2019, doi: 10.20546/ijcmas.2019.811.248.
- [14] M. Pun, V. Kumar, S. S. Bisht, and M. Upadhyay, "Efficacy of fungicides and biocontrol agents in the management of *Cercospora* leaf spot of chilli," *J. Bio. Innov.*, vol. 9, no. 2, pp. 141–148, 2020.
- [15] S. Velarde-Félix, J. A. Garzón-Tiznado, S. Hernández-Verdugo, C. A. López-Orona, and J. E. Retes-Manjarrez, "Occurrence of *Fusarium oxysporum* causing wilt on pepper in Mexico," *Can. J. Plant Pathol.*, vol. 40, no. 2, pp. 238–247, Apr. 2018, doi:

- 10.1080/07060661.2017.1420693.
- [16] R. E. Manalu, "Analisis Metode Histogram Equalization Dalam Proses Perbaikan Gambar Closed Circuit Television (CCTV)," *TIN Terap. Inform. Nusantara*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2021, [Online]. Available: <https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin/article/view/757>
- [17] R. Muchlisin, "Raspberry Pi (Definisi, Fungsi, Jenis, Spesifikasi dan Pemrograman)," *kajianpustaka.com*. Accessed: Jun. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.kajianpustaka.com/2020/12/Raspberry-Pi.html>
- [18] C. N. Karinda, X. B. N. Najoan, and M. E. I. Najoan, "Perancangan dan Implementasi IoT dalam Memantau Keamanan Lingkungan Berbasis Aplikasi Mobile dan Raspberry Pi," *J. Tek. Inform.*, vol. 16, no. 2, pp. 193–202, 2021.
- [19] S. Johnston and S. Cox, "The Raspberry Pi: A Technology Disrupter, and the Enabler of Dreams," *Electronics*, vol. 6, no. 3, p. 51, Jul. 2017, doi: 10.3390/electronics6030051.
- [20] R. W. Bowman, B. Vodenicharski, J. T. Collins, and J. Stirling, "Flat-Field and Colour Correction for the Raspberry Pi Camera Module," *J. Open Hardw.*, vol. 4, no. 1, Apr. 2020, doi: 10.5334/joh.20.
- [21] R. Rifandi, S. S. S, and Anharudin, "Rancang Bangun Kamera Pengawas Menggunakan Raspberry Dengan Aplikasi Telegram Berbasis Internet Of Things," *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 18–32, Mar. 2021, doi: 10.30656/prosisko.v8i1.3101.
- [22] R. Windawati and H. D. Koeswanti, "Pengembangan Game Edukasi Berbasis Android untuk Meningkatkan hasil Belajar Siswa di Sekolah Dasar," *J. Basicedu*, vol. 5, no. 2, pp. 1027–1038, Mar. 2021, doi: 10.31004/basicedu.v5i2.835.
- [23] I. Riskiyah, "SISTEM MANAJEMEN IRIGASI TAMBAK GARAM BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, Aug. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3184.
- [24] I. A. Pratama, "PERBANDINGAN PEMROSESAN KINERJA SERVER RASPBERRY DAN PC UNTUK OPTIMALISASI SMART FARMING BERBASIS IOT," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3930.
- [25] Z. Zulkifli, M. Muhalim, and H. Hasnahwati, "PENGEMBANGAN SISTEM ALARM DAN PEMADAM KEBAKARAN OTOMATIS MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4774.
- [26] L. Maharani, S. Sarjana, and S. Zefi, "RANCANG BANGUN ALAT PEMOTONG DAUN BAWANG BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.5357.