

Rancang Bangun Alat Sortir Buah Tomat Otomatis Berbasis Sensor Warna Menggunakan Metode *K Nearest Neighbors*

Vivin Octowinandi S.Tr.T M.Sc
Electrical Engineering
Batam, Indonesia
vivin@polibatam.ac.id

Immanuel Andrew Manalu
Electrical Engineering
Batam, Indonesia
immanuel4242001054@student.pol
ibatam.ac.id

Rizky Azis Kuswinda
Electrical Engineering
Batam, Indonesia
rizky3212001028@student.polibata
m.ac.id

Abstrak— Tomat adalah buah dengan nilai ekonomi tinggi yang digunakan dalam masakan atau sebagai sayuran dalam hidangan. Tingkat kematangan tomat ada yang berwarna hijau, kuning kemerahan dan merah. Untuk mengidentifikasi tingkat kematangan tomat agar efektif dan efisien maka dilakukan sebuah pemisahan tingkat kematangan buah tomat yang disebut dengan alat sortir yang menggunakan sensor TCS3200 dikendalikan oleh arduino dan komponen pendukung lainnya. Pada klasifikasi KNN pemilihan K tetangga terdekat membandingkan untuk mendapatkan akurasi terbaik nilai K 5, K 10, K 15 dengan nilai K akurasi terbaik yaitu K 5 sebesar 100%, dan pada sistem klasifikasi warna tomat 30 data latih dan 15 data uji total keseluruhan 45 data, didapatkan untuk data prediksi dan aktual dengan tingkat akurasi 97%. Sedangkan pengujian motor servo terhadap hasil yang telah dideteksi oleh sensor TCS3200 mendapatkan akurasi 93%.

Kata kunci— Tomat, Nilai K , KNN, TCS3200, microcontroller

I. PENDAHULUAN

Tomat adalah salah satu tanaman sayur berbuah yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan sering digunakan sebagai bahan masakan atau sebagai sayuran dalam hidangan, tomat memiliki kulit yang halus dan warna yang bervariasi dari hijau, kuning, merah. Tomat kaya akan vitamin C, A, serat, dan antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan manusia [1].

Untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah tomat berdasarkan warna dikategorikan menjadi 3 bagian yaitu tomat mentah berwarna hijau, setengah matang tomat berwarna kuning kemerahan, dan matang tomat berwarna merah maka perlu dilakukan sebuah pemisahan tingkat kematangan buah tomat sebelum dijual. Di pasar tradisional penjual mengalami kesulitan dalam mengatur dan menyortir tomat secara efektif dan efisien karena jumlah yang banyak dan beragamnya kualitas tomat yang tersedia. Dari permasalahan yang ada untuk membantu para pedagang buah tomat agar mempermudah proses pemilihan buah tomat sesuai tingkat kematangan yaitu menggunakan alat sortir. Alat sortir adalah sebuah alat yang mampu memisahkan sesuatu baik itu barang maupun buah-buahan.

Banyak penelitian sebelumnya yang membuat alat sortir buah tomat dengan berbagai metode seperti penerapan fuzzy logic yang memanfaatkan metodologi pendekatan 4D [2], metode mapping [3], metode *support vector machine* [4], metode *neural network* [5], metode *image processing* [6], penelitian-penelitian yang sudah ada membuktikan bahwa alat sortir buah tomat juga penting dan diperlukan. Dari beberapa kajian berdasarkan metodologi yang ada, penulis akan merancang alat sortir buah tomat otomatis berbasis sensor

warna. Sensor warna digunakan untuk menangkap warna tomat dan mengirimkan data ke sistem sedangkan metode KNN (*K-nearest neighbors*) digunakan untuk mengenali warna tomat sebagai klasifikasi objeknya berdasarkan jarak terdekat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tingkat Kematangan Tomat Berdasarkan Warna

Penelitian oleh Mercy dan lainnya tentang karakteristik fisik tomat menyatakan bahwa kematangan buah tomat dapat diklasifikasikan berdasarkan kekakuan, aroma, perubahan rasa, dan warna. Warna buah tomat sangat penting dalam menentukan kualitasnya dan dipengaruhi oleh pigmen karotenoid seperti *likopen* dan β -karoten. Kandungan pigmen ini tertinggi ditemukan pada buah dengan tingkat kematangan merah matang. Proses pematangan juga dipengaruhi oleh penurunan kandungan klorofil dalam buah. Kematangan buah tomat dapat diidentifikasi berdasarkan perubahan warna atau permukaannya, menjadi lebih dari 90% merah [7]. Penelitian ini menggunakan tiga bagian kematangan untuk mengklasifikasikan tomat yaitu belum matang, setengah matang, dan matang.

B. Microcontroller

Untuk menerapkan alat dalam penelitian ini, beberapa sensor dan komponen penggerak diperlukan, oleh karena itu sistem memerlukan mikrokontroler untuk prosesor data dan unit kontrol pusat. Perangkat sortir otomatis ini menggunakan Arduino Atmega 2560 sebagai prosesor data dan pengontrol pusat. Arduino Atmega dilengkapi dengan mikrokontroler ATMEGA 2560. Untuk pemasangan semua modul, sensor, dan komponen penggerak lainnya terhubung ke pin pada Arduino. Selanjutnya, program akan diunggah melalui Arduino IDE memungkinkan sistem dalam perangkat ini untuk beroperasi sesuai dengan sistem kerjanya [8].

C. *K-Nearest Neighbors*

Algoritma *K-nearest neighbors* (KNN) adalah metode untuk mengklasifikasikan set data pembelajaran berdasarkan jarak terdekat ke suatu objek. Algoritma KNN mengategorikan data baru sesuai dengan nilai K sebagai jarak terdekat antara data pelatihan dan data uji. Kedekatan tetangga dapat dihitung menggunakan rumus jarak *Euclidean distance*. Hasan dan lainnya telah menyelesaikan penggunaan metode K -NN dalam klasifikasi warna, dengan hasil pengujian untuk K , dilakukan enam kali dengan nilai $K=1$, $K=3$, $K=5$, $K=7$, $K=9$, dan $K=11$, disimpulkan bahwa akurasi tertinggi untuk *K-nearest neighbors* adalah 88% dengan jarak *Euclidean* $K=7$ [9].

Proses algoritma KNN terdiri dari beberapa langkah yaitu sebagai berikut [10]:

1. Tentukan jumlah K tetangga terdekat, nilai K harus dipilih dengan baik agar dapat mempengaruhi hasil klasifikasi.
2. Hitung jarak data testing ke dalam data training.
3. Menentukan tetangga terdekat, urutkan hasil jarak data tersebut dari terkecil sampai terbesar semakin kecil datanya semakin terdekat.
4. Tentukan label mayoritas paling banyak dekat dengan tetangganya.

D. Konsep klasifikasi

Klasifikasi adalah proses menilai objek data sehingga dapat dimasukkan ke dalam kelas tertentu dari jumlah kelas yang tersedia. Klasifikasi mencakup dua tugas utama yaitu pertama membuat prototipe model untuk disimpan dalam memori, lalu yang kedua menggunakan model untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan dan memprediksi objek data lain untuk mengetahui di kelas mana objek data tersebut mudah disimpan dalam model [11].

E. Komponen Penggerak

Mesin sortir tomat otomatis menggunakan beberapa komponen penggerak. Tomat akan keluar satu per satu dari wadah tomat yang belum disortir menuju palet, di mana *spinner* telah dipasang pada motor stepper sehingga tomat dapat diarahkan ke sensor warna dan kemudian bergerak menuju penyimpanan tomat.

Motor stepper nema 17 digunakan dalam penelitian ini karena presisinya yang tinggi dan kemampuannya untuk dikontrol dalam *loop* terbuka, motor stepper nema 17 juga harus dikontrol menggunakan driver modul seperti driver A4988 agar stepper tersebut bisa bergerak sesuai dengan perintah. [12]Menguji motor stepper nema 17 dengan hasil motor dapat melakukan satu langkah sudut tunggal dan perintah yang diberikan harus setara dengan sudut 1.8° . Satu putaran penuh rotor dalam motor stepper nema 17 diukur sebagai 200 langkah. Tomat yang telah terdeteksi akan diarahkan ke sebuah jembatan yang digerakkan oleh motor servo. Motor servo MG995 dipilih untuk sistem ini karena sistem ini memerlukan motor servo yang dapat memutar objek dengan sudut atau jarak tertentu dengan presisi yang tinggi.

F. Sistem Pendeteksi Berat

Mesin sortir ini menggunakan tiga wadah tomat sebagai tempat untuk tomat mentah (hijau), setengah matang (kuning kemerahan), matang (merah) dan setiap wadah tersebut terdapat sensor deteksi berat, komponen yang digunakan adalah *loadcell* HX711. *Loadcell* adalah sebuah sensor khusus untuk mendeteksi berat pada suatu beban yang memiliki prinsip kerja didasarkan pada pengukuran tekanan [13].

G. Buzzer

Buzzer merupakan sebuah komponen elektronik dengan desain yang sangat minimalis yang menghasilkan bunyi suara sebagai penanda seperti alarm dan digunakan untuk penanda apabila kapasitas tomat dalam *loadcell* sudah melebihi batas, buzzer memiliki tegangan berkisar 3 V sampai dengan 5 VDC.

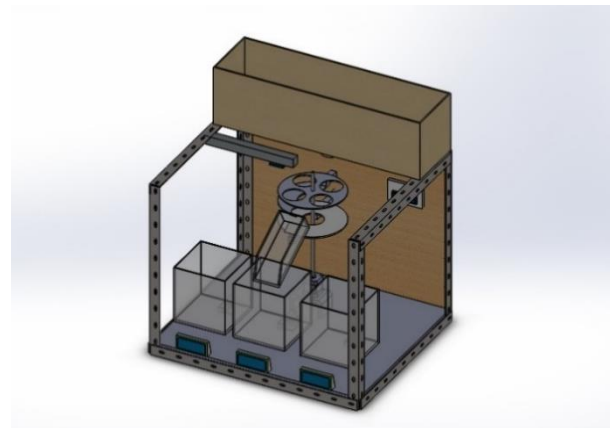
H. Fitur Ekstrasi

Chip TCS3200 dirancang khusus untuk mengenali warna cahaya yang datang melalui rangkaian *photodiode* yang disusun dalam matriks 8x8, dengan total 64 sensor [14]. *Photodiode* ini dilengkapi dengan empat jenis filter yaitu 16 sensor dengan filter merah yang mengukur komponen merah cahaya yang datang kemudian 16 lainnya dengan filter hijau, lalu 16 lagi dengan filter biru. Seperti yang diketahui warna-warna yang terlihat dapat diuraikan menjadi tiga warna primer dan sensor-sensor yang difilter ini menilai bobot dari setiap warna primer dalam cahaya yang datang [15]. 16 sensor yang tersisa dilengkapi dengan filter *clear*. TCS3200 menerjemahkan intensitas radiasi yang datang menjadi frekuensi, menghasilkan gelombang persegi dengan siklus tugas 50% sebagai output. Dengan memanfaatkan timer MCU, periode pulsa diukur untuk mendapatkan frekuensi. Output TCS3200 digabungkan menjadi satu baris dan untuk membedakan intensitas kanal merah, hijau, biru atau RGB dan *clear*, chip ini menggunakan input S2 dan S3 untuk memilih output sensor yang akan tersedia pada baris output.

III. METODOLOGI

Pada penelitian ini diterapkan beberapa serangkaian tahapan dimulai dengan studi literatur, pembuatan alat, akuisisi data, klasifikasi KNN dan pengujian.

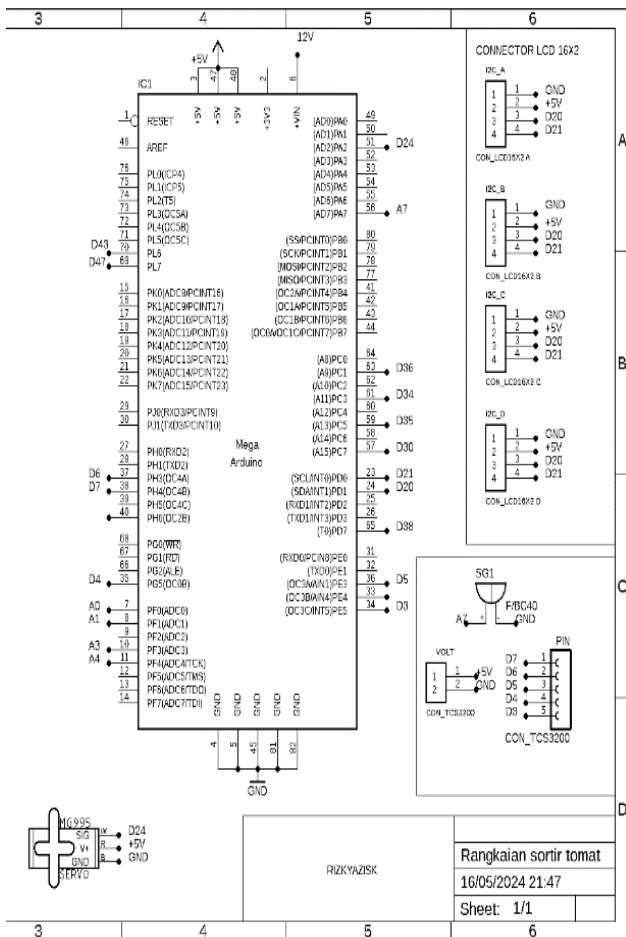
A. Desain Mekanikal



Gambar 1. Desain mekanikal

Pada Gambar 1 menampilkan rancangan desain 3D dari alat sortir tomat otomatis yang akan dibuat, penulis menggunakan aplikasi *solidworks* untuk membuat desain *layout* perangkat keras dan peralatan pendukung mekanisme penyortiran tomat. Dapat dilihat pada gambar 1 terdapat penampung utama dibagian atas sebagai tempat tomat sebelum di sortir, perangkat keras penggerak tomat seperti lingkaran pemutar atau *spinner*, motor servo, motor stepper nema 17, dan sensor pada bagian tengah, pada bagian depan akan disediakan LCD 16x2 dan tiga wadah berbeda untuk tempat tomat setelah disortir sesuai dengan tingkat kematangan tomat, semua komponen tersebut di tempat pada desain mekanik yang telah dibuat.

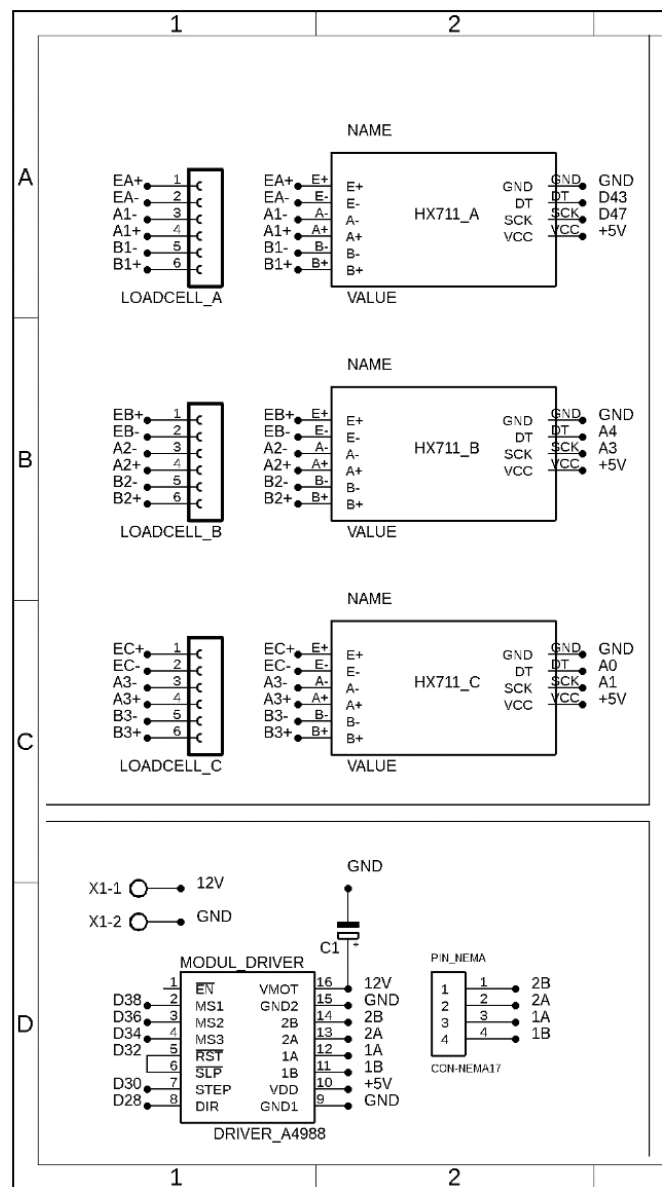
B. Desain Elektrikal



Gambar 2. Rangkaian elektrikal a

Seluruh sensor dan komponen elektrikal akan diproses dan dikontrol dalam satu rangkaian kontrol. Sistem kontrol akan berpusat pada *microcontroller* Arduino Atmega 2560. Bagian perancangan skema elektrikal terdapat beberapa komponen seperti sensor TCS3200, sensor *loadcell*, buzzer, LCD 16x2, dan motor servo MG995, A4988. Komponen tersebut akan disambungkan ke pin 5V pada arduino sebagai sumber tegangannya, sedangkan untuk motor stepper nema 17 akan disambungkan dengan *power suplay* 12 VDC, setelah diberi sumber tegangan masing-masing komponen dihubungkan ke pin *grounding*.

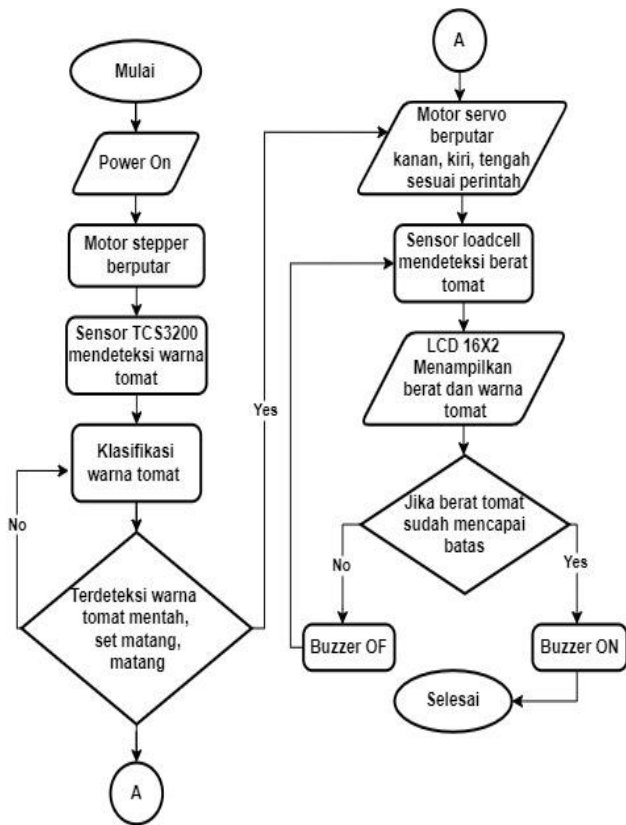
Untuk Pin S0, S1, S2, S3, out pada sensor TCS3200 dan pin motor servo dihubungkan ke pin digital arduino. Terdapat 4 LCD 16x2 yang masing-masing memiliki modul I2C untuk menghemat pengkabelan yang berfungsi sebagai komunikasi serial baik untuk mengirimkan atau menerima data, modul I2C memiliki pin SDA dan SCL yang disambungkan juga ke pin arduino bagian pin SDA dan SCL, pin SDA dan SCL agar tidak saling bertabrakan ketika serial komunikasi bagian alamat I2C pada setiap modul di jumper agar bisa mendapatkan alamat yang berbeda. Detail instalasi pengkabelan antar pin komponen dan arduino dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 3. Rangkaian elektrikal a

Pada gambar 3 dapat dilihat detail pengkabelan antar pin pada modul driver dan sensor *loadcell* dengan arduino. Terdapat tiga modul driver HX711 yang masing-masing modul tersebut memiliki sensor *loadcell* dan pin konektor, bagian modul driver HX711 *loadcell* pin-pin DT dan SCK disambungkan ke pin arduino yang berbeda agar *loadcell* bisa berfungsi maksimal, lalu untuk modul driver A4988 disambungkan ke pin digital arduino untuk menggerakkan motor stepper nema17 dan *display* menggunakan tegangan 5 VDC kepada arduino dan 12 VDC kepada adaptor untuk menjalankan motor stepper nema 17. Terdapat empat konektor pin sebagai tempat stepper sebagai penghubung stepper dengan driver modul A4988 detail gabungan keseluruhan skematik rangkaian elektrikal ini tergabung pada gambar 2.

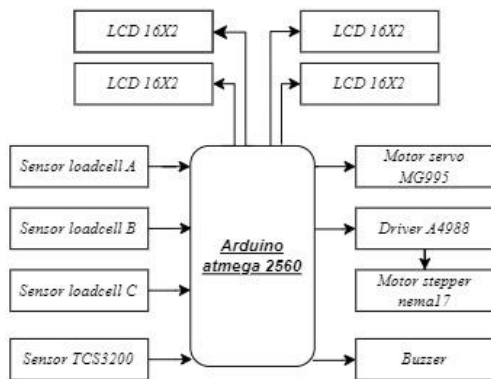
C. Sistem Flowchart Kerja Alat



Gambar 4. Sistem kerja alat

Berdasarkan diagram gambar 4, sistem awal menyala untuk menghidupkan alat kerja. Selanjutnya, motor stepper nema 17 berputar untuk menggeser tomat agar mengarah ke sensor warna dalam satu persatu dengan sistem warna non-urutan. Sensor TCS3200 memancarkan cahaya dari *fotodiode* untuk mendeteksi warna tomat dengan input warna RGB untuk diklasifikasi. Setelah terklasifikasi yang menunjukkan warna tomat lalu motor servo berputar ke arah sudut yang sesuai untuk menjatuhkan tomat ke dalam setiap wadah yang telah disediakan. Sensor *loadcell* mendeteksi berat masing-masing tomat dan LCD 16x2 menampilkan hasil berat dan warna agar konsumen mengetahui berat dan warna tomat yang dipilih. Ketika berat sudah melewati kapasitas sensor *loadcell* maka buzzer menyala dan jika buzzer mati berat belum mencapai kapasitas target.

D. Blok Diagram



Gambar 5. Diagram blok sistem

Terdapat bagian input yang terdiri dari sensor *loadcell* HX711 yang berfungsi untuk mendeteksi masing-masing

berat tomat yang berada di wadah dan sensor TCS3200 untuk mendeteksi warna tomat mentah (hijau), setengah matang (kuning kemerahan), matang (merah), setelah mendapatkan data dari inputan tersebut kemudian diproses oleh arduino yang dimana sebagai otak penyimpanan program untuk menjalankan dan memberi perintah ke perangkat output. Kemudian bagian output terdapat driver A4988 berfungsi untuk mengoperasikan motor stepper nema 17 seperti putaran dan kecepatan. Selanjutnya motor servo MG995 berfungsi untuk menjatuhkan serta mengarahkan agar tomat jatuh pada setiap wadah. Buzzer berfungsi sebagai indikator ketika sensor *loadcell* sudah melebihi kapasitas 5 kg, lalu LCD 16x2 bertujuan untuk menampilkan hasil berat dan warna tomat yang telah dideteksi oleh sensor *loadcell*.

E. Akuisisi Data



(a) Matang, (b) Setengah-matang, (c) Mentah
Gambar 6. (a) Matang, (b) Setengah-matang, (c) Mentah

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data yang diambil dari kulit tomat yang diekstraksi menjadi RGB oleh sensor warna TCS3200. Data terdiri dari 10 tomat matang (merah), setengah matang (kuning kemerahan), dan mentah (hijau) dengan total 30 data nilai RGB sebagai data latih.

F. Klasifikasi Warna

Pada klasifikasi warna buah tomat ini, *K-nearest neighbors* (KNN) untuk mengklasifikasikan memerlukan sebuah data latih dan data uji sebagai perhitungan jarak K tetangga terdekat untuk mendapatkan nilai terkecil hingga terbesar berdasarkan kelas terbanyak yang di mana ketika ada objek baru akan masuk pada label kelas mana. Dalam penelitian ini terbagi menjadi 3 kategori kelas yaitu mentah (hijau), setengah matang (kuning kemerahan), matang (merah).

Salah satu cara untuk menentukan seberapa dekat atau jauhnya tetangga yaitu menggunakan rumus *euclidean distance*. *Euclidean distance* adalah cara untuk mengukur jarak antara dua objek dan bisa dimasukkan sebagai ukuran kedekatan diantara keduanya dengan rumus sebagai berikut [16]:

$$\text{Jarak}(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (y_i - x_i)^2}$$

Di mana:

y_i = nilai data latih

x_i = nilai data uji

n = jumlah data latih

G. Menentukan Nilai K Tetangga Terdekat

Untuk menentukan nilai K adalah mencoba beberapa nilai untuk menemukan akurasi yang terbaik. Pada penelitian ini, penulis menentukan nilai K yaitu K 5, 10, 15. Nilai K yang terlalu kecil seperti 1, cenderung membuat model prediksi menjadi kurang stabil yang mengakibatkan salah klasifikasi, sedangkan nilai K yang terlalu besar dapat mengaburkan batas antara kategori warna yang berbeda dan mengakibatkan jumlah peningkatan kesalahan klasifikasi.

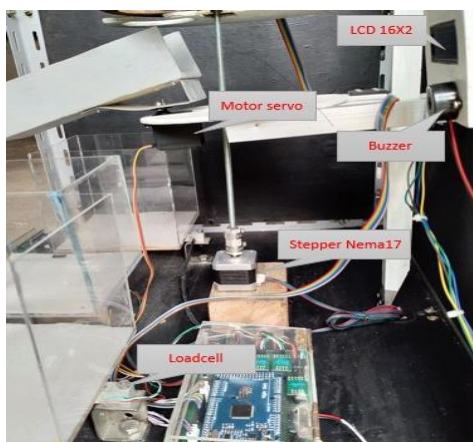
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Bentuk Hasil Desain Mekanikal



Gambar 7. Tampak depan

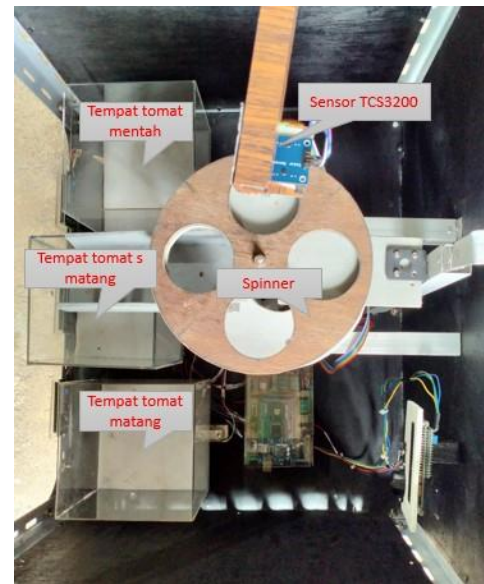
Pada gambar 7 dapat dilihat tampak depan dari desain aktual alat sortir tomat otomatis. Penulis menggunakan penampung utama yang terbuat dari triplek dengan panjang 60 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 20 cm. Pondasi dari alat ini menggunakan besi siku dengan dimensi seluruh pondasi panjang 60 cm, lebar 50 cm dan tinggi 50 cm. Untuk bagian kanan, kiri, belakang terdapat penutup menggunakan triplek berukuran 6 mm agar bentuk desain tidak terlihat terbuka semua dan rapi. Lalu untuk bagian alas menggunakan triplek berukuran 8 mm sebagai alas peletakkan komponen.



Gambar 8. Tampak samping

Pada gambar 8 dapat dilihat denah peletakkan komponen melalui tampak samping alat sortir. Untuk bagian paling depan terdapat sensor *loadcell*, dan pada bagian tengah

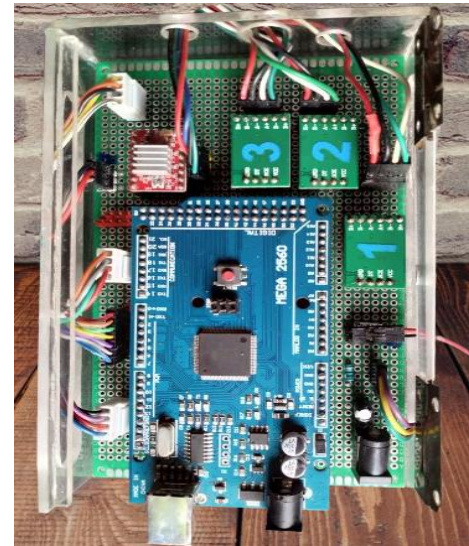
terdapat wadah sistem kontrol dan struktur komponen penggerak motor servo dan motor stepper, pada dinding belakang penulis memasang LCD 16x2 dan buzzer.



Gambar 9. Tampak atas

Pada gambar 9 merupakan bagian atas terdapat tempat sensor warna dan *spinner* diameter 18 yang telah dilubangi menjadi 4 bagian dengan diameter 6 untuk menggeser tomat, lalu dibagian bawah *spinner* terdapat alas agar tomat tidak langsung jatuh ke bawah dan terdapat 3 wadah tomat sebagai tempat penyortiran tomat paling terakhir.

B. Desain Elektrikal



Gambar 10. Desain elektrikal

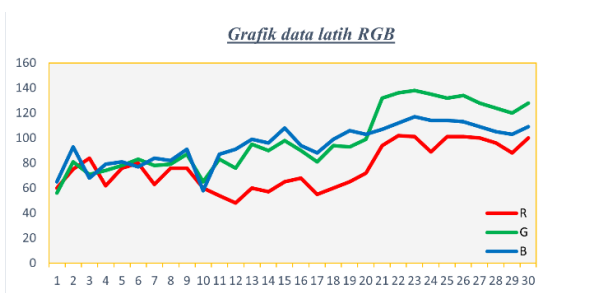
Hasil desain elektrikal yang dibuat, seluruh komponen modul *driver* dan komponen lainnya di tempatkan ke *pad* PCB kemudian bagian pin-pinnya disambungkan sesuai dengan rangkaian gambar 2 dan 3. Selanjutnya, penulis membuat pelindung pada permukaan PCB menggunakan akrilik.

C. Pengumpulan Data Latih dan Data Uji

Pada data latih tabel 1 terdapat data nilai RGB yang di mana pada setiap masing-masing nilai terdapat label kelas mentah, setengah matang dan matang untuk setiap sampel. Jumlah data latih setiap label tomat terdapat 10 data, jadi total keseluruhan sebanyak 30 data latih.

TABLE 1. DATA LATIH

| Data ke- | R | G | B | Label |
|----------|-----|-----|-----|---------|
| 1 | 60 | 56 | 65 | Mentah |
| 2 | 75 | 81 | 93 | Mentah |
| 3 | 84 | 71 | 68 | Mentah |
| 4 | 62 | 74 | 79 | Mentah |
| 5 | 76 | 78 | 81 | Mentah |
| 6 | 80 | 83 | 77 | Mentah |
| 7 | 63 | 78 | 84 | Mentah |
| 8 | 76 | 79 | 82 | Mentah |
| 9 | 76 | 87 | 91 | Mentah |
| 10 | 60 | 65 | 58 | Mentah |
| 11 | 54 | 83 | 87 | Setmtng |
| 12 | 48 | 76 | 91 | Setmtng |
| 13 | 60 | 95 | 99 | Setmtng |
| 14 | 57 | 90 | 96 | Setmtng |
| 15 | 65 | 98 | 108 | Setmtng |
| 16 | 68 | 90 | 94 | Setmtng |
| 17 | 55 | 81 | 88 | Setmtng |
| 18 | 60 | 94 | 99 | Setmtng |
| 19 | 65 | 93 | 106 | Setmtng |
| 20 | 72 | 99 | 103 | Setmtng |
| 21 | 94 | 132 | 107 | Matang |
| 22 | 102 | 136 | 112 | Matang |
| 23 | 101 | 138 | 117 | Matang |
| 24 | 89 | 135 | 114 | Matang |
| 25 | 101 | 132 | 114 | Matang |
| 26 | 101 | 134 | 113 | Matang |
| 27 | 100 | 125 | 109 | Matang |
| 28 | 96 | 124 | 105 | Matang |
| 29 | 88 | 120 | 103 | Matang |
| 30 | 100 | 128 | 109 | Matang |



Gambar 11. Grafik data latih

Pada gambar 11 adalah grafik hasil setiap data latih nilai warna RGB tomat dari 30 sampel, sampel tomat yang diambil menghasilkan fitur warna RGB untuk menentukan nilai RGB pada tomat mentah, setengah matang dan matang. Grafik tersebut menggambarkan bahwa untuk intensitas warna hijau lebih tinggi dibandingkan dengan biru dan merah, untuk biru intensitas lebih stabil dan merah memiliki keadaan naik turun yang lebih besar. ketika grafik tersebut naik maka nilai tersebut juga besar dan ketika grafiknya menurun maka nilai intensitas warna tomat juga akan menurun.

TABLE 2. DATA UJI

| Data ke- | R | G | B | Label |
|----------|---|---|---|-------|
|----------|---|---|---|-------|

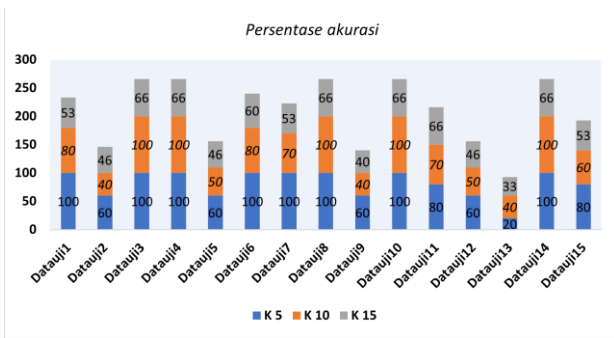
| | | | | |
|----|----|-----|-----|---------|
| 1 | 83 | 89 | 84 | Mentah |
| 2 | 50 | 72 | 82 | Setmtng |
| 3 | 97 | 129 | 112 | Matang |
| 4 | 96 | 128 | 114 | Matang |
| 5 | 84 | 82 | 75 | Mentah |
| 6 | 53 | 77 | 82 | Setmtng |
| 7 | 77 | 84 | 86 | Mentah |
| 8 | 98 | 131 | 111 | Matang |
| 9 | 51 | 71 | 79 | Setmtng |
| 10 | 86 | 139 | 114 | Matang |
| 11 | 64 | 76 | 78 | Mentah |
| 12 | 54 | 76 | 83 | Setmtng |
| 13 | 46 | 65 | 70 | Setmtng |
| 14 | 97 | 132 | 106 | Matang |
| 15 | 82 | 90 | 89 | Mentah |

Dari tabel 2 merupakan hasil dari nilai data uji pada setiap masing-masing warna tomat yaitu mentah, setengah matang dan matang. Pada setiap tomat berjumlah 5 data dengan total keseluruhan sebanyak 15 data yang telah dikumpulkan dengan membandingkan nilai K tetangga terdekat agar mendapatkan nilai akurasi yang terbaik.

D. Hasil Persentase Nilai K

Pada gambar 12 merupakan hasil dari persentase setiap 15 data uji yang telah dihitung menggunakan rumus *euclidean distance* dengan cara mengakarkan data latih kemudian dikurangi data uji lalu dikuadratkan, setelah mendapatkan nilai *euclidean distance* pada setiap masing-masing data uji kemudian mengurutkan jarak tersebut dari terkecil sampai terbesar dan menghitung K tetangga terdekat yaitu K 5, K 10 dan K 15. Ketika menentukan nilai K secara optimal untuk klasifikasi, pengujian nilai K menggunakan teknik *cross validation*, karena *cross validation* selalu membagi datanya menjadi beberapa kelompok dengan diulangi sebanyak K berapa kali secara bergantian, setiap kelompok diperlakukan sebagai data uji dengan sisanya sebagai data latih sampai mendapatkan nilai akurasi yang maksimal berdasarkan rata-rata.

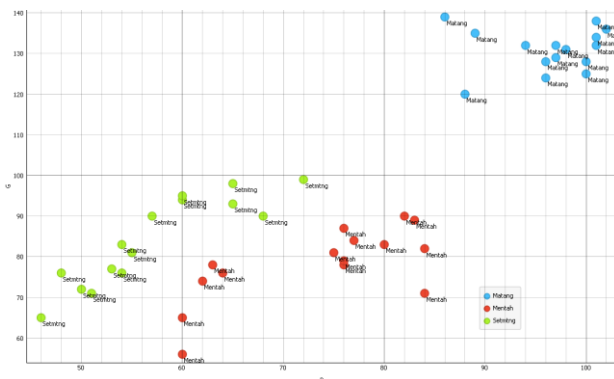
Diagram batang tersebut dengan akurasi persentase pada tiga nilai K berbeda yaitu K 5, K 10 dan K 15 dengan 15 data uji berbeda. Pada garis sumbu X persentase akurasi mewakili rentang sampai 300%. Pada nilai K 5 memiliki persentase yang tinggi dan banyak dengan nilai tertinggi 100% dan terendah 20%, kemudian K 10 akurasi mencapai sedang dengan beberapa nilai data uji terdapat 100% pada data pengujian. Sementara itu, K 15 dengan nilai menunjukkan akurasi umum lebih rendah dibandingkan dengan K 5 dan K 10, yang di mana pada data uji nilai tertinggi mencapai 66%. Secara keseluruhan dengan mempertimbangan akurasi nilai yang telah dicapai, K 5 dan K 10 sama-sama memberikan performa sangat baik. Namun, K 5 memiliki performa persentase hasil yang lebih stabil dan berulang kali mencapai akurasi terbaik. Oleh karena itu, K 5 lebih baik dalam akurasi sehingga dapat dikatakan nilai K 5 adalah nilai K yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tetangga terdekat pada warna tomat.



Gambar 12. Persentase nilai k

E. Hasil Klasifikasi Warna Tomat

Untuk gambar 15 nilai data RGB warna tomat diklasifikasikan tiga bagian yaitu: mentah, setengah matang, matang. Gambar tersebut yang memvisualisasi tiga kategori kelas tomat yang di mana pada setiap variabel sumbu (horizontal) variabel R dan variabel G (vertikal). Untuk tomat matang simbol biru terletak pada bagian atas kanan garis yang memperlihatkan nilai G yang tinggi berkisar 110 sampai 140 dan untuk nilai R berkisar 80 sampai 100. Kemudian untuk variabel mentah simbol merah tergabung pada grafik tengah bawah dengan nilai R 60 hingga 90 dan nilai G 60 sampai 100 yang menunjukkan kematangan rendah. Lalu untuk variabel setengah matang simbol hijau yang tersebar pada kiri bagian tengah garis di mana nilai G lebih luas sekitar 60 hingga 100 dan nilai R dari 45 hingga 85 dengan menunjukkan tingkat kematangan yang terletak diantara kategori dua lainnya. Metode KNN dalam mengklasifikasi data, data dibagi antara data latih dengan jumlah 30 dan data uji berjumlah 15 dengan total keseluruhan 45 data. Hasil visualisasi penyebaran klasifikasi data warna tomat sebagai berikut:



Gambar 15. Scatter plot data klasifikasi tomat

Pada gambar 16 merupakan hasil *confusion matrix* antara data aktual atau data sebenarnya dengan data prediksi sistem pada tomat mentah, setengah matang, matang. Didapatkan untuk label matang diprediksi benar dengan jumlah 15, kemudian label mentah berjumlah 14 dan terdapat kesalahan prediksi berjumlah 1 yang masuk ke dalam kategori label setengah matang. Sementara itu, untuk label setengah matang diprediksi berjumlah 15 dan tidak ada kesalahan prediksi. *Confusion matrix* digunakan untuk mengukur suatu kinerja hasil klasifikasi dengan akurasi yang diperoleh sebesar 97%.

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{\text{Total prediksi benar}}{\text{Banyaknya data}} * 100\% \\
 &= \frac{44}{45} * 100\% \\
 &= 97\%
 \end{aligned}$$

Confusion matrix for KNN_Tomatku (showing number of instances)

| | | Predicted | | | Σ |
|--------|--------|-----------|--------|-------|----|
| | | Matang | Mentah | Set M | |
| Actual | Matang | 15 | 0 | 0 | 15 |
| | Mentah | 0 | 14 | 1 | 15 |
| | Set M | 0 | 0 | 15 | 15 |
| Σ | | 15 | 14 | 16 | 45 |

Gambar 16. Hasil *confusion matrix*

F. Hasil Uji Motor Servo

TABLE 3. HASIL UJI SERVO

| Data uji | TCS 3200 value | | | Warna terdeteksi | Sudut servo | | | Ket |
|----------|----------------|-----|-----|------------------|-------------|-----|------|-------|
| | R | G | B | | 1° | 70° | 130° | |
| Mentah | 83 | 89 | 84 | Mentah | ✓ | - | - | Benar |
| Setmntng | 50 | 72 | 82 | Setmntng | - | ✓ | - | Benar |
| Matang | 97 | 129 | 112 | Matang | - | - | ✓ | Benar |
| Matang | 96 | 128 | 114 | Matang | - | - | ✓ | Benar |
| Mentah | 84 | 82 | 75 | Mentah | ✓ | - | - | Benar |
| Setmntng | 53 | 77 | 82 | Setmntng | - | ✓ | - | Benar |
| Matang | 86 | 139 | 114 | Matang | - | - | ✓ | Benar |
| Mentah | 77 | 84 | 86 | Setmntng | - | ✓ | - | Salah |
| Setmntng | 51 | 71 | 79 | Setmntng | - | ✓ | - | Benar |
| Matang | 98 | 131 | 111 | Matang | - | - | ✓ | Benar |
| Mentah | 64 | 76 | 78 | Mentah | ✓ | - | - | Benar |
| Setmntng | 54 | 76 | 83 | Setmntng | - | ✓ | - | Benar |
| Setmntng | 46 | 65 | 70 | Setmntng | - | ✓ | - | Benar |
| Matang | 97 | 132 | 106 | Matang | - | - | ✓ | Benar |
| Mentah | 82 | 90 | 89 | Mentah | ✓ | - | - | Benar |

Pada table 3 menampilkan hasil uji ada komponen utama yaitu sensor warna TCS3200, dengan output LCD 16x2 dan servo motor. Pada 15 data uji tersebut sensor warna berhasil menangkap nilai RGB dan mengirim data tersebut ke LCD, dengan nilai RGB yang sudah didapatkan sistem pada mikrokontroler untuk mengklasifikasikan objek tersebut sesuai tingkat kematangannya dan menampilkan hasilnya pada LCD 16x2. Sudut motor servo dikendalikan berdasarkan tempat penyimpanan tomat sesuai dengan tingkat kematangannya, dimana sudut 1 derajat adalah sudut tempat penyimpanan tomat mentah, 70 derajat setengah matang, dan 130 derajat untuk tomat matang. 15 data uji berhasil memberikan output kepada komponen dengan tingkat akurasi 93%.

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{\text{Total prediksi benar}}{\text{Banyaknya data}} * 100\% \\
 &= \frac{14}{15} * 100\% \\
 &= 93\%
 \end{aligned}$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari pengujian beserta komponen elektronika pada sistem rancang bangun alat sortir buah tomat otomatis menggunakan metode KNN, dapat disimpulkan bahwa dari 30 data latih dan 15 data uji, nilai K 5 memperoleh akurasi persentase terbanyak yaitu 100%. Oleh karena itu, nilai K 5 dapat dimanfaatkan untuk sistem klasifikasi tingkat kematangan tomat berdasarkan fitur warna RGB. Untuk hasil klasifikasi warna tomat antara data aktual dengan data prediksi dengan tiga kategori kelas yaitu mentah, setengah matang, matang dengan total keseluruhan 45 data mendapatkan akurasi sebesar 97%. Pengujian motor servo terhadap hasil yang telah dideteksi oleh sensor TCS3200 mendapatkan akurasi 93%, intensitas cahaya dan jarak tomat ke sensor TCS3200 mempengaruhi output sensor sehingga perlu memperhatikan kondisi dan jarak agar konsisten. Untuk pengembangan sistem selanjutnya diharapkan peneliti dapat mengoptimalkan sensor warna untuk meningkatkan akurasi lebih tinggi lagi dengan menerapkan sistem berbasis *internet of things* pada sistem kontrol perangkat lunak agar lebih responsive serta bermanfaat pada kemajuan teknologi.

REFERENSI

- [1] A. Z. Seknun *et al.*, "Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Tomat Dengan Variasi Model Warna Menggunakan Support Vector Machine," *Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan*, vol. 1, no. 2, pp. 203–210, 2023, [Online]. Available: <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/logic>
- [2] L. Hernando, Ikhsan, A. Avaldo, and Ismael, "Implementasi Fuzzy Logic pada Alat Pemisah Buah Tomat," *JURNAL SAINS DAN INFORMATIKA*, vol. VII, no. 2, pp. 55–61, 2022, doi: 10.22216/jsi.v8i2.1637.
- [3] B. Samudra, I. Aprilia, and Misdiyanto, "Rancang Bangun Alat Pemisah Buah Tomat Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Cahaya," *TESLA*, vol. 23, pp. 11–23, 2021.
- [4] J. Rusman and N. Pasae, "Prototype Sistem Penyortir Buah Kopi Arabika Berdasarkan Tingkat Kematangan Menggunakan Metode Support Vector Machine," *TEKNIKA*, vol. 12, no. 1, pp. 65–72, Mar. 2023, doi: 10.34148/teknika.v12i1.602.
- [5] S. M. Maharani, Y. Sofyan, and A. R. Ai Tahtawi, *Rancang Bangun Mesin Sortir Buah Tomat Berdasarkan Tingkat Kematangan Dengan Metode Neural Networks*. 2022.
- [6] R. Siskandar, N. A. Indrawan, B. Rifa Kusumah, and S. Husen Santosa, "Penerapan Rekayasa Mesin Sortir Sebagai Penentu Kematangan Buah Jeruk dan Tomat Merah Berbasis Image Processing," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 9, pp. 222–236, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9.i3.222-236.
- [7] M. J. Zebua, T. K. Suharsi, and M. Syukur, "Studi Karakter Fisik dan Fisiologi Buah dan Benih Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) Tora IPB Physical Characteristic and Physiology of Tomatto Fruit and Seed (*Solanum lycopersicum* L.) Tora IPB," *Bul. Agrohorti*, vol. 7, no. 1, pp. 69–75, 2019.
- [8] A. Hanafie, S. Baco, and Kamarudding, "Perancangan Alat Penyortir Buah Tomat Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknologi Komputer*, vol. 01, pp. 24–31, 2021.
- [9] H. Mubarak, S. Murni, and M. M. Santoni, "Penerapan Algoritma K-Nearest Neighbor untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Tomat Berdasarkan Fitur Warna," *Seminar Nasional Mahasiswa Ilmu Komputer dan Aplikasinya (SENAMIKA) Jakarta-Indonesia*, pp. 773–782, 2021.
- [10] P. Putra, A. M. H. Pardede, and S. Syahputra, "Analisa Metode K-Nearest Neighbour (KNN) Dalam Klasifikasi Data Iris Bunga," *Jurnal Teknik Informatika Kaputama (JTIK)*, vol. 6, no. 1, pp. 300–305, 2022.
- [11] P. Putra, A. M. H. Pardede, and S. Syahputra, "Analisa Metode K-Nearest Neighbour (KNN) Dalam Klasifikasi Data Iris Bunga," *Jurnal Teknik Informatika Kaputama (JTIK)*, vol. 6, no. 1, pp. 298–305, 2022.
- [12] R. Laszlo, R. Holonec, L. Grindei, and O. Viman, "Automated Sorting of Pharmaceutical Waste using Machine Vision Technology," 2022.
- [13] "Rancang Bangun Alat Sortir Panen Ikan Lele Berbasis Arduino Uno R3," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, pp. 1204–1218, 2022.
- [14] I. D. M. Subrata, A. Z. Ramadhan, and A. Sutejo, "Pengembangan Sistem Pendeteksi Mutu Buah Tomat Cherry Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Optis TCS230," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 10, no. 2, pp. 179–183, Sep. 2022, doi: 10.29303/jrpb.v10i2.389.
- [15] D. Nurhikma, "Skripsi Identifikasi Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Layak Panen Dengan Metode K-Nearest Neighbor Menggunakan Sensor Warna," 2023.
- [16] R. Umar, I. Riadi, and D. A. Farook, "Komparasi Image Matching Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (KNN) dan Metode Support Vector Machine (SVM)," *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, vol. 4, pp. 127–131, 2020.