



Sistem Deteksi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berbasis Internet of Things (IoT) dan Telegram dengan Algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN)

Rety Alpizah¹, Yulisman^{*2}, Hendry Fonda³, Akhmad Zulkifli⁴

Email: ¹alpizah25@gmail.com, ²yulisman@htp.ac.id, ³fondaanda@gmail.com, ⁴zulkifli.akhmad@gmail.com

^{1,2,3,4}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Hang Tuah Pekanbaru

Diterima: 05 April 2020 | Direvisi: 05 Mei 2020 | Disetujui: 27 Mei 2020

©2020 Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer,
Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kesulitan dalam menentukan tingkat kematangan buah kelapa sawit secara visual di PT Agro Muara Rupit dengan mengembangkan sistem deteksi kematangan buah yang lebih akurat. Hal ini seringkali mengakibatkan hasil panen yang suboptimal, ada beberapa buah yang dipanen tidak selalu dalam keadaan matang. Akibatnya, hasil panen seringkali tidak optimal, berpotensi menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Untuk mengatasi masalah ini, metode penelitian yang digunakan meliputi pengumpulan data melalui wawancara, observasi, dan studi literatur. Sistem yang dikembangkan dirancang menggunakan sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi warna buah, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler NodeMCU. Data RGB yang diperoleh dari sensor akan dikalibrasi dan dianalisis menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* untuk menentukan tingkat kematangan berdasarkan data sampel warna yang terdeteksi. *Output* dari sistem ini akan dikirimkan kepada pengguna melalui aplikasi *Telegram*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi 85% dalam mendeteksi kematangan buah kelapa sawit, dengan nilai $K = 1$. Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan algoritma *K-Nearest Neighbor* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam mendeteksi kematangan buah kelapa sawit. Dengan demikian, sistem ini akan membantu mengoptimalkan hasil panen dan mengurangi kerugian akibat panen buah yang belum matang di PT Agro Muara Rupit.

Kata kunci: *Internet of Things, Kelapa Sawit, K-Nearest Neighbor, Node MCU, TCS3200, Telegram*

Internet of Things (IoT) and Telegram Based Palm Fruit Ripeness Detection System With K-Nearest Neighbor (K-NN) Algorithm

Abstract

This research aims to overcome the difficulty in determining the level of maturity of oil palm fruit visually at PT Agro Muara Rupit by developing a more accurate fruit maturity detection system. This often results in suboptimal harvest results, there are some fruits that are harvested not always in a ripe state. As a result, yields are often not optimal, potentially causing losses for the company. To solve this problem, the research methods used include data collection through interviews, observations, and literature studies. The developed system is designed using a TCS3200 color sensor to detect fruit color, which is then processed by a NodeMCU microcontroller. RGB data obtained from the sensor will be calibrated and analyzed using the K-Nearest Neighbor algorithm to determine the level of ripeness based on the detected color sample data. The output of this system will be sent to the user via the Telegram application, the test results show that the developed system has an accuracy rate of 85% in detecting the maturity of oil palm fruit, with a value of $K = 1$. The application of Internet of Things (IoT) technology and the K-Nearest Neighbor algorithm is expected to increase efficiency and accuracy in detecting the maturity of oil palm fruit. Thus, this system will help optimize crop yields and reduce losses due to harvesting of immature fruit at PT Agro Muara Rupit.

Keywords: *Internet of Things, Palm Oil, K-Nearest Neighbor, Node MCU, TCS3200, Telegram*

1. PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit dengan nama lain *Elaeis guineensis* jack adalah tanaman tropis yang berasal dari Nigeria, Afrika Barat, dan termasuk dalam famili palmae. Meskipun asalnya dari Afrika Barat, tanaman ini dapat tumbuh di luar daerah asalnya, termasuk di Indonesia [1], [2]. Indonesia berada di garis depan produksi dan ekspor minyak sawit global, dengan total luas perkebunan 14,9 juta hektar, dan produksi minyak sawit diperkirakan mencapai sekitar 45,58 juta metrik ton menurut data Statista pada tahun 2022 [3], [4]. Kedua total tersebut diperoleh dari kontribusi 10 wilayah yang memiliki perkebunan kelapa sawit terbesar di Indonesia, yaitu Nanggroe Aceh Darussalam (NAD), Sumatera Utara, Riau, Sumatera Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Jambi, Kalimantan Selatan, Sumatera Barat [3], [5].

Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Selatan telah merilis data kelapa sawit tahun 2022, diketahui bahwa daerah penghasil kelapa sawit terbesar di Provinsi Sumatera Selatan adalah Kabupaten Ogan Komering Ilir, Kabupaten Banyuasin, Kabupaten Musi Rawas, Kabupaten Muara Enim dan Kabupaten Musi Rawas Utara [6]. Luas perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Musi Rawas Utara pada tahun 2021-2022 dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Luas Perkebunan Kelapa Sawit di Kabupaten Muratara 2021-2022

No.	Kabupaten/Kota	<i>Oil Palm</i> (ha/ha)	
		2021	2022
1	Ulu Rawas	475,00	482,00
2	Karang Jaya	3.607,00	3.137,00
3	Rawas Ulu	2.594,00	1.340,00
4	Rupit	2.623,00	1.387,00
5	Karang Dapo	5.389,00	5.659,00
6	Rawas Ilir	6.701,00	5.915,00
7	Nibung	7.622,00	7.744,00
8	Musi Rawas Utara	29.011,00	25.664.00

PT. Agro Muara Rupit adalah Perseroan Terbatas (BUMN) yang bergerak di bidang perkebunan dan pengolahan kelapa sawit, anak perusahaan dari grup SIPEF di Musi Rawas Utara dengan total luas lahan perkebunan kelapa sawit yang dikelola sebesar 10.000 ha dan produksi kelapa sawit tahunan rata-rata 60.000 metrik ton dengan tenaga kerja sebanyak 370 orang untuk panen kelapa sawit. PT. Agro Muara Rupit saat ini masih menggunakan sistem pengamatan visual untuk mendeteksi kematangan buah kelapa sawit, yang dilakukan secara manual oleh pekerja lapangan dengan mengamati warna dan tekstur buah kelapa sawit satu per satu, sehingga hasil panen buah kelapa sawit masih dalam keadaan mentah. Sistem ini memiliki beberapa kekurangan, antara lain: kurang akurat dan terukur, subjektif tergantung pada pengalaman pekerja, membutuhkan waktu dan energi untuk melakukan pengamatan di area perkebunan yang luas.

PT. Agro Muara Rupit saat ini menggunakan sistem rotasi tanaman untuk menentukan waktu panen kelapa sawit dengan membagi perkebunan menjadi beberapa sektor dengan jadwal panen berdasarkan umur tanaman dan kematangan buah. Sistem MRS 5 tandan/tandan digunakan untuk menentukan kesesuaian panen berdasarkan jumlah tandan. Proses pematangan buah ditandai dengan perubahan warna kulit menjadi jingga kemerahan yang menunjukkan kematangan maksimal dan kadar minyak optimal. Tingkat kematangan buah memengaruhi kualitas panen dan kualitas minyak sawit yang dihasilkan. Ada tiga tingkat kematangan buah, yaitu mentah, matang, dan terlalu matang. Pentingnya menentukan waktu panen yang tepat untuk menghindari kerugian akibat panen terlalu dini atau terlalu terlambat.

Masalah kematangan dan proses panen buah kelapa sawit dapat diatasi dengan menciptakan sistem atau alat yang memanfaatkan teknologi digitalisasi [7], [8]. Perkembangan teknologi digitalisasi memiliki pengaruh besar pada kemajuan teknologi internet, terutama di bidang Internet of Things (IoT) yang menghubungkan perangkat fisik dengan perangkat virtual menggunakan sensor [9][10]. Internet of Things sendiri dapat membantu manusia dalam mempermudah pekerjaan, terutama mengendalikan perangkat dari jarak jauh [11], [12]. Salah satu bidang pekerjaan yang telah menerapkan *Internet of Things* adalah sektor pertanian dan sektor perkebunan kelapa sawit yang menjadi fokus penelitian ini dengan menerapkan internet of things untuk memantau kematangan buah kelapa sawit, sehingga panen buah kelapa sawit dapat dilakukan tepat waktu [13], [14].

Teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat diterapkan untuk memantau kematangan berbagai jenis buah, salah satunya buah kelapa sawit, yang dapat didukung dengan penggunaan sensor untuk mengumpulkan data tentang kondisi buah kelapa sawit yang kemudian dapat dianalisis dan dimanipulasi untuk menentukan tingkat kematangan buah kelapa sawit. Deteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit berdasarkan komposisi warna dapat dilakukan menggunakan pengolahan citra [15][16]. Pengolahan citra umumnya digunakan untuk memproses, menganalisis, dan memanipulasi gambar [17]. Pengolahan citra yang baik harus dilengkapi dengan penerapan algoritma pembelajaran mesin, di mana dengan menerapkan algoritma tersebut, pengukuran berbagai parameter kematangan buah kelapa sawit, seperti warna, ukuran, dan tekstur dapat dideteksi dengan tepat [18] [19], [20]. Sebagai salah satu algoritma pembelajaran mesin yang dapat digunakan untuk klasifikasi data dan menghasilkan prediksi mengenai kematangan buah dari data yang dikumpulkan, algoritma *k-Nearest Neighbor* (k-NN) sesuai untuk

permasalahan penelitian ini [21]. Algoritma ini mengklasifikasikan entitas berdasarkan lokasi jarak data yang sangat dekat atau memiliki karakteristik yang sama dengan entitas buah kelapa sawit [22], [23]. Tipe warna buah kelapa sawit dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat kematangan menggunakan algoritma k-NN kelapa sawit [24]. Pemanen dapat mengetahui kapan waktu yang tepat untuk memanen buah kelapa sawit, dan pekerja tetap juga dapat menghindari kerugian dalam hal waktu dan biaya yang terkait dengan pemanenan buah kelapa sawit terlalu dini atau terlalu terlambat [25], [26].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan data

Penelitian ini dimulai dengan mengambil beberapa langkah untuk memperoleh data lengkap dalam membangun sistem. Berikut adalah langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini:

a. Observasi

Proses observasi dilakukan dengan langsung turun ke lapangan, yaitu di area perkebunan PT. Agro Muara Rupit. Peneliti mengamati proses panen buah kelapa sawit dan mengambil sampel data, yaitu warna buah kelapa sawit, baik yang dapat dipanen maupun yang tidak dapat dipanen.

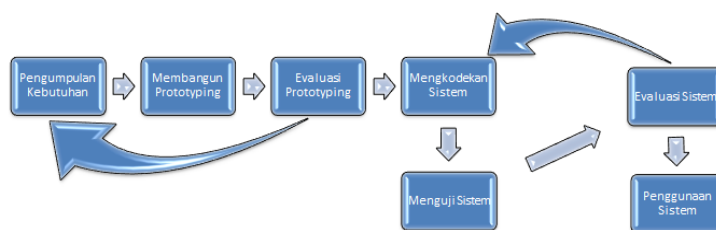
b. Wawancara

Wawancara dilakukan langsung di kantor PT. Agro Muara Rupit, dengan melakukan sesi tanya jawab bersama Bapak Subarta. Dalam proses wawancara, narasumbernya adalah Manajer Perkebunan - AMREast PT. Agro Muara Rupit.

c. Studi Pustaka

Pengumpulan data teoritis: Metode ini digunakan untuk memperoleh teori-teori untuk memecahkan masalah dengan mengumpulkan dan mempelajari teori-teori yang bersumber dari buku atau literatur dan jurnal terkait yang berhubungan dengan tema masalah tersebut.

Setelah proses di atas dilakukan dengan baik dan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat diperoleh secara lengkap, maka proses selanjutnya adalah peneliti menentukan model dalam membangun dan mengembangkan sistem. Model yang diterapkan peneliti dalam penelitian ini adalah *Prototype Model*, dengan mempertimbangkan permasalahan penelitian, data dan informasi yang diperoleh untuk membangun sistem model ini lebih tepat, terutama tahapan yang terdapat dalam *Prototype Model* ini. *Prototype Model* merupakan cara yang baik untuk mendapatkan umpan balik terhadap sistem yang diusulkan dan menjelaskan bagaimana sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan informasi pengguna [27][28]. Berikut adalah skema model prototipe pada Gambar 1 [29]:



Gambar 1. *Prototype Model*

2.2. Prototype Model

Berikut ini adalah uraian tentang aktivitas yang dilakukan para peneliti dengan tahapan-tahapan yang terdapat dalam *Prototype Model* di atas:

a. Pengumpulan kebutuhan

Tahap ini mencakup komunikasi dengan pengguna untuk menentukan data primer dan sekunder yang diperlukan untuk membangun sistem. Perangkat keras meliputi sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi warna buah kelapa sawit, mikrokontroler Arduino IDE untuk memproses dan mengontrol data sensor [30], modul komunikasi untuk menghubungkan mikrokontroler ke internet, kamera (opsional) untuk mengambil gambar buah kelapa sawit, perangkat lunak platform IoT untuk melihat data dan mengontrol perangkat [31], dan aplikasi Telegram untuk menerima pemberitahuan tentang kematangan buah kelapa sawit. Data primer berupa gambar buah kelapa sawit dengan berbagai tingkat kematangan, data sensor warna dari berbagai jenis buah kelapa sawit dengan berbagai tingkat kematangan, dan data pelatihan untuk algoritma K-NN yang berisi gambar buah kelapa sawit dengan berbagai tingkat kematangan (mentah, matang, dan terlalu matang)[7], [19].

b. Membangun *Prototype*

Dalam proses ini, dibuat gambaran umum sistem yang telah dibangun beserta input dan outputnya. Dalam konteks *Internet of Things*, ini dapat mencakup penggunaan sensor warna TCS3200 *NodeMCU* untuk mendeteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit, menampilkan data ke sistem, dan menggunakan nilai RGB yang terkumpul sebagai data pelatihan untuk melatih model K-NN. Selain itu, dapat juga diintegrasikan dengan aplikasi *Telegram* untuk berkomunikasi dan mengirimkan notifikasi tentang kematangan buah kelapa sawit [32], [33].

c. Evaluasi *Prototype*

Setelah prototipe dibuat, evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang dibuat memenuhi persyaratan. Evaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit secara akurat dan mengirimkan notifikasi tentang hasil deteksi status kematangan melalui aplikasi *Telegram*.

d. Mengkodekan Sistem

Sebuah prototipe yang disepakati dibuat menggunakan algoritma K-NN untuk klasifikasi kematangan buah kelapa sawit dan diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman PHP. Proses ini melibatkan penggunaan *MySQL* untuk mengelola basis data dan PHP untuk mengembangkan aplikasi *web* yang berinteraksi dengan sistem tersebut.

e. Menguji Sistem

Pada tahap ini, sistem diuji untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan kebutuhan dan harapan pengguna. Ini mungkin termasuk pengujian fungsi sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit; sistem dapat secara akurat mengidentifikasi kematangan buah dan mengirimkan pemberitahuan melalui *Telegram* tentang status kematangan buah [8]. Pengujian kinerja evaluasi juga dilakukan untuk menilai seberapa cepat sistem dapat mengidentifikasi kematangan buah dan seberapa efisien sistem dalam mengirimkan pemberitahuan. Pengujian keandalan juga dilakukan untuk menilai seberapa sering sistem mengalami kegagalan.

f. Evaluasi Sistem

Setelah pengujian, sistem dievaluasi untuk menentukan apakah sistem tersebut memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna. Hal ini mencakup kemampuan sistem untuk mendeteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit dan mengirimkan notifikasi secara efektif. Evaluasi juga dilakukan terhadap kecepatan respons dan efisiensi sistem dalam pengolahan data, termasuk kecepatan respons dalam mengirimkan notifikasi kematangan buah.

g. Penggunaan Sistem

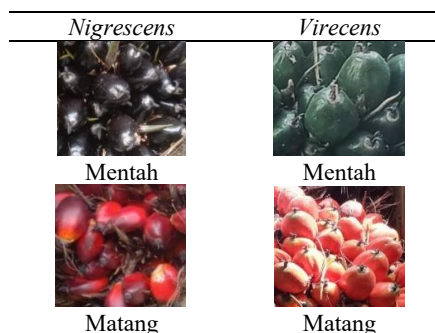
Setelah sistem ditingkatkan dan dievaluasi, sistem tersebut dapat digunakan dalam operasi sehari-hari. Hal ini dapat mencakup pelatihan pengguna dan penggunaan sistem dalam konteks produksi minyak sawit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Data

Analisis dan identifikasi data dilakukan untuk sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit berbasis IoT dan *Telegram*. Data yang dievaluasi dan diidentifikasi meliputi (*input*) data warna yang dikumpulkan oleh sensor warna TCS3200, (*output*) data tingkat kematangan yang dihasilkan dari klasifikasi algoritma K-NN berdasarkan data warna [34].

Terdapat tiga jenis buah kelapa sawit. Pertama, *Nigrescens*, memiliki warna ungu kehitaman saat buah masih mentah, tetapi setelah matang berubah menjadi orange kehitaman. Kedua, *Virecens*, memiliki warna hijau saat buah belum matang, tetapi saat matang berubah menjadi orange kemerahan dengan ujung hijau. Terakhir, buah kelapa *Albescens* berbeda dari jenisnya [35]. Saat mentah, buah berwarna keputihan, tetapi setelah matang, warnanya berubah menjadi kekuningan dengan ujung ungu kehitaman [7], [36]. Hanya dua jenis kelapa sawit, *Nigrescens* dan *Virecens*, yang digunakan dalam informasi ini. Contoh data warna buah kelapa sawit yang digunakan dari perkebunan PT. Agro Muara Rupit adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Contoh warna buah kelapa sawit

Algoritma *K-Nearest Neighbor* (K-NN) digunakan untuk mendeteksi kematangan buah kelapa sawit berdasarkan komposisi warna. Pengumpulan data pelatihan, yang dilakukan menggunakan objek buah kelapa sawit, telah dimulai. Untuk setiap kondisi, digunakan 10 buah data pelatihan, dengan 5 buah kelapa sawit matang yang dapat diangkut dan 5 buah kelapa sawit mentah yang dapat diangkut. Data pelatihan diambil dari perkebunan kelapa sawit PT. Agro Muara Rupit untuk penelitian akhir ini. Gambar 3 menunjukkan contoh gambar yang digunakan sebagai data pelatihan, gambar yang digunakan berukuran 900 x 1600 piksel.



Gambar 3. Gambar data pelatihan/sampel

Perhitungan proses klasifikasi dilakukan dengan menganalisis hasil nilai RGB menggunakan algoritma klasifikasi yang digunakan yaitu *K-Nearest Neighbor* (K-NN). Algoritma ini dilakukan dengan menghitung Jarak *Euclidean*. K-NN akan menghitung jarak berdasarkan hasil ekstraksi fitur antara data pelatihan dan data masukan baru, nilai Jarak *Euclidean* terkecil akan ditentukan sebagai hasil klasifikasi.

Perhitungan jarak dilakukan menggunakan teknik jarak *Euclidean* untuk menentukan hasil status buah matang dan mentah dengan rumus sebagai berikut [37]:

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_1 - x_2)^2} \quad (1)$$

Keterangan: d = jarak, i = variabel data, p = dimensi data, x1 = data uji, x2 = sampel data

Tingkat akurasi yang diperoleh pada Sistem Deteksi Kematangan Buah Kelapa Sawit dengan Algoritma *K-Nearest Neighbor* menggunakan perhitungan akurasi *Confusion Matrix*. *Confusion Matrix* membuat tabel dengan baris kelas aktual (Observasi) dan kolom sebagai kelas prediksi. Setiap sel dalam tabel diisi dengan jumlah kejadian yang sesuai. Perhitungan akurasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 2. *Confusion Matrix*

Kelas	Terklasifikasi Positif	Terklasifikasi Negatif
Positif	<i>True Positive</i> (TP)	<i>True Negative</i> (TN)
Negatif	<i>False Positive</i> (FP)	<i>False Negative</i> (FN)

Perhitungan akurasi digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan model dalam mengklasifikasikan seluruh data. Nilai akurasi dihitung menggunakan persamaan berikut [37]:

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \quad (2)$$

Berikutnya untuk perhitungan *presisi* digunakan untuk mengukur ketepatan model dalam memprediksi data yang termasuk kelas positif. Nilai *presisi* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Persisi = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (3)$$

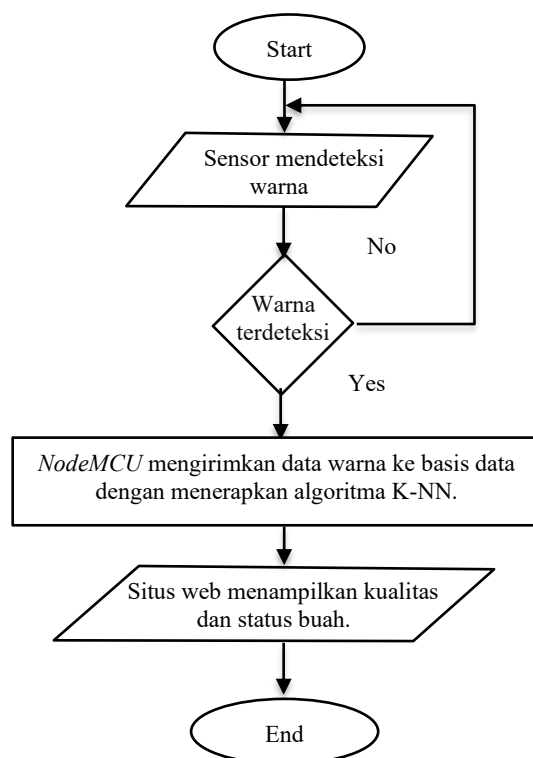
Recall digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam mendeteksi seluruh data yang termasuk kelas positif. Nilai *recall* dihitung menggunakan persamaan berikut [37]:

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (4)$$

3.2. Analisis Proses

Analisis proses merupakan tahap untuk menganalisis proses kerja Sistem Deteksi Kematangan Buah Sawit Berbasis *Internet of Things* dan *Telegram* dengan Metode K-NN. Saat perangkat dinyalakan, *NodeMCU* akan terhubung ke jaringan yang ditentukan [34]. Setelah terhubung, arahkan sensor warna ke buah sawit yang akan dianalisis untuk menangkap nilai RGB warna buah. Data warna kemudian diproses oleh algoritma K-NN untuk mengklasifikasikan tingkat kematangannya[30].

Hasil klasifikasi (tingkat kematangan) beserta status matang dan belum matang dari buah sawit yang telah dibaca akan ditampilkan pada sistem *web*. Selanjutnya, pemberitahuan tentang tingkat kematangan buah sawit akan dikirim melalui *Telegram* kepada pengguna.



Gambar 4. Alur kerja sistem

Tahapan cara kerja sistem alat ini adalah sebagai berikut:

1. Pertama, arahkan sensor ke buah yang akan diperiksa
2. Kemudian sensor mendeteksi warna buah
3. Hasil warna dari sensor dikirim melalui *server web*
4. Selanjutnya, *server web* melakukan proses klasifikasi warna, dan *server web* menampilkan hasil kematangan buah.
5. Kemudian *Telegram* secara otomatis mengirimkan notifikasi.

3.3. Implementasi Algoritma K-NN

Tabel berikut adalah data pelatihan yang akan digunakan untuk menghitung jarak dengan data uji yang dihasilkan dari ekstraksi fitur warna dari data sensor yang digunakan untuk klasifikasi kematangan.

Tabel 3. Kumpulan data RGB data/sampel pelatihan

No	Nilai RGB		Status
	R	G	
1	120	200	Matang
2	200	100	Matang
3	100	130	Matang
4	280	150	Matang
5	180	230	Matang
6	450	230	Mentah
7	380	300	Mentah
8	440	430	Mentah
9	570	250	Mentah
10	534	430	Mentah

Algoritma *K-Nearest Neighbors* adalah metode klasifikasi yang digunakan dalam pembelajaran mesin untuk menentukan kelas suatu objek baru berdasarkan jaraknya ke objek yang telah ditentukan sebelumnya [38]. Untuk perhitungan manual algoritma *K-Nearest Neighbors*, akan dijelaskan menggunakan nilai RGB dari data masukan baru yang diperoleh dari sensor warna untuk mendeteksi buah kelapa sawit [34]. Ada beberapa langkah dalam cara kerja algoritma *K-Nearest Neighbors*, yaitu [37]:

1. Tentukan nilai *K*
2. Hitung jarak data entri baru ke setiap data sampel menggunakan konsep *Euclidean*
3. Urutkan jarak yang diperoleh dalam urutan menaik, ambil nomor *K* data dengan jarak terdekat.
4. Tentukan kelas entri baru untuk menentukan status kematangan buah.

Tabel berikut berisi data masukan baru yang diperoleh dari sensor warna untuk mendeteksi buah kelapa sawit. Nilai RGB yang diambil berdasarkan nilai yang sering muncul atau nilai dominan digunakan sebagai data masukan baru.

Tabel 4. Tabel nilai RGB data entri baru

No	Deteksi Buah	Nilai RGB		No	Nilai RGB	
		R	G		R	G
1	Mentah	572	530	11	386	387
2	Matang	104	106	12	222	225
3	Mentah	570	570	13	333	336
4	Matang	133	138	14	189	98
5	Mentah	393	396	15	332	333
6	Matang	222	224	16	238	240
7	Mentah	419	422	17	336	340
8	Matang	202	205	18	115	119
9	Mentah	327	330	19	308	310
10	Matang	260	262	20	126	100

Setelah data entri baru ditentukan, perhitungan manual *K-Nearest Neighbors* dilakukan sebagai berikut: 1) Nilai *K* = 1, 2) Hitung jarak data entri baru ke setiap data sampel menggunakan konsep *Euclidean*.

Menghitung jarak antara data sampel dan data entri baru untuk menentukan status buah termasuk mentah atau matang. Contoh perhitungan manual untuk mengetahui hasil nilai jarak dan menentukan status buah pada tabel di atas adalah sebagai berikut dengan rumus *Euclidean*:

1. 572,530 entri baru buah kelapa sawit mentah

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 120)^2 + (530 - 200)^2} = 274.549$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 200)^2 + (530 - 100)^2} = 291.829$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 100)^2 + (530 - 130)^2} = 342.329$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 280)^2 + (530 - 150)^2} = 205.409$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 180)^2 + (530 - 230)^2} = 210.409$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 450)^2 + (530 - 230)^2} = 95.929$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 380)^2 + (530 - 300)^2} = 74.509$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 440)^2 + (530 - 430)^2} = 17.569$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 570)^2 + (530 - 250)^2} = 80.249$$

$$\text{dis} = \sqrt{(527 - 534)^2 + (530 - 430)^2} = 10.049$$

2. 104,106 entri baru buah kelapa sawit matang

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 120)^2 + (106 - 200)^2} = 9.092$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 200)^2 + (106 - 100)^2} = 9.250$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 100)^2 + (106 - 130)^2} = 592$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 280)^2 + (106 - 150)^2} = 32.912$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 180)^2 + (106 - 230)^2} = 21.152$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 450)^2 + (106 - 230)^2} = 135.092$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 380)^2 + (106 - 300)^2} = 113.812$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 440)^2 + (106 - 430)^2} = 217.872$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 570)^2 + (106 - 250)^2} = 237.892$$

$$\text{dis} = \sqrt{(104 - 534)^2 + (106 - 430)^2} = 289.876$$

Tabel 5. Hasil perhitungan manual jarak masuk baru 1

No	Data Latih		Status	Jarak
	R	G		
1	534	430	Mentah	10.049
2	440	430	Mentah	17.569
3	380	300	Mentah	74.509
4	570	250	Mentah	80.249
5	450	230	Mentah	95.929
6	280	150	Matang	205.409
7	180	230	Matang	210.409
8	120	200	Matang	274.549
9	200	100	Matang	291.829
10	100	130	Matang	342.329

Tabel 6. Hasil perhitungan manual jarak masuk baru 1

No	Data Latih		Status	Jarak
	R	G		
1	100	130	Matang	592
2	120	200	Matang	9.092
3	200	100	Matang	9.250
4	180	230	Matang	21.152
5	280	150	Matang	32.912
6	380	300	Mentah	113.812
7	450	230	Mentah	135.092
8	440	430	Mentah	217.872
9	570	250	Mentah	237.892
10	534	430	Mentah	289.876

Definisikan kelas entri baru untuk menentukan status kematangan buah. Berdasarkan perhitungan menggunakan algoritma K-NN dengan K=1 di atas, jika kita rangkum dari jarak terdekat untuk yang pertama, hasilnya adalah 10.049 dengan status mentah dan hasil kedua adalah 592 dengan status matang.

Berikut tampilan hasil tabel setelah semua jarak dihitung:

Tabel 7. Hasil klasifikasi jarak masuk baru

No	Deteksi buah kelapa sawit	Data Entri Baru Nilai RGB		Hasil Jarak Entri Baru	Status	
		R	G		Sistem	Manual
1	Mentah	572	530	10.049	Mentah	Mentah
2	Matang	104	106	592	Matang	Matang
3	Mentah	570	570	20.896	Mentah	Mentah
4	Matang	133	138	1.153	Matang	Matang
5	Mentah	393	396	3.365	Mentah	Mentah
6	Matang	522	528	9.748	Mentah	Mentah
7	Mentah	419	422	505	Mentah	Mentah
8	Matang	202	205	1.109	Matang	Matang
9	Mentah	327	330	3.709	Mentah	Mentah
10	Matang	352	353	3.593	Mentah	Mentah
11	Mentah	386	387	4.765	Mentah	Mentah
12	Matang	222	225	1.789	Matang	Matang
13	Mentah	593	595	30.706	Tidak Diketahui	Mentah
14	Matang	189	98	125	Matang	Matang
15	Mentah	332	333	3.393	Mentah	Mentah
16	Matang	238	240	3.464	Matang	Matang
17	Mentah	336	340	3.536	Mentah	Mentah
18	Matang	115	119	346	Matang	Matang
19	Mentah	308	310	5.284	Mentah	Mentah
20	Matang	126	100	1.576	Matang	Matang

Berdasarkan hasil tabel di atas, 20 data entri baru yang dihitung menggunakan metode K-NN dari 10 data matang diperoleh 8 data matang dan dari 10 data mentah diperoleh 9 data mentah sehingga totalnya 17 data benar. Selain itu, terdapat 2 data mentah dari 10 data matang dan 1 data mentah yang tidak diketahui dari 10 data mentah sehingga totalnya 3 data.

Untuk memahami seberapa baik model K-NN yang digunakan dapat memprediksi kondisi berdasarkan tabel 4 data entri baru dan tabel 7 hasil klasifikasi jarak entri baru. Tingkat akurasi yang diperoleh dari sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit dengan metode K-NN akan dihitung menggunakan perhitungan akurasi dan hasil evaluasi perhitungan *Confusion Matrix* sebagai berikut [34]:

$$\text{Confusion Matrix}$$

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100\%$$

$$\frac{8 + 9}{8 + 2 + 1 + 9} = \frac{17}{20} = 0,85 = 85\%$$

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$\frac{8}{8 + 2} = \frac{8}{10} = 0,8 = 80\%$$

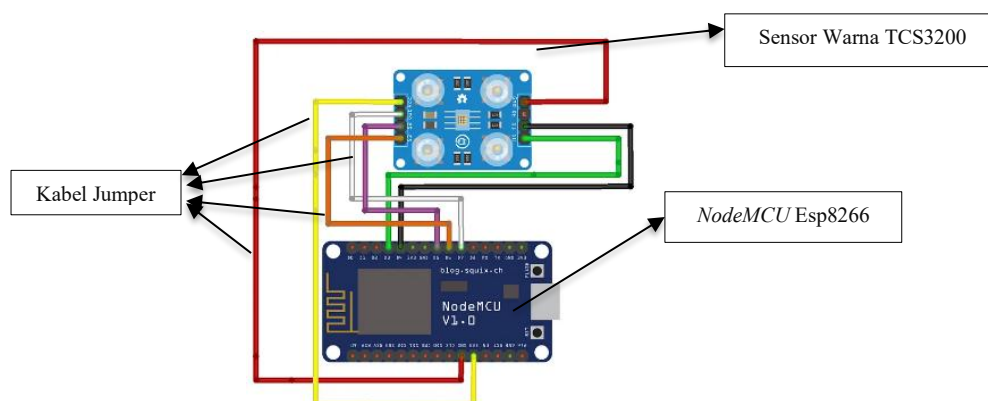
$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

$$\frac{8}{8 + 1} = \frac{8}{9} = 0,88 = 88\%$$

Dari hasil di atas, dapat dilihat bahwa akurasi adalah 85% dari TP 17 dibagi TN 20, hasil presisi adalah 80% dari TP 8 dibagi FP 10 dan *Recall* adalah 88% dari TP 8 dibagi FN 9.

3.4. Desain perangkat

Desain ini memanfaatkan *NodeMCU* untuk menjalankan beberapa proses. Pertama, *NodeMCU* akan membaca warna suatu objek. Kemudian, data warna akan dikonversi ke format digital RGB. Selanjutnya, data RGB yang dihasilkan akan dibandingkan dengan standar warna yang telah ditentukan. Sensor warna yang digunakan adalah sensor digital *TCS3200* yang mengkonversi warna menjadi data digital RGB [30], [39]. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi warna tandan kelapa sawit untuk memprediksi kematangannya. Sensor ini dilengkapi dengan LED penerangan untuk menghasilkan cahaya pantulan yang ditangkap oleh sensor. Tanpa pantulan cahaya, sensor tidak dapat mendeteksi bentuk atau warna [40]. Sensor *TCS3200* dihubungkan ke *Arduino* melalui kabel. Berikut adalah gambar rangkaian *NodeMCU* dengan sensor warna, yang menunjukkan konfigurasi perangkat keras:

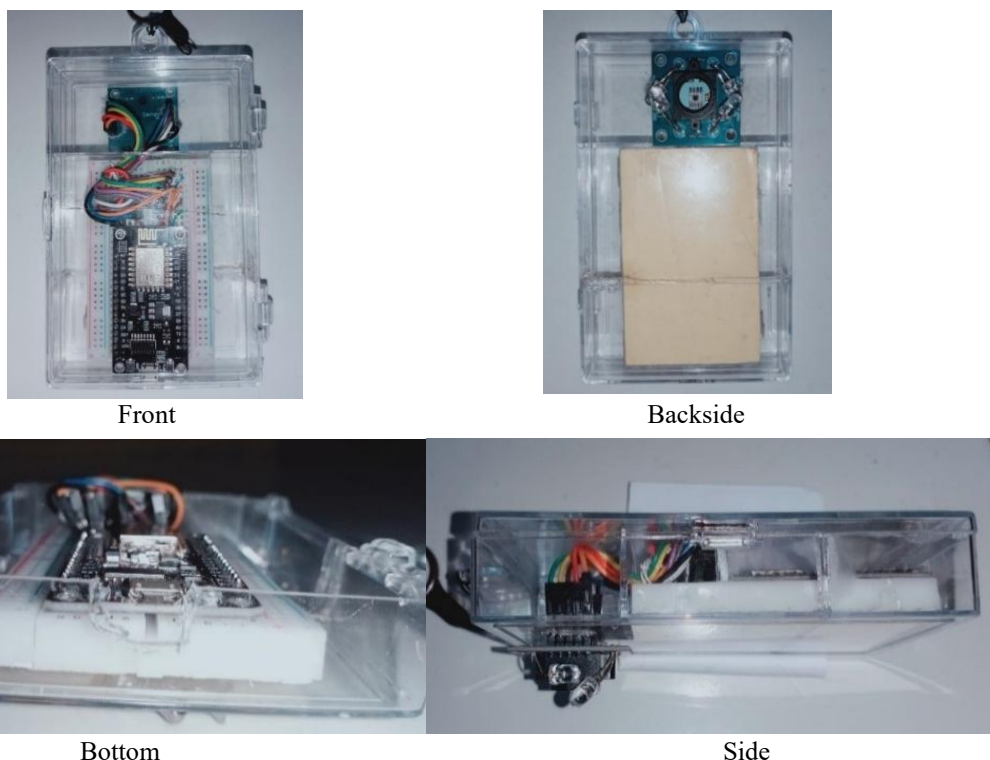


Gambar 5. Rangkaian *NodeMCU* dengan sensor warna

Penjelasan konfigurasi rangkaian perangkat keras secara keseluruhan di atas adalah: Sensor Warna *TCS3200* sebagai pembaca nilai RGB pada buah kelapa sawit, Pin D8 *NodeMCU* sebagai output dari sensor warna (OUT), Pin D3 S2 pada sensor warna, Pin D4 S3 pada sensor warna, kabel warna kuning berfungsi sebagai *ground*, kabel warna merah berfungsi sebagai arus listrik ke sensor, kabel orange, putih, dan coklat berfungsi sebagai penerima data warna dari sensor [30].

3.4 Hasil perangkat

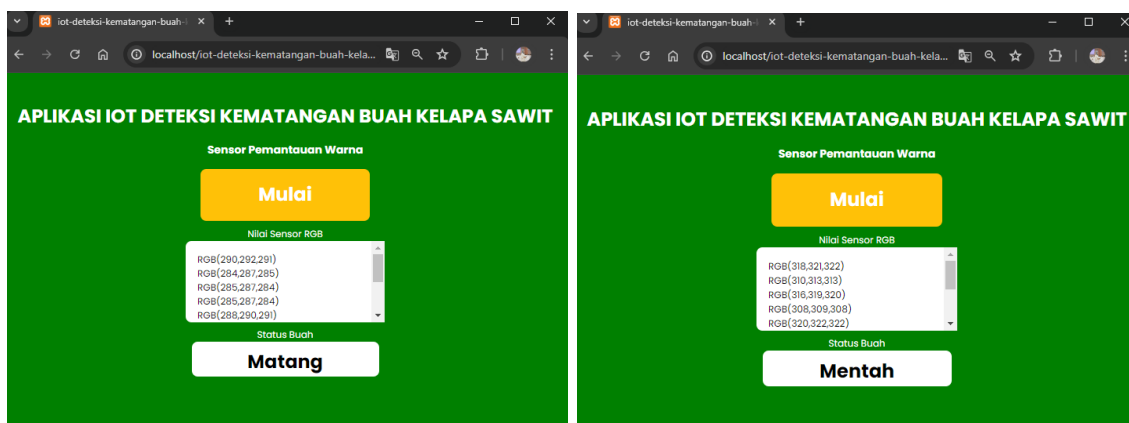
Hasil adalah tahap penerapan langsung, tahap ini juga merupakan bagian dari pengembangan, hasil tersebut juga merupakan tingkat keberhasilan proyek yang telah dirancang.



Gambar 6. Tampilan hasil dari alat pendeteksi kematangan buah kelapa sawit.

3.5 Hasil Sistem

Gambar 7 berikut menunjukkan contoh tampilan pada sistem untuk mengidentifikasi kematangan buah kelapa sawit yang matang dan mentah.



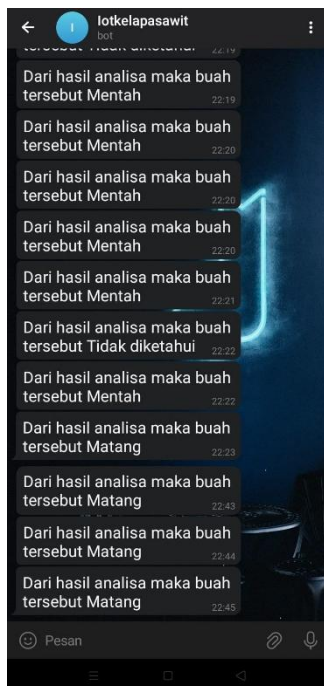
Tabel 7. Hasil tampilan sistem buah matang dan mentah

Pada Gambar 7 di atas menunjukkan nilai RGB yang dihasilkan dari sensor warna yang dianggap sebagai input untuk sistem, nilai RGB dari sensor warna diproses oleh *NodeMCU*, yaitu mikrokontroler yang dirancang untuk memproses data dan menjalankan program. *NodeMCU* menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbors* (K-NN) untuk mengklasifikasikan nilai RGB. Algoritma K-NN bekerja dengan membandingkan nilai RGB dengan data sampel yang telah disimpan sebelumnya. Nilai RGB yang baru dimasukkan dianggap sebagai data entri baru yang akan dikelompokkan ke dalam kelas yang paling sesuai berdasarkan data sampel.

Algoritma K-NN digunakan untuk menentukan kematangan buah kelapa sawit berdasarkan nilai RGB, nilai RGB yang dimasukkan dianggap sebagai indikator kematangan buah. Sistem dapat membedakan antara buah yang belum matang dan yang sudah matang berdasarkan warnanya. Setelah proses klasifikasi selesai, sistem menghasilkan output yang menunjukkan status kematangan buah kelapa sawit dalam bentuk informasi yang mudah dibaca, seperti label matang dan belum matang.

3.6 Hasil Telegram

Berikut ini adalah tampilan notifikasi yang dikirim ke *Telegram*, yang menunjukkan (*output*) hasil status buah kelapa sawit yang telah terdeteksi melalui sensor dan proses klasifikasi menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbors* (K-NN) untuk menentukan kematangannya.



Tabel 8. Hasil notifikasi *Telegram*

Gambar 8 di atas menunjukkan notifikasi yang dihasilkan dari sensor warna dan sistem, kemudian dikirim ke aplikasi *Telegram* sebagai *output* notifikasi untuk pengguna.

3.6 Hasil pengujian perangkat dan sistem

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode pengujian kotak hitam, metode pengujian ini berfokus pada fungsionalitas alat dan sistem yang dibangun untuk mengetahui apakah alat dan sistem tersebut telah memenuhi kebutuhan dalam analisis kebutuhan atau tidak. Pengujian kotak hitam sendiri menurut Pressman (2001) adalah pengujian yang hanya dilakukan pada kebutuhan fungsional sistem atau nama lain pengujian perilaku. Artinya, pengujian yang diperoleh dari serangkaian kondisi masukan dengan semua yang dapat menjalankan semua persyaratan fungsional ke suatu program (Aini et al., 2019).

a. Hasil pengujian perangkat

Pengujian alat ini dilakukan dengan menguji alat pendeteksi buah kelapa sawit yang dilakukan di perkebunan PT Agro Muara Rupit. Berikut adalah hasil pengujian alat pendeteksi buah kelapa sawit menggunakan pengujian *black box*.

Tabel 8. Hasil pengujian alat

Parameter	Kriteria	Hasil	Keterangan
Koneksi <i>NodeMCU</i> ke <i>WiFi</i>	Berhasil atau Gagal	Berhasil	<i>NodeMCU</i> dapat terhubung ke <i>WiFi</i> dan tetap terhubung selama waktu yang ditentukan
Pengiriman data dari sensor warna ke <i>NodeMCU</i>	Berhasil atau Gagal	Berhasil	Data dari sensor warna dapat dikirim ke <i>NodeMCU</i> .
Pemrosesan data di <i>NodeMCU</i>	Berhasil atau Gagal	Berhasil	Data yang diterima dari sensor warna dapat diproses dengan benar di <i>NodeMCU</i> .

Output data ke layar sistem	Berhasil atau Gagal	Berhasil	Data yang diproses di <i>NodeMCU</i> dapat dioutput ke layar sistem.
Notifikasi ke telegram	Berhasil atau Gagal	Berhasil	Data yang diproses di <i>NodeMCU</i> dapat diberitahukan ke aplikasi Telegram
Stabilitas koneksi <i>WiFi</i>	Stabil atau Gagal	Stabil	Koneksi <i>WiFi</i> tetap stabil selama waktu yang ditentukan.
Akurasi pengukuran sensor warna	Akurat atau Tidak Akurat	Akurat	Sensor warna dapat mengukur warna dengan akurasi yang tinggi.
Respon waktu dari sensor warna	Cepat atau Lambat	Cepat	Sensor warna dapat merespons dengan cepat.
Konsumsi daya	Efisien atau Tidak Efisien	Efisien	<i>NodeMCU</i> dapat beroperasi dengan efisiensi yang tinggi.
Keandalan perangkat	Tahan Lama atau Tidak Tahan Lama	Tahan Lama	<i>NodeMCU</i> dapat beroperasi dengan tahan lama.

b. Hasil pengujian sistem

Pengujian sistem ini dilakukan dengan menguji sistem di perkebunan kelapa sawit PT.Agro Muara Rupit. Berikut adalah hasil pengujian pada beberapa buah kelapa sawit menggunakan pengujian *black box*.

Tabel 9. Hasil pengujian sistem

Warna Buah	Data RGB Muncul/Tidak Muncul	Output Sistem Status Buah	Output Telegram	Hasil
Hijau	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kemerahan	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Ungu Kehitaman	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kehitaman	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Hijau	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kemerahan	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Tidak Akurat
Ungu Kehitaman	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kehitaman	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Ungu Kehitaman	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kehitaman	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Tidak Akurat
Hijau	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kemerahan	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Ungu Kehitaman	Muncul	Tidak Diketahui	Buah Tidak Diketahui	Tidak Akurat
Jingga Kemerahan	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Ungu Kehitaman	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kehitaman	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Hijau	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kehitaman	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat
Ungu Kehitaman	Muncul	Mentah	Buah Mentah	Akurat
Jingga Kemerahan	Muncul	Matang	Buah Matang	Akurat

Berdasarkan hasil pengujian sistem, dari 20 percobaan yang dilakukan, 17 percobaan berhasil mengidentifikasi tingkat kematangan buah kelapa sawit secara akurat, sedangkan 3 percobaan tidak akurat (1 buah mentah dan 2 buah matang). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengklasifikasikan tingkat kematangan buah.

c. Pengujian perbandingan hasil klasifikasi manual dan sistem

Berikut adalah tabel hasil jarak entri baru yang dihasilkan oleh perhitungan manual dan dibandingkan dengan output yang ditampilkan oleh sistem yang telah menentukan status kematangan buah kelapa sawit. Jumlah data entri baru yang digunakan untuk setiap kondisi dalam pengujian ini adalah 20 buah dengan rincian 10 buah mentah dan 10 buah matang, buah yang digunakan berasal dari perkebunan kelapa sawit PT Agro Muara Rupit. Tabel berikut menampilkan hasil klasifikasi manual dan sistem setelah semua jarak dihitung:

Tabel 10. Pengujian perbandingan hasil klasifikasi manual dan sistem

No	Buah yang dideteksi	Status Sistem			Status Hasil Manual	Hasil Jarak Entri Baru	Keterangan
		Mentah	Matang	Tidak diketahui			
1	Mentah	√	-	-	Mentah	10.049	Akurat
2	Matang	-	√	-	Matang	592	Akurat

3	Mentah	√	-	-	Mentah	20.896	Akurat
4	Matang	-	√	-	Matang	1.153	Akurat
5	Mentah	√	-	-	Mentah	3.365	Akurat
6	Matang	√	-	-	Mentah	9.748	Tidak akurat
7	Mentah	√	-	-	Mentah	505	Akurat
8	Matang	-	√	-	Matang	1.109	Akurat
9	Mentah	√	-	-	Mentah	3.709	Akurat
10	Matang	√	-	√	Mentah	3.593	Tidak akurat
11	Mentah	√	-	-	Mentah	4.765	Akurat
12	Matang	-	√	-	Matang	1.789	Akurat
13	Mentah	-	-	√	Mentah	30.706	Tidak akurat
14	Matang	-	√	-	Mentah	125	Akurat
15	Mentah	√	-	-	Matang	3.393	Akurat
16	Matang	-	√	-	Mentah	3.464	Akurat
17	Mentah	√	-	-	Matang	3.536	Akurat
18	Matang	-	√	-	Mentah	346	Akurat
19	Mentah	√	-	-	Matang	5.284	Akurat
20	Matang	-	√	-	Matang	1.576	Akurat

Pengujian komparatif hasil klasifikasi antara sistem dan klasifikasi manual dilakukan pada 20 data entri baru menggunakan metode K-NN. Dari 10 buah matang, sistem dan manual berhasil mengidentifikasi 8 buah sebagai matang dengan deskripsi yang akurat, sedangkan 2 buah lainnya diidentifikasi sebagai mentah dengan deskripsi yang tidak akurat. Selanjutnya, dari 10 buah mentah, baik sistem maupun manual berhasil mengidentifikasi 9 buah sebagai mentah dengan deskripsi yang akurat. Namun, 1 buah lainnya tidak diidentifikasi dengan jelas oleh sistem, meskipun manual mengklasifikasikannya sebagai mentah, sehingga deskripsi ini dianggap tidak akurat.

Berdasarkan pengujian keseluruhan, perbandingan hasil klasifikasi menunjukkan bahwa sistem dan manual menghasilkan 17 buah dengan klasifikasi akurat dan 3 buah dengan klasifikasi tidak akurat. Hasil perhitungan akurasi menunjukkan bahwa kinerja K-NN dengan $K=1$ adalah 85% dari 20 data uji, menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan yang baik untuk mengklasifikasikan kematangan buah kelapa sawit.

Peran dan fungsi telegram dalam sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit dengan metode K-NN, sebagai media komunikasi antara sistem dan pengguna. Setelah sensor mendeteksi kematangan buah, hasil keluaran klasifikasi dikirim melalui pesan telegram, sehingga petani dan perusahaan dapat segera mengambil tindakan berdasarkan informasi yang diperoleh, seperti memanen buah yang matang atau buah yang telah dipanen tetapi masih dalam keadaan belum sepenuhnya matang sehingga layak untuk diangkut atau tidak untuk mengurangi kerugian panen dan kerugian akibat buah yang belum sepenuhnya matang.

4. KESIMPULAN

Perhitungan dan sistem telah dilakukan dan hasil penelitian dari Sistem Deteksi Kematangan Buah Sawit Berbasis *Internet of Things* (IoT) dan Telegram dengan Metode K-NN Studi Kasus PT. Agro Muara Rupit dapat disimpulkan sebagai berikut:

Sistem ini dapat mendeteksi kematangan buah kelapa sawit dengan sensor warna dan algoritma K-NN digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah kelapa sawit berdasarkan komposisi warna. Sistem ini telah diuji dengan berbagai data sampel dan menunjukkan hasil yang akurat dengan tingkat akurasi 85% dalam mendeteksi kematangan buah kelapa sawit.

Sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit berbasis IoT dan Telegram dengan metode K-NN telah berhasil dikembangkan dan dapat memberikan notifikasi atau pesan melalui aplikasi Telegram tentang status kematangan buah kelapa sawit. Sistem ini dapat membantu mengurangi pemanenan buah kelapa sawit yang belum matang.

Sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit membantu petani dan perusahaan mengoptimalkan waktu panen dengan lebih akurat, mengurangi kerugian, dan meningkatkan kualitas buah. Algoritma *K-Nearest Neighbor* digunakan untuk memprediksi kematangan buah berdasarkan data warna dari sensor warna. Sistem ini terdiri dari perangkat keras *Node MCU*, sensor warna, dan perangkat lunak serta API Telegram yang mengirim data dan menerima notifikasi tentang kematangan buah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Nugroho, N. D. Dharmawati, and K. Faizah, "Analisis Efisiensi Sludge Centrifuge Guna Pengendalian Losses Minyak Kelapa Sawit Di Stasiun Klifikasi," *Majamecha*, vol. 3, no. 2, pp. 127–139, 2021, doi: 10.36815/majamecha.v3i2.1547.
- [2] M. S. M. Alfathi, S. Khairunniza-Bejo, M. H. B. Marhaban, O. M. B. Saeed, A. Mustapha, and A. R. M. Shariff, "Towards a Real-Time Oil Palm Fruit Maturity System Using Supervised Classifiers Based on Feature Analysis," *Agriculture (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/agriculture12091461.
- [3] Bagaskara, "10 Daerah di Indonesia dengan Perkebunan Kelapa Sawit Terluas," Mutu International. Accessed: May 25, 2025. [Online]. Available: <https://mutucertification.com/perkebunan-kelapa-sawit-terluas/>
- [4] R. S. Hajar, B.-W. Yun, and H.-S. Hwang, "Analyzing The Impact of Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO) Certification and The Factors That Influence Crude Palm Oil (CPO) Exports Volume," *International Journal of Social Service and Research*, vol. 4, no. 10, pp. 1–11, 2024, doi: 10.46799/ijssr.v4i10.1085.
- [5] I. Numata, A. J. Elmore, M. A. Cochrane, C. Wang, J. Zhao, and X. Zhang, "Deforestation, plantation-related land cover dynamics and oil palm age-structure change during 1990–2020 in Riau Province, Indonesia," *Environmental Research Letters*, vol. 17, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.1088/1748-9326/ac8a61.
- [6] A. A. Wening, "OJK Lanjutkan Komitmen Dukong Peningkatan Pendanaan Petani Sawit," <https://ekonomi.bisnis.com/>. Accessed: May 20, 2025. [Online]. Available: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20230801/99/1680142/ojk-lanjutkan-komitmen-dukong-peningkatan-pendanaan-petani-sawit>
- [7] M. Rifqi, M. Akbar, and Y. Fitriisa, "Aplikasi Pendeteksian Kematangan Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Berdasarkan Komposisi Warna Menggunakan Algoritma K-NN," *Jurnal Komputer Terapan*, vol. 6, no. 1, pp. 99–107, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/jkt/>
- [8] J. W. Lai, H. R. Ramli, L. I. Ismail, and W. Z. Wan Hasan, "Oil Palm Fresh Fruit Bunch Ripeness Detection Methods: A Systematic Review," *Agriculture*, vol. 13, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/agriculture13010156.
- [9] A. Gunawan, J. M. Lisang, and M. N. Yuhandra, "Internet of Things Implementation for The Industrial World In Developing Countries in The Digital Era," in *International Conference on ICT For Smart Society (ICISS)*, Bandung: IEEE, Oct. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/iciss59129.2023.10291259.
- [10] N. A. Shadchenko, E. G. Kirikutsa, and T. V. Boldyreva, "Development of the internet of things technology in the context of digital transformation," *Naučnoe obozrenie: teori i praktika*, vol. 13, no. 1, pp. 61–72, 2023, doi: 10.35679/2226-0226-2023-13-1-61-72.
- [11] K. Thakur, A.-S. K. Pathan, and S. Ismat, *Internet of Things (IoT)*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-27765-8_6.
- [12] E. M. Khan, M. Zahid, T. Zahid, T. Ilahi, I. Safdar, and I. Ahmad, "Application of IoT for Intelligent Home Automation System," *Pakistan Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 63–68, 2023, doi: 10.51846/vol6iss1pp63-68.
- [13] M. Roslee *et al.*, "Internet of Things: Agriculture Precision Monitoring System based on Low Power Wide Area Network," *WSEAS Transactions on Electronics*, vol. 15, pp. 35–46, 2024, doi: 10.37394/232017.2024.15.5.
- [14] A. K. Nalendra, D. Wahvudi, M. Mujiono, M. N. Fu'ad, and N. Kholila, "IoT-Agri: IoT-based Environment Control and Monitoring System for Agriculture," in *2022 Seventh International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, Denpasar: IEEE, Feb. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICIC56845.2022.10006964.
- [15] S. Ashari, G. J. Yanris, and I. Purnama, "Oil Palm Fruit Ripeness Detection using Deep Learning," *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 7, no. 2, pp. 649–656, May 2022, doi: 10.33395/sinkron.v7i2.11420.
- [16] S. Vaishnavi, D. Sandhya, J. Sakshi, and B. Pranoti, "Developing a Real Time Non Invasive Approach to Distinguish Natural and Artificial Ripened Fruits," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 156–161, Nov. 2024, doi: 10.48175/IJARST-22132.
- [17] I. K. T. Tan, Y.-H. Lim, and N.-H. Hon, "Towards Palm Bunch Ripeness Classification Using Colour and Canny Edge Detection," in *Computational Science and Technology*, R. Alfred, H. Iida, H. Haviluddin, and P. Anthony, Eds., Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 41–50. doi: 10.1007/978-981-33-4069-5_4.
- [18] S. A. D. B. V, N. S. C, and A. N. S, "Image processing," *International Journal of Innovative Research in Information Security*, vol. 09, no. 03, pp. 79–83, Jan. 2023, doi: 10.26562/ijiris.2023.v0903.06.
- [19] A. C. Saputra and E. D. Oktaviyani, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Deteksi Warna Menggunakan Algoritma K-NN," *Jurnal Teknologi Informasi : Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Bidang Teknik Informatika*, vol. 17, no. 2, pp. 222–229, 2023, doi: 10.47111/jti.v7i2.9232.
- [20] M. Wankhade and U. W. Hore, "A Survey on Fruit Ripeness Classification Based On Image Processing with Machine Learning," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 73–78, May 2021, doi: 10.48175/ijarsct-1097.
- [21] A. S. A. Yuda, M. D. A. Rosady, N. I. Faisal, and E. Ismanto, "Analisis Kinerja Algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) dan Random Forest untuk Klasifikasi Kondisi Cuaca," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 6, no. 2, pp. 337–343, Sep. 2025, doi: 10.37859/coscitech.v6i2.9827.
- [22] M. F. H. Dermawan, D. Witsaryah, and H. Fakhruroja, "Penerapan Image Processing untuk Mengetahui Tingkat Kematangan Kopi Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) pada Perkebunan Kopi Malabar Bandung," in *e-Proceeding of Engineering*, Bandung: Telkom University, 2023, pp. 3246–3252. Accessed: May 27, 2025. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/20582/0>
- [23] I. G. I. Sudipa, R. A. Azdy, I. Arfiani, N. M. Setiohardjo, and Sumiyatun, "Leveraging K-Nearest Neighbors for Enhanced Fruit Classification and Quality Assessment," *Indonesian Journal of Data and Science*, vol. 5, no. 1, pp. 30–36, Mar. 2024, doi: 10.56705/ijodas.v5i1.125.
- [24] A. M. A. Efendi, Sriani, and M. S. Hasibuan, "Classification of Watermelon Ripeness Levels Using HSV Color Space Transformation and K-Nearest Neighbor Method," *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, vol. 6, no. 3, pp. 934–948, 2024, doi: 10.47709/cnape.v6i3.3999.
- [25] M. Yasser, M. A. Mansour, K. D. Dambul, and K. Y. Choo, "Object Detection Algorithms for Ripeness Classification of Oil Palm Fresh Fruit Bunch," *International Journal of Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 1326–1335, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i6.5932>.
- [26] S. S. Telsang *et al.*, "Fruit Ripeness and Estimated Harvesting Time Detection," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 9, pp. 398–401, Sep. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.64193.
- [27] V. S. Gunawan, M. Muhammad, and S. Maria, "Implementasi Metode Prototype dalam Pengembangan Sistem Informasi Inventaris Obat di Apotek Syira Farma.," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 6, no. 2, pp. 189–198, Aug. 2025, doi: 10.37859/coscitech.v6i2.9652.
- [28] S. Sauda and E. P. Agustini, "Implementasi Prototype Model dalam Pengembangan Aplikasi Smart Cleaning Sebagai Pendukung Aplikasi Smart City," *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, vol. 20, no. 1, pp. 73–84, Sep. 2020, doi: 10.30812/matrik.v20i1.673.
- [29] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th ed. McGraw-Hill Education, 2019.
- [30] T. Ta'ali, W. Khairat, H. Habibullah, and J. Sardi, "Pengaruh Jarak Terhadap Sensitivitas Sensor Warna TCS3200," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 67–74, Feb. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.340.
- [31] M. Fajar and A. Erfina, "Rancang bangun sistem monitoring curah hujan berbasis internet of things," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 4, no. 1, pp. 42–49, May 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4502.
- [32] A. Wibowo, Poningsih, I. Parlina, Suhada, and A. Wantoi, "Rancang Bangun Mesin Sortir Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Tingkat Kematangan Menggunakan Sensor Warna Tcs3200 Berbasis Arduino Uno," *STORAGE – Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 9–15, 2022, doi: 10.55123.

- [33] H. M. Hutajulu, A. Yanie, L. Adriana, and D. Safitri, "Rancang Bangun Deteksi Kematangan Buah Kelapa Sawit Dan Peringatan Berbasis Telegram," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 2023, pp. 207–213. Accessed: Jul. 08, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Dara-Sawitri/publication/372941086_RANCANG_BANGUN_DETEKSI_KEMATANGAN_BUAH_KELAPA_SAWIT_DAN_PERINGATAN_BERBASIS_TELEGRAM/links/64cf4751806a9e4e5cec94db/RANCANG-BANGUN-DETEKSI-KEMATANGAN-BUAH-KELAPA-SAWIT-DAN-PERINGATAN-BERBASIS-TELEGRAM.pdf
- [34] N. E. Barutu and D. Toresa, "Klasifikasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Warna Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor," *IndoAI: Journal of Artificial Intelligence and Computational Logic (I-JAICL)*, no. 1, pp. 1–14, 2026, Accessed: Jul. 07, 2026. [Online]. Available: <https://journal.lenara.id/index.php/IndoAI/article/view/8>
- [35] A. Nugroho, "Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit," *Lambung Mengkurat Universitas Press (Issue November)*, pp. 41–42, 2019.
- [36] A. Suriani and Lisnawita, "Tinjauan Literatur Sistematis (SLR) Klasifikasi Kematangan Buah Sawit Berdasarkan Citra Warna Menggunakan Algoritma SVM Dan KNN," *SEMASTER: Seminar Nasional Teknologi Informasi & Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 1, pp. 447–459, 2024, Accessed: Jul. 07, 2026. [Online]. Available: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/Semaster/article/view/23978>
- [37] M. S. Haris *et al.*, *Pengantar Data Science*. Penerbit Widina, 2023.
- [38] E. A. A. Nasution and Y. R. Nasution, "Klasifikasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Fitur Citra Warna Kulit Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna HSV dan K-Nearest Neighbor," *Rekayasa*, vol. 19, no. 1, pp. 38–48, Apr. 2026, doi: 10.21107/rekayasa.v19i1.33679.
- [39] N. Pratiwi and N. Andre, "Sistem Deteksi Warna Real-Time Berbasis IoT Menggunakan Sensor RGB dan ESP32 dengan Notifikasi Audio dan Telegram bagi Penyandang Buta Warna Parsial," *El Sains: Jurnal Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 39–46, Nov. 2025, doi: 10.30996/elsains.v7i2.132803.
- [40] R. Kurniawan and Nurahman, "Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Sawit Berdasarkan Ekstraksi Fitur RGB dan GLCM Menggunakan Algoritma K-NN," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 22, pp. 457–466, 2023, doi: 10.32409/jikstik.22.4.3402.