

Sistem Pemilah Otomatis Tingkat Kematangan Buah Kelapa Sawit Menggunakan Metode Logika Fuzzy Mamdani Dan Sensor TCS3200

Salma Salsabilla, Irma Nirmala*, Tedy Rismawan

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Prodi Rekayasa Sistem Komputer, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

Email: ¹salmalsabilla@student.untan.ac.id, ^{2,*}irma.nirmala@siskom.untan.ac.id, ³tedyrismawan@siskom.untan.ac.id

Email Penulis Korespondensi: irma.nirmala@siskom.untan.ac.id

Submitted: 19/10/2023; Accepted: 29/11/2023; Published: 30/11/2023

Abstrak—Sektor kelapa sawit memainkan peran strategis dalam pembangunan ekonomi Indonesia karena buah dari kelapa sawit menghasilkan minyak yang dapat berguna sebagai sumber bahan bakar alternatif, minyak makanan, dan bahan dasar untuk berbagai industri. Saat ini, buah kelapa sawit dipilah secara manual berdasarkan warnanya, yang membutuhkan waktu relatif lebih lama. Maka dari itu, dirancang suatu sistem untuk mengklasifikasikan buah kelapa sawit menurut tingkat kematangannya. Sensor TCS3200 pada sistem digunakan sebagai sensor utama untuk mendeteksi warna pada buah kelapa sawit dan mengimplementasikan metode logika *fuzzy* mamdani untuk mengklasifikasikannya. Arduino Uno dapat mengontrol komponen-komponen perangkat keras yang digunakan pada sistem. Data yang didapat dari nilai warna RGB (*red*, *green*, *blue*) yang diperoleh oleh sensor TCS3200 digunakan sebagai input dalam sistem. Sementara itu, hasil yang didapatkan dari sistem ini menunjukkan buah kelapa sawit yang telah diklasifikasikan menjadi 3 kategori yaitu mentah, matang dan lewat matang. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan *confusion matrix*, nilai akurasi yang didapat sebesar 95,6%.

Kata Kunci: Sawit; *Fuzzy* Mamdani; Arduino; TCS3200; RGB

Abstract—The palm oil sector has a strategic impact on the growth of Indonesia's economy, because the fruit of palm oil produces oil which can be used as alternative fuel, food oil and basic materials for various industries. Currently, oil palm fruit is sorted manually based on color, which takes much longer. As a result, a system was created to categorize oil palm fruit according to their state of maturity. This system uses the TCS3200 sensor as the main sensor to detect the color of oil palm fruit and implements the Mamdani fuzzy logic method to classify it. Arduino Uno can control the hardware components used in the system. Data obtained from RGB color values (red, green, blue) obtained by the TCS3200 sensor is used as input in the system. Meanwhile, the outcomes this system produced are in the form of maturity levels of oil palm fruit which are classified into 3 categories, namely unripe, ripe and past ripe. Based on tests carried out with the confusion matrix, the accuracy value obtained was 95.6%.

Keywords: Palm; Mamdani Fuzzy; Arduino; TCS3200; RGB

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang perkembangannya didukung oleh sektor perkebunan. Perkebunan memiliki peran penting dalam menciptakan lapangan pekerjaan, mendukung ekspor, dan mendukung pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan [1]. Di antara semua produk ekspor ini, kelapa sawit adalah yang paling unggul. Hal ini terlihat dari meningkatnya perluasan perkebunan kelapa sawit di berbagai macam kawasan daerah yang ada di Indonesia, karena permintaan untuk minyak kelapa sawit sebagai komponen dasar dalam perindustrian dan makanan di negara-negara tujuan ekspor semakin meningkat. Hal ini karena minyak sawit memiliki keuntungan dalam hal harganya yang lebih murah dibandingkan dengan minyak dari bahan lain yaitu seperti minyak lobak, kedelai, dan bunga matahari. Minyak dihasilkan oleh buah kelapa sawit. Kandungan minyak pada buah kelapa sawit akan bertambah sesuai kematangannya. Bila belum matang buah berwarna hitam kemudian menjadi merah bila telah matang. Selain dapat berperan sebagai bahan bakar alternatif pada biodiesel, minyak dari buah kelapa sawit juga bisa digunakan sebagai minyak makanan, dan bahan dasar industri yang diantaranya yaitu industri sabun, industri lilin dan industri kosmetik [2].

Parameter lain yang digunakan untuk mempertimbangkan dalam mengklasifikasikan buah kelapa sawit yang siap untuk dipanen adalah jumlah pohon yang telah mencapai tingkat kematangan panen dan brondolan yang telah terlepas dari tandan. Kriteria kematangan buah kelapa sawit bisa dibedakan melalui tampilan warna buah. Kualitas pada buah kelapa sawit memiliki pengaruh yang besar terhadap rendemen minyak atau presentase minyak kelapa sawit yang dapat diekstraksi untuk mengukur efisiensi dan produktivitas dari proses pengolahan yang akan menghasilkan minyak kelapa sawit. Semakin tinggi rendemen minyak, maka semakin efisien proses pengolahan dan semakin besar minyak kelapa sawit yang dapat diperoleh dari jumlah buah yang dipanen [3].

Beberapa pabrik kelapa sawit saat ini menentukan kematangan buah kelapa sawit masih dengan cara manual yaitu dengan melakukan pemilahan satu persatu berdasarkan warna buah. Namun, metode ini seringkali menghasilkan hasil yang kurang akurat dan memerlukan waktu yang relatif lama. Pemilahan yang dilakukan secara manual ini juga dapat menimbulkan variasi dalam penentuan tingkat kematangan buah yang dapat mempengaruhi kualitas hasil produksi [4]. Sehingga, dengan adanya penelitian ini pabrik dapat meningkatkan produktivitas dengan sistem yang mampu memilah buah kelapa sawit menurut kematangannya.

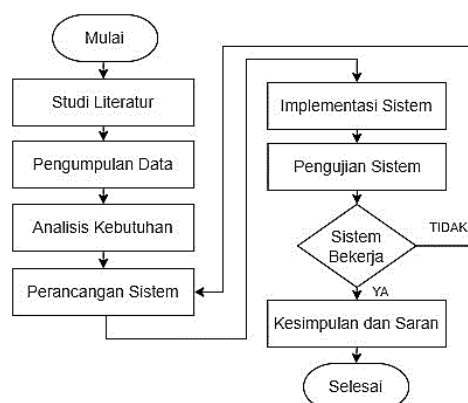
Klasifikasi adalah cara untuk mengelompokkan objek berdasarkan karakteristik yang dimilikinya. Dalam pelaksanaannya, klasifikasi bisa dilakukan melalui berbagai cara, yaitu secara manual maupun dengan dukungan teknologi [5]. Salah satu metode yang bisa diterapkan untuk klasifikasi adalah logika *fuzzy*. Metode logika *fuzzy* ialah hasil penyempurnaan dari logika biner dengan berdasarkan sebuah prinsip bahwa segala hal memiliki tingkatan derajat. Secara umum logika *fuzzy* merupakan penalaran terhadap suatu data yang memungkinkan nilai nilainya tidak tegas. Konsep dari logika *fuzzy* memiliki tingkat fleksibilitas tinggi dan toleransi terhadap pengolahan data yg kurang akurat. Metode mamdani merupakan metode yang dapat lebih mudah dipahami secara konseptual dan dapat menyesuaikan perhitungan yang lebih baik pada penyajian hasil keluaran dalam format statistik [6].

Penelitian terkait tentang pengolahan citra menggunakan citra warna RGB terhadap buah kelapa sawit pernah dilakukan sebelumnya oleh Ritonga pada tahun 2019 yaitu tentang penggunaan pengolahan citra digital dalam mengklasifikasikan tandan buah segar (TBS) pada kelapa sawit menurut kematangannya. Terdapat tiga kategori TBS yang diidentifikasi, yaitu TBS matang, TBS setengah matang, dan TBS mentah. Fitur yang dianalisis meliputi komponen warna RGB dan HSI yang diekstraksi melalui pemrosesan citra [7]. Penelitian terkait tentang implementasi logika *fuzzy* mamdani dan sensor TCS3200 sebelumnya pernah dilakukan Zulkarnain tahun 2019 yang bertujuan untuk merancang sebuah perangkat yang dapat mengenali warna menggunakan sensor TCS3200 [8]. Penelitian terkait tentang identifikasi buah kelapa sawit berdasarkan warna RGB juga pernah dilakukan sebelumnya oleh Himmah tahun 2020 menggunakan algoritma K-Means Clustering dalam memanfaatkan pengolahan citra digital menggunakan informasi warna dari model RGB dan model HSV [9]. Penelitian terkait lainnya yaitu tentang mengklasifikasikan kematangan buah sawit dengan memanfaatkan model warna RGB oleh Salambue tahun 2019. Pada penelitian ini, citra buah sawit yang diperoleh dari kamera digunakan untuk mengekstraksi informasi mengenai nilai warna dengan memanfaatkan model RGB dan menghitung ukuran pada spektrum elektromagnetik yang terdapat pada buah [10].

Penelitian terkait lainnya tentang mendeteksi kematangan pada buah kelapa sawit dengan memanfaatkan algoritma *K-Means* oleh Sari tahun 2022. Dalam penelitian ini, dilakukan dengan membagi tandan buah segar kelapa sawit menjadi 4 tahapan kematangan [11]. Penelitian terkait lainnya tentang mengimplementasikan fuzzy inference system mamdani pada prediksi jumlah produksi minyak kelapa sawit oleh Maibang tahun 2019. Penelitian ini menggunakan logika fuzzy mamdani dengan perangkat lunak matlab dalam pengambilan keputusan penentuan jumlah produksi [12]. Data sensor yang digunakan yaitu nilai warna RGB (*Red, Green, Blue*). Penelitian tersebut diharapkan dapat membantu dalam proses pemilahan secara otomatis sehingga dapat memberikan kontribusi yang signifikan pada industri kelapa sawit dalam meningkatkan kualitas produksi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini menjelaskan mengenai alur penelitian. Adapun alur penelitian ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem dan pengujian. Pada Gambar 1 terdapat tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan guna mendapatkan landasan teoritis yang dibutuhkan dan informasi atau data relevan yang berkaitan dengan sistem yang merancang alat untuk memilah suatu objek dan logika *fuzzy*. Studi literatur yang dikumpulkan berasal dari artikel, buku dan wawancara yang berhubungan dengan topik penelitian.

1. Buah Kelapa Sawit

Kelapa sawit termasuk salah satu tanaman yang terdapat dalam kategori jenis tanaman plasma. Tanaman ini tumbuh dengan mudah di berbagai kawasan yang beriklim tropis yaitu seperti di Indonesia dan daerah tropis lainnya. Buah kelapa sawit yang unggul ialah buah yang dipanen ketika telah mencapai fase kematangan

yang telah sesuai [9]. Bagian dari tanaman kelapa sawit yang memproduksi minyak terdapat pada buahnya. Kematangan buah yang digunakan sebagai kriteria matang diperkebunan adalah lepasnya buah secara alami atau disebut "membrondol". Buah yang terlepas dari tandan disebut "brondolan". Buah kelapa sawit memiliki beragam warna mulai dari warna hitam, coklat, hingga merah. Namun secara umum, buah sawit berwarna kemerahan, dan tumbuh dalam tandan besar. Kandungan minyak yang dihasilkan oleh setiap buah kelapa sawit akan meningkat sesuai dengan tingkat kematangan buah [2].

2. Arduino Uno

Arduino Uno ialah sebuah platform yang memanfaatkan mikrokontroler dengan menggunakan chip ATmega328P sebagai basisnya [13]. Pada penelitian ini, Arduino Uno berguna untuk mengontrol beberapa perangkat keras seperti sensor warna TCS3200, motor servo SG90, dan LCD.

3. Sensor TCS3200

Sensor TCS3200 ialah sensor yang berguna untuk mengidentifikasi suatu objek atau warna yang di monitor. Sensor TCS3200 dapat mendeteksi pergerakan suatu *object* melalui perbedaan warna yang didapat oleh sensor [14]. TCS3200 adalah sebuah perangkat konversi yang terintegrasi dalam IC CMOS *monolithic* dan dapat mengubah arus menjadi frekuensi dan mengubah warna menjadi sinyal frekuensi melalui pengaturan *silicon photodiode*. TCS3200 menghasilkan frekuensi gelombang kotak (*duty cycle 50%*) yang berubah sesuai tingkatan cahaya yang diterima [15]. Masing-masing dari keempat kelompok fotodiode yang menyusun sensor TCS3200 memiliki tingkat kepekaan yang berbeda terhadap respon kelompok lain terhadap panjang gelombang cahaya yang dipindai [16]. Pada penelitian ini, sensor TCS3200 berguna sebagai pendeteksi warna pada buah kelapa sawit.

4. Motor Servo

Dalam konteks robotika, biasanya digunakan dua tipe motor servo, yakni terdapat motor servo dengan tipe standar dan motor servo dengan tipe kontinu. Motor servo dengan tipe standar memiliki kemampuan terbatas untuk berotasi sebanyak 180 derajat [17]. Penelitian ini menggunakan motor servo untuk mengarahkan buah menuju wadah sesuai dengan tingkat kematangannya.

5. Modul LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) berguna untuk menyajikan informasi yang diinginkan. LCD menggunakan kristal cair pada layarnya yang dapat diatur menggunakan listrik untuk membentuk tampilan angka dan/atau huruf [18].

6. Confussion Matrix

Confusion matrix berfungsi untuk mengukur kinerja model klasifikasi dalam konteks klasifikasi biner (dua kelas) dan klasifikasi multikelas (lebih dari dua kelas). *Confusion matrix* menggambarkan tentang hasil klasifikasi yang terdapat pada setiap kelas dan melakukan perbandingan dengan nilai yang sesungguhnya [19]. *Accuracy* (akurasi) adalah ukuran yang menggambarkan rasio prediksi yang tepat (positif dan negatif) terhadap keseluruhan data. Akurasi dapat didefinisikan dengan kemampuan menilai sebuah prediksi yang mendekati nilai aktual [20]. Perhitungan untuk mencari nilai akurasi pada *matrix* 3x3 dapat dilihat pada persamaan 1 [21].

$$Accuracy = \frac{AA+BB+CC}{AA+AB+AC+BA+BB+BC+CA+CB+CA} \times 100\% \quad (1)$$

7. Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* ialah bagian dari logika yang memanfaatkan derajat keanggotaan yang terdapat dalam suatu himpunan sehingga penilaian tidak terbatas pada kondisi benar atau salah. Pada umumnya, Logika *fuzzy* diimplementasikan pada suatu kasus yang melibatkan unsur tidak pasti. Metode mamdani juga disebut dengan metode *maximum-minimum*. Untuk menghasilkan sebuah *output*, terdapat 4 tahapan yang diperlukan yaitu dimulai dari membentuk himpunan *fuzzy*, lalu mengaplikasikan fungsi implikasi dengan penggunaan fungsi *min*, lalu komposisi aturan dengan penggunaan fungsi *max* dan operator *OR*, kemudian melakukan defuzzifikasi menggunakan centroid kontinu [22].

2.2 Pengumpulan Data

Data diperoleh melalui pengamatan langsung pada kebun kelapa sawit yang terletak di Kecamatan Sebawi, Kabupaten Sambas. Data yang dihasilkan melalui observasi dan wawancara dari pemilik kebun kelapa sawit dijadikan acuan dalam penelitian ini. Kemudian dilakukan uji coba sampel dari warna buah kelapa sawit yaitu buah mentah, matang dan lewat matang. Selain itu, pengumpulan data juga dilakukan dengan mencari sumber dari buku, jurnal dan artikel terkait.

2.3 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan yang dilakukan pada tahap ini diperlukan untuk mengembangkan sistem. Analisis yang dilakukan dalam pembuatan sistem mencakup analisis kebutuhan untuk perangkat keras dan juga perangkat lunak. Kebutuhan perangkat lunak yang diperlukan yaitu Arduino IDE yang berfungsi sebagai media untuk menulis kode pada *board* program yang diinginkan. Adapun beberapa kebutuhan perangkat keras yang digunakan yaitu:

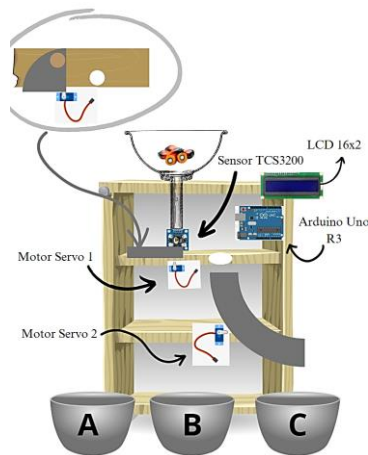
1. Arduino Uno untuk membuat program dan mengendalikan komponen-komponen lainnya.
2. Sensor TCS3200 untuk mendeteksi intensitas cahaya pada warna obyek.
3. Motor Servo untuk memutar objek menggunakan kontrol dengan ketepatan tinggi dalam hal posisi sudut dan kecepatan.
4. LCD 16x2 untuk menampilkan informasi berupa hasil yang didapat dari sistem.

2.4 Perancangan Sistem

Langkah ini dilakukan untuk merancang sebuah sistem yang dapat mengklasifikasikan buah sawit berdasarkan tingkat kematangannya dengan menggunakan metode logika *fuzzy* dan sensor warna TCS3200.

2.4.1 Deskripsi Sistem

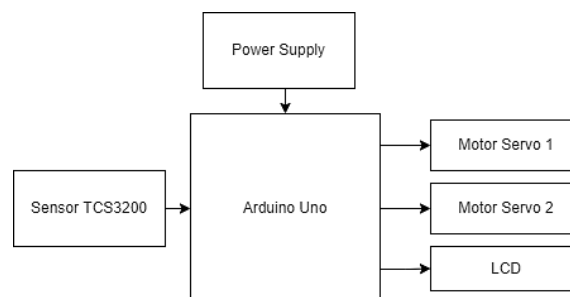
Dalam sistem pemilah ini terdapat sensor utama yaitu sensor warna TCS3200. Sensor warna TCS3200 mengirimkan data hasil pembacaan warna ke Arduino. Lalu, data tersebut di proses di Arduino menggunakan metode logika *fuzzy* dan mengklasifikasikannya berdasarkan warna tingkat kematangan. Kemudian motor servo akan mengarahkan menuju wadah sesuai data yang diolah oleh Arduino. *Output* dari sistem ini terdiri dari 3 kategori yaitu mentah, matang dan lewat matang. Pada Gambar 2 terdapat sebuah perancangan sistem yang dilakukan pada penelitian.



Gambar 2. Perancangan Sistem Pemilah Otomatis Tingkat Kematangan Buah Sawit Menggunakan Metode Logika Fuzzy Mamdani Dan Sensor TCS3200

2.4.2 Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem dibangun menggunakan diagram blok sistem dan mengidentifikasi komponen yang diperlukan untuk sistem. Dalam sistem pemilah ini terdapat sensor utama yaitu sensor warna TCS3200. Sensor warna TCS3200 mengirimkan data hasil pembacaan warna ke Arduino. Lalu, data tersebut di proses di Arduino menggunakan metode logika *fuzzy* dan mengklasifikasikannya berdasarkan warna tingkat kematangan. Kemudian motor servo akan mengarahkan menuju wadah sesuai data yang diolah oleh Arduino. Dengan demikian, proses dalam pembuatan alat dapat sesuai seperti yang diinginkan. Pada Gambar 3 terdapat diagram blok sistem penelitian.

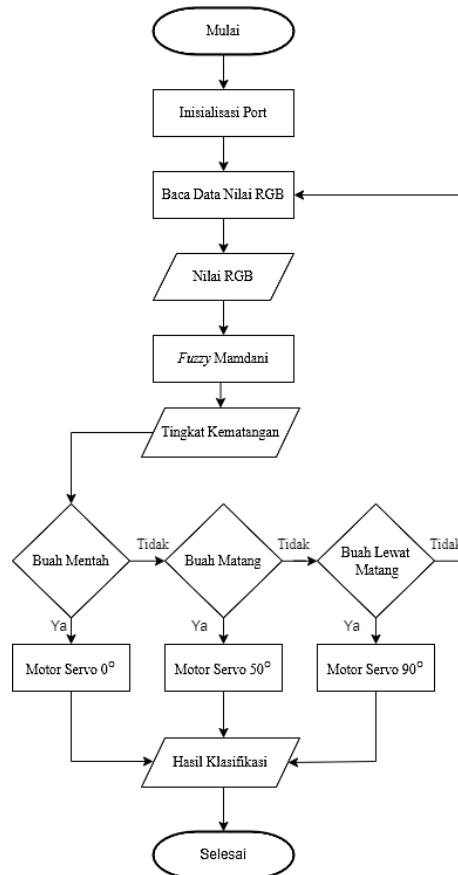


Gambar 3. Perancangan Arsitektur Sistem

2.4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada tahapan ini lunak terdapat alur kerja pada mikrokontroler Arduino uno, dan sistem pemilahan buah menggunakan sensor TCS3200. Tahapan awal pada *flowchart* yang menjelaskan alur kerja Arduino yaitu dengan inialisasi *port* yang digunakan. Alur selanjutnya yaitu baca data sensor warna TCS3200. Pada baca nilai RGB

maka diperoleh *output* berupa nilai RGB. Setelah pembacaan sensor, maka data yang di dapat diteruskan ke motor servo. Jika *output* dari nilai RGB yang didapat berupa mentah, maka motor servo berputar sebanyak 0°. Jika *output* dari nilai RGB yang didapat berupa matang, maka motor servo berputar sebanyak 50°. Jika *output* dari nilai RGB yang didapat berupa lewat matang, maka motor servo berputar sebanyak 90°. Pada Gambar 4 terdapat alur kerja yang menggambarkan sistem dalam penelitian.



Gambar 4. Flowchart Alur Kerja Sistem Pada Arduino Uno R3

2.4.4 Perancangan Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani

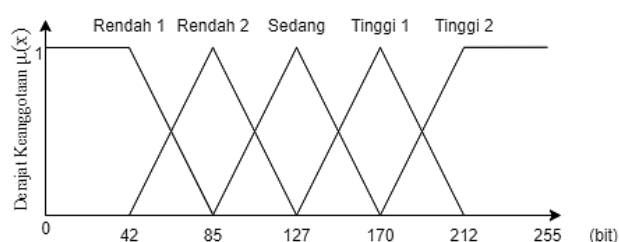
a. Fuzzifikasi

Pada sistem ini, digunakan variabel *input* yang berupa *red*, *green* dan *blue*, sedangkan variabel *output* berupa keputusan tingkat kematangan buah kelapa sawit. Pada Tabel 1 terdapat himpunan keanggotaan variabel *input red*.

Tabel 1. Himpunan Keanggotaan Fuzzy (Red)

Fungsi	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain
Red	Rendah 1	0 - 255	0 – 85
	Rendah 2		42 – 127
	Sedang		85 – 170
	Tinggi 1		127 – 212
	Tinggi 2		170 – 255

Pada Gambar 5 terdapat kurva variabel *input red*.



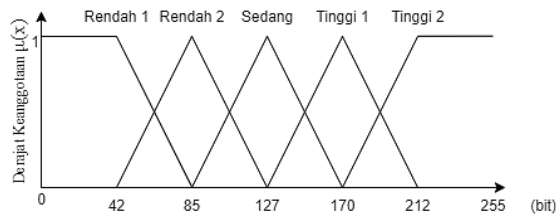
Gambar 5. Kurva Variabel Input Red

Pada Tabel 2 terdapat himpunan keanggotaan variabel *input green*.

Tabel 2. Himpunan Keanggotaan *Fuzzy (Green)*

Fungsi	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain
<i>Green</i>	Rendah 1	0 - 255	0 – 85
	Rendah 2		42 – 127
	Sedang		85 – 170
	Tinggi 1		127 – 212
	Tinggi 2		170 – 255

Pada Gambar 6 terdapat kurva variabel *input green*.



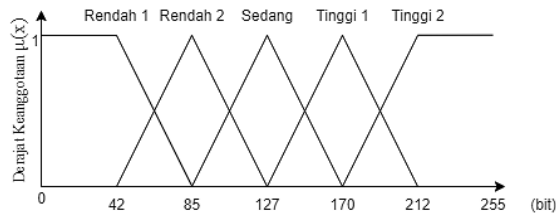
Gambar 6. Kurva Variabel *Input Green*

Pada Tabel 3 terdapat himpunan keanggotaan variabel *input blue*.

Tabel 3. Himpunan Keanggotaan *Fuzzy (Blue)*

Fungsi	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain
<i>Blue</i>	Rendah 1	0 - 255	0 – 85
	Rendah 2		42 – 127
	Sedang		85 – 170
	Tinggi 1		127 – 212
	Tinggi 2		170 – 255

Pada Gambar 7 terdapat kurva variabel *input blue*.



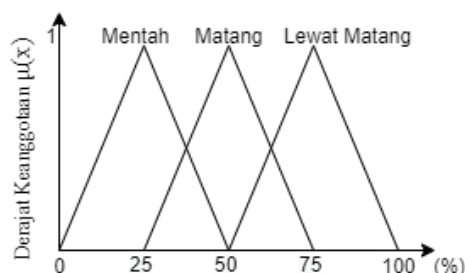
Gambar 7. Kurva Variabel *Input Blue*

Pada Tabel 4 terdapat himpunan keanggotaan variabel *output*.

Tabel 4. Himpunan Keanggotaan *Fuzzy (Output)*

Fungsi	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain
<i>Output</i>	Mentah	0 - 100	0 – 50
	Matang		25 – 75
	Lewat Matang		50 – 100

Pada Gambar 8 terdapat kurva variabel *output*.



Gambar 8. Kurva Variabel *Output*

b. Fungsi Implikasi

Berdasarkan fungsi keanggotaan pada sistem pemilah tingkat kematangan buah kelapa sawit ini, maka terbentuk 8 aturan. Aturan tersebut didapatkan dari gradasi nilai R, G dan B yang menghasilkan warna buah kelapa sawit. Fungsi implikasi yang diterapkan pada penelitian ini adalah fungsi *min*. Pada Tabel 5 terdapat aturan-aturan yang terbentuk dari variabel variabel yang digunakan.

Tabel 5. *Rules Fuzzy*

No	Keterangan	R	G	B
1	Mentah	Rendah 1	Rendah 1	Rendah 1
2	Matang	Sedang	Rendah 1	Rendah 1
3	Matang	Sedang	Rendah 2	Sedang
4	Matang	Tinggi 1	Rendah 2	Rendah 2
5	Matang	Tinggi 2	Rendah 1	Rendah 1
6	Lewat Matang	Tinggi 2	Rendah 2	Rendah 1
7	Lewat Matang	Tinggi 2	Tinggi 1	Rendah 1
8	Lewat Matang	Tinggi 2	Tinggi 1	Rendah 2

c. Komposisi Aturan

Komposisi aturan dihasilkan dari variabel yang terdapat pada *output* setelah mengintegrasikan setiap nilai yang diberikan pada variabel *input*. Dalam metode Mamdani, komposisi aturan yang digunakan ialah metode *max*, kemudian mengaplikasikannya untuk mengubah daerah himpunan *fuzzy* yang selanjutnya akan diselesaikan menggunakan defuzzifikasi.

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dilakukan guna mendapatkan nilai tegas dari himpunan *fuzzy*. Hasil dari tahap defuzzifikasi ialah suatu nilai pada himpunan *fuzzy* yang muncul melalui penggabungan aturan yang terbentuk pada *fuzzy*, sementara keluaran yang dihasilkan adalah angka yang terletak dalam domain himpunan *fuzzy* tersebut. Tujuannya adalah untuk mendapatkan nilai konkret sebagai *output* ketika suatu himpunan *fuzzy* diberikan dalam rentang tertentu.

2.5 Implementasi

Perancangan sistem yang sudah dibuat kemudian diimplementasikan menjadi sebuah sistem secara keseluruhan. Langkah awal dimulai dengan mengimplementasikan perangkat keras yang menghubungkan seluruh komponen pada sistem. Kemudian perangkat lunak diterapkan dengan membuat kode program yang ditanamkan pada perangkat keras agar sistem dapat bekerja dengan semestinya.

2.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem bertujuan guna memverifikasi dan memvalidasi bahwa sistem yang dikembangkan dapat bekerja sesuai dengan harapan dan melihat tingkat akurasi yang didapatkan. Tahap pengujian sistem meliputi pengujian sensor warna TCS3200 dan pengujian sistem secara keseluruhan.

2.7 Kesimpulan

Tahapan ini ialah penarikan kesimpulan yang mengandung jawaban dari pertanyaan pada rumusan masalah berdasarkan hasil pengujian sistem. Dari penarikan kesimpulan dapat diberikan saran yang sesuai dengan hasil penelitian agar pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbaikan yang sesuai dengan masalah.

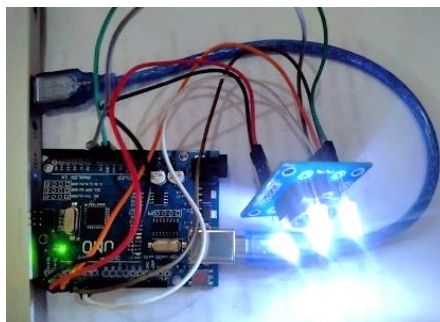
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Perangkat Keras

Pada langkah ini, komponen yang dirakit saling dihubungkan pada sistem sehingga dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Implementasi perangkat keras meliputi implementasi sistem pembacaan warna RGB, implementasi sistem kendali Motor Servo SG90 dan implementasi modul LCD.

3.1.1 Implementasi Sistem Pembacaan Warna RGB

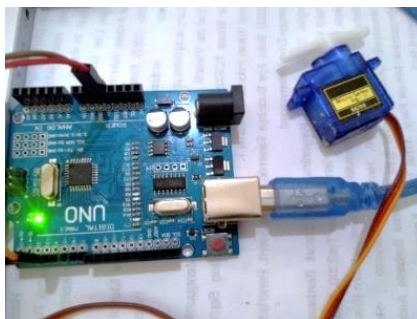
Komponen yang digunakan pada sistem pembacaan warna RGB yaitu sensor TCS3200 dan Arduino. Sensor TCS3200 digunakan untuk membaca warna buah pada kelapa sawit yang ada di dalam Sistem Pemilah Tingkat Kematangan Buah Kelapa Sawit. Sensor TCS3200 terhubung dengan Arduino yang ditempelkan tepat disamping kotak dimana sensor TCS3200 akan mendeteksi warna RGB dari buah kelapa sawit. Sensor TCS3200 memiliki keluaran *Red*, *Green* dan *Blue* yang akan di kode untuk memilah buah kelapa sawit berdasarkan tingkat kematangannya sesuai dengan ketentuan parameter yang telah ditetapkan pada tahap perancangan sistem. Pada Gambar 8 terdapat hasil implementasi dari sistem pembacaan warna RGB.



Gambar 8. Implementasi Sistem Pembacaan Warna RGB

3.1.2 Implementasi Sistem Kendali Motor Servo SG90

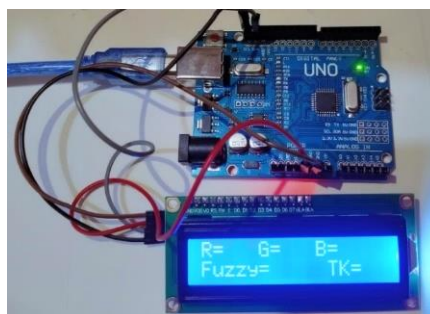
Komponen yang digunakan pada sistem kendali Motor Servo SG90 adalah Arduino yang dihubungkan dengan Motor Servo SG90. Motor Servo SG90 berfungsi sebagai penggerak agar buah kelapa sawit dapat diarahkan menuju wadah berdasarkan tingkat kematangannya. Di setiap motor servo terdapat 3 pin yaitu pin VCC, pin GND dan pin sinyal. Pada Gambar 9 terdapat hasil implementasi dari sistem kendali Motor Servo SG90.



Gambar 9. Implementasi Sistem Pembacaan Motor Servo SG90

3.1.3 Implementasi Modul LCD

Komponen yang digunakan ialah modul LCD I2C16x2. Data yang ditampilkan pada layar modul LCD yaitu nilai R(*red*), G(*green*), B(*blue*), hasil perhitungan *fuzzy*, dan tingkat kematangan yang dihasilkan berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy*. LCD I2C 16x2 memiliki 4 buah pin yang dihubungkan ke Arduino, yaitu pin GND pada LCD dihubungkan ke pin GND Arduino, pin VCC pada LCD dihubungkan ke pin 5V Arduino, pin SDA pada LCD dihubungkan ke pin SDA Arduino, dan pin SCL dihubungkan pada pin SCL Arduino. Pada gambar 10 terdapat hasil Implementasi modul LCD.



Gambar 10. Implementasi Modul LCD

3.2 Implementasi Perangkat Lunak

Langkah ini merupakan sebuah tahapan untuk membuat kode program agar sistem dapat membaca nilai sensor, mengendalikan perangkat keras yang terhubung ke komponen lainnya. Pada sistem ini terdapat kode program sistem pembacaan sensor warna, kode program sistem kendali Motor Servo SG90, kode program sistem pembacaan LCD dan penerapan metode logika *fuzzy* mamdani.

3.3 Pengujian Sistem




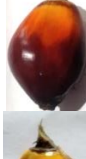


Tujuan dari langkah yang dilakukan pengujian sistem ialah untuk memverifikasi fungsi yang terdapat pada sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Tahapan pada pengujian yang dilakukan terdapat proses kalibrasi

sensor yang digunakan. Pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian sensor warna TCS3200, pengujian keseluruhan sistem dan pengujian *confusion matrix*.

3.3.1 Pengujian Sensor TCS3200

Pada pengujian sensor TCS3200, sensor akan mengidentifikasi nilai RGB buah kelapa sawit kemudian data hasil pembacaan sensor tersebut dikirimkan ke Arduino Uno untuk dilakukan klasifikasi sesuai parameter yang telah ditentukan dengan cara pengambilan sampel pada 30 buah kelapa sawit yang masing-masing terdiri dari 10 buah kelapa sawit pada setiap kategori yaitu mentah, matang, dan lewat matang. Kategori buah mentah memiliki warna yang kehitaman, kategori buah matang memiliki warna yang kemerahan, dan kategori buah lewat matang memiliki warna oren hingga kuning. Pada Tabel 6 terdapat contoh hasil pengambilan sampel terhadap pembacaan sensor TCS3200.

Tabel 6. Contoh hasil Pengambilan Sampel Sensor Warna TCS3200

Sampel	Gambar	R	G	B	Tingkat Kematangan
Ke-1		12	10	24	Mentah
Ke-2		38	37	24	Mentah
Ke-3		159	93	45	Matang
Ke-4		152	70	17	Matang
Ke-5		224	123	106	Lewat Matang
Ke-6		208	176	94	Lewat Matang

3.3.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Tahapan ini melakukan pengujian proses klasifikasi buah kelapa sawit secara keseluruhan yang berguna untuk memverifikasi kinerja sistem dapat mencapai hasil yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan dengan menggabungkan keseluruhan komponen yaitu Arduino Uno yang dihubungkan dengan sensor TCS3200, motor servo, dan LCD menggunakan metode logika *fuzzy*. Pada Tabel 7 terdapat contoh hasil pengujian sistem secara keseluruhan.

Tabel 7. Contoh hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Sampel	R	G	B	Output Fuzzy	Hasil Pembacaan Sistem	Jenis Buah Sebenarnya	Hasil Pengujian Fuzzy
Ke-1	75	46	21	25	Mentah	Mentah	Berhasil
Ke-2	151	124	97	50	Matang	Matang	Berhasil
Ke-3	205	183	92	75	Lewat Matang	Lewat Matang	Berhasil
Ke-4	118	123	100	50	Matang	Matang	Berhasil
Ke-5	201	143	65	75	Lewat Matang	Lewat Matang	Berhasil

Sampel	R	G	B	Output Fuzzy	Hasil Pembacaan Sistem	Jenis Buah Sebenarnya	Hasil Pengujian Fuzzy
Ke-6	137	125	98	50	Matang	Matang	Berhasil
Ke-7	68	50	62	25	Mentah	Matang	Tidak Berhasil
Ke-8	78	51	28	25	Mentah	Mentah	Berhasil
Ke-9	149	108	42	50	Matang	Lewat Matang	Tidak Berhasil
Ke-10	178	127	76	50	Matang	Matang	Berhasil

Arduino Uno R3 pada sistem ini berguna untuk mengendalikan sensor warna TCS3200, motor servo SG90 dan LCD. Dalam implementasinya, sensor warna TCS3200 akan mendeteksi warna RGB pada buah kelapa sawit, kemudian Arduino akan memproses nilai RGB untuk menentukan tingkat kematangannya menggunakan metode logika fuzzy mamdani. Setelah selesai melakukan proses identifikasi dan pengolahan data, maka motor servo akan bergerak sesuai output yang didapat dari proses tersebut. Adapun parameter warna RGB yang digunakan adalah rendah 1 (0 - 85), rendah 2 (42 - 127), sedang (85 - 170), tinggi 1 (127 - 212) dan tinggi 2 (170 - 255). Pada pengujian keseluruhan sistem didapatkan hasil bahwa sistem dapat mengklasifikasikan buah kelapa sawit berdasarkan tingkat kematangannya menggunakan logika fuzzy mamdani. Pengujian dilakukan pada 115 sampel buah kelapa sawit dengan menggunakan metode logika fuzzy mamdani untuk memverifikasi bahwa sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Dalam proses pengujian ini, diperoleh hasil sebanyak 5 buah yang tidak sesuai dengan jenis buah sebenarnya dari total pengujian 115 buah. Hal ini dikarenakan terdapat gradasi warna pada buah kelapa sawit yang akan mempengaruhi pada pembacaan nilai RGB sesuai dengan sisi buah kelapa sawit yang menghadap sensor warna TCS3200.

3.4 Pengujian Confusion Matrix

Pengujian confusion matrix digunakan untuk mengevaluasi akurasi hasil keseluruhan sistem. Confusion matrix menghasilkan metrik yang lebih detail, yang memungkinkan evaluasi yang lebih rinci tentang kinerja sistem dalam memprediksi dan mengklasifikasikan data. Pada penelitian ini, pengujian confusion matrix menggunakan variabel mentah, matang dan lewat matang yang didapat dari hasil pengujian keseluruhan sistem. Pada Tabel 8 terdapat pengujian confusion matrix.

Tabel 8. Pengujian Confusion Matrix

		Predicted		
		Mentah	Matang	Lewat Matang
Actual	Mentah	30	2	0
	Matang	1	50	1
	Lewat Matang	0	1	30

Berdasarkan Tabel 8, maka didapatlah hasil perhitungan akurasi, yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Accuracy &= \frac{30 + 50 + 30}{30 + 2 + 0 + 1 + 50 + 1 + 0 + 1 + 30} \times 100\% \\
 &= \frac{110}{115} \times 100\% \\
 &= 95,6\%
 \end{aligned}$$

Pengujian dilakukan pada 115 sampel buah kelapa sawit dengan menggunakan metode logika fuzzy mamdani. Dalam proses pengujian ini, diperoleh hasil sebanyak 5 buah yang tidak sesuai dengan jenis buah sebenarnya dari total pengujian 115 buah. Berdasarkan perhitungan tersebut, maka didapat hasil nilai accuracy sebesar 95,6%.

4. KESIMPULAN

Arduino Uno R3 pada sistem ini berguna untuk mengendalikan sensor warna TCS3200, motor servo SG90 dan LCD. Dalam implementasinya, sensor warna TCS3200 akan mendeteksi warna RGB pada buah kelapa sawit, kemudian Arduino akan memproses nilai RGB untuk menentukan tingkat kematangannya menggunakan metode logika fuzzy mamdani. Setelah selesai melakukan proses identifikasi dan pengolahan data, maka motor servo akan bergerak sesuai output yang didapat dari proses tersebut yaitu buah kelapa sawit mentah, matang atau lewat matang. Pada pengujian keseluruhan sistem didapatkan hasil bahwa sistem dapat mengklasifikasikan buah kelapa sawit berdasarkan tingkat kematangannya menggunakan logika fuzzy mamdani. Pengujian dilakukan pada 115 sampel buah kelapa sawit dengan menggunakan metode logika fuzzy mamdani untuk memverifikasi bahwa sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Dalam proses pengujian ini, diperoleh hasil sebanyak 5 buah yang tidak sesuai dengan jenis buah sebenarnya dari total pengujian 115 buah. Hal ini dikarenakan terdapat gradasi warna pada buah kelapa sawit yang akan mempengaruhi pada pembacaan nilai RGB sesuai dengan sisi buah

kelapa sawit yang menghadap sensor warna TCS3200. Dari pengujian yang dilakukan dengan penggunaan *confusion matrix*, akurasi yang didapat sebesar 95,6%.

REFERENCES

- [1] M. Silitonga, "Peranan Sektor Agroindustri Kepala Sawit dalam Mendukung Perekonomian di Sumater Utara," *J. Ilm. Kohesi*, vol. 3, no. 3, pp. 15–20, 2019.
- [2] Sulardi, *Buku Ajar Budidaya Kelapa Sawit*, no. January. 2022.
- [3] A. Nugroho, *Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit*, no. August. 2019.
- [4] M. N. Subahan, *Pengolahan Citra Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar (Tbs) Kelapa*. 2021.
- [5] D. A. N. Krisna and U. Salamah, "Perbandingan Algoritma Naïve Bayes Dan K-Nearest Neighbor Untuk Klasifikasi Berita Hoax Kesehatan Di Media Sosial Twitter," *J. Tek. Inform. Kaputama*, vol. 6, no. 2, pp. 836–845, 2022.
- [6] Hindarto and M. A. Rosid, *Buku Ajar Kecerdasan Buatan*. 2022.
- [7] A. Ritonga, A. A. Munawar, and I. S. Nasution, "Klasifikasi Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) menggunakan Pengolahan Citra Digital," *J. Ilm. Mhs. Pertan.*, vol. 8, no. 3, pp. 512–521, 2023.
- [8] I. Zulkarnain, M. Ramadhan, and B. Anwar, "Implementasi Alat Pendeteksi Warna Benda Menggunakan Fuzzy Logic dengan Sensor TCS3200 Berbasis Arduino," *J. Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD*, vol. 2, no. 2, pp. 106–117, 2019.
- [9] E. F. Himmah, M. Widyaningsih, and M. Maysaroh, "Identifikasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Warna RGB Dan HSV Menggunakan Metode K-Means Clustering," *J. Sains dan Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 193–202, 2020, doi: 10.34128/jsi.v6i2.242.
- [10] R. Salambue and M. Shiddiq, "Klasifikasi Kematangan Buah Sawit Menggunakan Model Warna RGB," *Semin. Nas. APTIKOM*, pp. 434–440, 2019.
- [11] W. E. Sari, M. Muslimin, A. Franz, and P. Sugiartawan, "Deteksi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit dengan Algoritme K-Means," *SINTECH (Science Inf. Technol. J.)*, vol. 5, no. 2, pp. 154–164, 2022, doi: 10.31598/sintechjournal.v5i2.1146.
- [12] C. P. P. Maibang and A. M. Husein, "Prediksi Jumlah Produksi Palm Oil Menggunakan Fuzzy Inference System Mamdani," *J. Teknol. dan Ilmu Komput. Prima*, vol. 2, no. 2, p. 19, 2019, doi: 10.34012/jutikomp.v2i2.528.
- [13] P. Y.M Bate, A. S. Wiguna, and D. A. Nugraha, "Sistem Penjemuran Otomatis Menggunakan Arduino Uno R3 Dengan Pendekatan Metode Fuzzy," *Kurawal - J. Teknol. Inf. dan Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 81–92, 2020, doi: 10.33479/kurawal.v3i1.306.
- [14] P. Narahawarin, B. G. Sudarsono, and J. Saputro, "Rancang bangun alat penyortir buah jeruk Berdasarkan warna dengan sensor TCS3200," *J. Sains dan Teknol. Widyaloka*, vol. 1, no. 2, pp. 213–217, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.amikwidyaloka.ac.id/index.php/jstekwid>
- [15] N. Latifah Husni *et al.*, "Pengaplikasian Sensor Warna Pada Navigasi Line Tracking Robot Sampah Berbasis Mikrokontroler," *J. Ampere*, vol. 4, no. 2, pp. 297–306, 2019.
- [16] Y. Afrillia, P. Rizky, M. Fhonna, M. R. Juliansyah, and T. M. Johan, "Alat Pemisah Warna Objek Berbasis Mikrokontroler," *TTS 4.0 J. Teknol. Terap. Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 41–54, 2020, [Online]. Available: https://ams.com/ger/content/download/250259/976005/file/TCS3200_Datasheet
- [17] R. Y. Endra, *Analisis Cara Kerja Sensor Ultrasonic Dan Motor Servo Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno Untuk Pengusir Hama Disawah Smart Room View project Fuzzy Inference System View project*, no. Juli. 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/347690066>
- [18] M. Ishomyl, Waluyo, and L. D. Mustafa, "Implementasi Wireless Sensor Network Pada Simulasi Peringatan Gempa Bumi Menggunakan Sensor SW-420," *J. JARTEL*, vol. 10, no. 1, pp. 38–44, 2020.
- [19] A. Rahim, K. Kusriani, and E. T. Luthfi, "Convolutional Neural Network untuk Kalasifikasi Penggunaan Masker," *Inspir. J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 10, no. 2, p. 109, 2020, doi: 10.35585/inspir.v10i2.2569.
- [20] M. E. Al Rivian and J. Suherman, "Penentuan Mutu Buah Pepaya California (*Carica Papaya L.*) Menggunakan Fuzzy Mamdani," *Elkha*, vol. 12, no. 2, p. 76, 2020, doi: 10.26418/elkha.v12i2.41164.
- [21] M. I. Fikri, T. S. Sabrila, and Y. Azhar, "Perbandingan Metode Naïve Bayes dan Support Vector Machine pada Analisis Sentimen Twitter," *Smatika J.*, vol. 10, no. 02, pp. 71–76, 2020, doi: 10.32664/smatika.v10i02.455.
- [22] A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, *Altien J. Rindengan Yohanes A.R. Langi*. 2019.